

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

Изменение  
геологической  
среды  
под влиянием  
деятельности  
человека



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ГРУНТОВЕДЕНИЮ  
И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ  
ИНСТИТУТ ЛИТОСФЕРЫ

**Изменение  
геологической  
среды  
под влиянием  
деятельности  
человека**

3746



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"

Москва 1982



В настоящем сборнике приведены результаты изменения физико-механических свойств глинистых и песчаных грунтов под влиянием кислых и щелочных растворов различной концентрации и техногенных вод. Грунты в природных условиях испытывают различные изменения, связанные с антропогенной деятельностью, под влиянием техногенеза — при подтоплении застроенных территорий, при вибрационных и повторных нагрузках, при повышенном давлении и изменении температуры. Результаты проведенных работ позволяют рекомендовать растворы в качестве способа упрочнения грунтов для усиления оснований сооружений. Дается также прогноз определения неблагоприятных явлений и прогноз изменения инженерно-геологических свойств намытых грунтов во времени.

Издание рассчитано на инженеров-геологов, грунтоведов, преподавателей, аспирантов и студентов вузов инженерно-геологических специальностей.

Ответственный редактор

доктор геолого-минералогических наук  
профессор Р.С. ЗИАНГИРОВ

И 1904060000-221  
055 (02) -82 225-82, кн. 2

©Издательство "Наука",  
1982 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1979 г. состоялось совещание "Изменение и прогноз инженерно-геологических свойств грунтов под влиянием деятельности человека". На совещании присутствовали представители проектных, проектно-изыскательских и изыскательских организаций Советского Союза. Совещание получило широкий отклик и среди научной общественности страны. По итогам совещания подготовлен настоящий тематический сборник, который состоит из четырех разделов. В подготовке сборника принимали участие ПНИИИС Госстроя СССР; МГУ им. М. В. Ломоносова, кафедра инженерной геологии и грунтоведения; Научный совет по грунтоведению и инженерной геологии АН СССР; Институт литосферы и др.

Эксплуатация сооружений, например Балаковского завода резинотехнических изделий, предприятий химической промышленности Башкирии, предприятий содово-цементной промышленности Черкасского месторождения Украины и других, где в технологических процессах производится кислота или щелочь, связана со значительными трудностями вследствие воздействия этих растворов на прочностные и деформационные свойства грунтов оснований. В первом разделе сборника приводятся результаты изменения физико-механических свойств глинистых и песчаных грунтов под влиянием кислых и щелочных растворов различной концентрации и техногенных вод (по данным экспериментальных и натурных наблюдений).

Грунты в природных условиях испытывают различные изменения под влиянием процесса техногенеза, а именно при подтоплении застроенных территорий, при вибрационных и повторных нагрузках, при повышенном давлении и температуре. Во втором разделе рассматриваются вопросы изменения инженерно-геологических свойств грунтов под влиянием различных факторов, связанных с антропогенной деятельностью человека. Эти вопросы особенно важны в связи с крупными строительными мероприятиями на территории Советского Союза.

Третий раздел посвящен важному вопросу инженерной геоло-

гии — изменению и прогнозу свойств лессовых грунтов под влиянием различных факторов техногенеза. Результаты проведенных работ, включая полевое опробование, позволяют рекомендовать растворы в качестве способа упрочнения лессовых грунтов для усиления оснований зданий и сооружений.

Интересный научно-практический материал по изменению и прогнозу геологических процессов и явлений под влиянием техногенеза составляет заключительный раздел. В статьях рассматриваются вопросы влияния различных факторов деятельности человека на окружающую среду, на возникновение новых геологических процессов (повышение сейсмичности, проявление карста, переувлажнение и др.). Дается также прогноз неблагоприятных явлений и изменения инженерно-геологических свойств искусственно намытых грунтов во времени.

В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года" партией поставлены большие, грандиозные по своим масштабам задачи. Данный сборник актуален в свете решения проблемы охраны окружающей среды, в том числе геологической. В нем рассматриваются цели и задачи инженерной геологии и грунтоведения в охране и рациональном использовании геологической среды.

## Раздел I

# ИЗМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

УДК 624.131.43

Р.С. Зиангиров, Н.А. Окнина, Н.А. Лаврова  
(ПНИИСС, Москва)

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХВАЛЫНСКИХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ КИСЛЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД

Эксплуатация химических предприятий связана с постоянными утечками промышленных стоков из растворонесущих коммуникаций. В пределах промплощадок формируется техногенный водоносный горизонт, воды которого вызывают изменения физического состояния (влажности и плотности), химико-минерального состава, прочностных и деформационных свойств глинистых пород, залегающих в основании фундаментов сооружений. Это обуславливает деформации выстроенных промышленных предприятий. Проектирование и строительство химических сооружений проводится порой без учета возможного изменения прочностных и деформационных свойств глинистых грунтов при взаимодействии с водами возникающего техногенного водоносного горизонта.

Объектом наших исследований явились широко распространенные в Поволжье четвертичные морские хвалынские глинистые породы ( $mQ_3hu_2$ ) залегающие в основании фундаментов зданий Балаковского завода резинотехнических изделий. Территория расположена в пределах второй надпойменной террасы левого берега р. Волги в Саратовской области. В настоящее время промплощадка завода находится в подтопленном состоянии. В связи с этим глинистые грунты оснований сооружений имеют высокую влажность.

Техногенные воды характеризуются минерализацией 1,2–9,2 г/л, хлоридно-натриевым составом, pH 2,5–6,0, высокой окисляемостью (84,86–127,3 мгO<sub>2</sub>/л), обусловленной присутствием органических кислот. Следует также отметить, что в этих водах содержится цинк (0,09–0,70 мг/л). Для получения сравнительных данных проводилось экспериментальное взаимодействие пород с искусственными водами аналогичного состава с pH 7,0 без органических кислот и с дистилли-

рованной водой. Искусственные воды, не содержащие органических кислот, приготавлялись из следующих солей:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Zn}(\text{HCO}_3)_2$ .

Определение величины набухания и параметров сопротивления сдвига после 15–30 сут взаимодействия пород с водами техногенного горизонта, искусственными и дистиллированной водами проводилось в приборах Васильева, изготовленных из оргстекла, и в уплотнительных сдвиговых ваннах. Давление набухания изучалось в приборах системы Гидропроекта. Испытания пород на сдвиг проведены на одноплоскостном приборе системы Гидропроекта по методу ускоренного сдвига (продолжительность опыта – 2 мин) на образцах естественного сложения и естественной влажности с различной предварительной подготовкой перед испытанием.

До и после взаимодействия грунтов с водами техногенного горизонта, искусственными и дистиллированной водами определялись влажность, объемный вес, прочность по конусу, дисперсность (микроагрегатный состав), состав воднорастворимых солей, состав обменных катионов, емкость обмена, содержание карбонатов, общий силикатный анализ (валовой анализ) и сопротивление сдвига.

Хвальинские глинистые породы, залегающие в основании фундаментов зданий и сооружений Балаковского завода резинотехнических изделий, представлены высокодисперсными и смешанными породами средней степени уплотнения с коагуляционными и коагуляционно-цементационными структурными связями, слабонабухающими. Содержание воднорастворимых солей, преимущественно хлоридно-натриевого состава, составляет 0,22–0,73%; поровые воды, отжатые из пород, имеют минерализацию порядка 11,56–15,69 г/л и хлоридно-натриевый состав; содержание гипса в глинах – 0,13–0,20%, карбонатов – 6,5–10,5%. Глины характеризуются полиминеральным составом, преобладающими глинистыми минералами являются монтмориллонит (30–52%), иллит (16–34%), каолинит (16–33%), присутствует хлорит (5–12%).

Емкость обмена пород составляет 21,06–29,46 мг-экв/100 г. В обменном комплексе преобладают двухвалентные катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  над одновалентными  $\text{Na}^{1+}$  и  $\text{K}^{1+}$ . Содержание обменного кальция в породах составляет 51,8–58,9% мг-экв, обменного магния – 32,7–41,8% мг-экв.

Изучение набухания хвальинских глин производилось на образцах при естественной влажности и ненарушенной структуре. В отдельных случаях величина набухания определялась на образцах пород при естественной влажности с нарушенной и ненарушенной структурой. Проведенные исследования показали, что набухание хвальинских глин составляет 1,0–6,6%, а в образцах с нарушенной структурой возрастает до 8,3–12,4%. Низкая величина набухания глин обуславливает низкие значения давления набухания (0,025–0,055 МПа).

Органические соединения, присутствующие в водах техногенного горизонта, оказывают слабое влияние на величину набухания пород. В глинах незастроенной части территории завода величина набухания в техногенных водах составляет 2,2%, в искусственных водах без органических кислот — 1,0%. Низкая набухаемость глин обусловлена высокой естественной влажностью пород (21,4—29,6%), преобладанием в обменном комплексе кальция, сравнительно невысоким содержанием глинистых частиц <0,005 мм (46—69%) и присутствием кальциевой разновидности монтмориллонита.

Наиболее высокая влажность набухания (27,9—34,5%) в породах наблюдается при набухании в дистиллированной воде; после взаимодействия с водами техногенного горизонта она составляет 24,7—28,8%.

Набухание пород вызывает снижение прочности по конусу. Наибольшее снижение этой величины (в 3—7 раз) наблюдается после взаимодействия с дистиллированной водой, а после взаимодействия с водами техногенного горизонта прочность уменьшается в 2—4 раза.

Испытания хвалынских глинистых пород на сдвиг производились по следующим схемам: с естественным сложением и естественной влажностью под вертикальной нагрузкой 0,1—0,2—0,3 МПа; после насыщения дистиллированной водой под уплотняющей нагрузкой 0,2 МПа (величина средней нагрузки от сооружения); после насыщения дистиллированной водой в течение 15—30 сут при свободном набухании; после насыщения водами техногенного горизонта в течение 15—30 сут под уплотняющей нагрузкой 0,2 МПа; после насыщения водами техногенного горизонта в течение 15—30 сут при свободном набухании.

Выбранные схемы испытаний на сдвиг соответствуют поведению пород в основании фундаментов на застроенной части территории завода при подтоплении водами техногенного горизонта и незастроенной части в условиях отсутствия подтопления и нагрузки от сооружений.

Хвалынские глины при естественных влажности 21,8—24,1% и плотности (объемный вес скелета 1,54—1,58 г/см<sup>3</sup>) обладают сцеплением порядка 0,05—0,07 МПа и углом внутреннего трения 23—26°. Процессы взаимодействия глин незастроенной территории с водами техногенного горизонта вызывают уменьшение величины сцепления в 1,5—2 раза и незначительное изменение угла внутреннего трения.

Взаимодействие глинистых пород с водами техногенного горизонта вызывает незначительное изменение состава обменных катионов: происходит некоторое увеличение содержания обменного кальция на 3—5% мг-ЭКВ и уменьшение обменного натрия на 1,5—3% мг-ЭКВ. Уменьшение емкости обмена пород после взаимодействия с водами техногенного горизонта обусловлено увеличением содержания обменного кальция и агрегацией глинистых частиц.

Анализ водных вытяжек из глин, взаимодействующих с водами тех-

ногенного горизонта, указывает на увеличение суммы воднорастворимых солей на 0,2–1,2% при сохранении хлоридно-натриевого состава.

После взаимодействия с техногенными водами валовой состав глин существенно не изменяется, за исключением содержания углекислоты и окси кальция. Последнее связано с растворением карбонатов глин кислыми водами (рН 2,5–6,5) техногенного горизонта. В группах после взаимодействия с кислыми техногенными водами содержание карбонатов уменьшается с 6,6–8,8 до 4,8–6,7%.

В соответствии с изменением состава обменных катионов наблюдается и изменение микроагрегатного состава хвалынских глин. Взаимодействие глинистых пород с водами техногенного горизонта и с искусственными водами сопровождается агрегацией глинистых частиц (< 0,005 мм) и пептизацией частиц крупной пыли (0,05–0,01 мм), в связи с этим наблюдается уменьшение содержания фракции частиц < 0,005 мм с 31–37 до 22–27% и увеличение содержания частиц фракции крупной пыли с 31–43 до 55–66%.

Изучение процессов взаимодействия пород с кислыми ( $H_2SO_4$ ) компонентами промстоков показало, что с увеличением концентрации раствора серной кислоты от 0,5 до 5 н. величина набухания пород возрастает от 25,4 до 86,7%.

При взаимодействии глин с растворами серной кислоты происходят процессы "химического набухания", связанные с образованием кристаллогидратов сернокислых солей Fe и Al, которые обусловливают высокую набухаемость пород. Взаимодействие пород с растворами серной кислоты вызывает растворение окислов Fe и Al и увеличение содержания аморфной кремнекислоты. Согласно данным валового химического анализа, в исследованных породах содержание  $Fe_2O_3$  уменьшается на 1,5–2% и  $Al_2O_3$  – на 1,5%. Содержание аморфной кремнекислоты, согласно данным щелочных вытяжек, увеличивается в 2–4 раза.

Высокая влажность набухания (45,4–61,9%) пород с сернокислыми растворами обусловлена образованием кристаллогидратов сернокислых солей  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  и  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 11H_2O$ .

После взаимодействия хвалынских глин с растворами серной кислоты наблюдается резкое уменьшение прочности по конусу, обусловленное высокой влажностью набухания и разрушением цементационных структурных связей породы. Прочность по конусу пород после набухания в растворах серной кислоты уменьшается. Разупрочнение пород растворами серной кислоты составляет от 6 до 30 раз. Данные по определению карбонатов показали, что растворы серной кислоты 0,5–5 н. концентрации вызывают в породах полное растворение карбонатов. В связи с этим прочность пород после взаимодействия с растворами серной кислоты не зависит от концентрации взаимодействующего раствора.

Процессы набухания глин в растворах серной кислоты обусловливают уменьшение объемного веса грунта с 1,84–1,99 до 1,61–1,77 гс/см<sup>3</sup>.

и увеличение пористости с 40–44 до 57–67%. Взаимодействие с растворами серной кислоты вызывает изменение дисперсного состава грунтов. В хвалынских глинах растворы серной кислоты вызывают процессы агрегации частиц глинистой пылеватой и тонкопесчаной фракций.

Рентгеноструктурные исследования глинистой фракции (меньше 0,001 мм) хвалынских пород показали, что процессы взаимодействия пород с растворами серной кислоты вызывают разрушение глинистых минералов группы монтмориллонита. В исследованных породах после взаимодействия с растворами серной кислоты 5 н. концентрации наблюдается полное разрушение глинистых минералов группы монтмориллонита.

Процессы взаимодействия хвалынских глин с растворами серной кислоты 1 и 2 н. концентраций в условиях свободного набухания вызывают уменьшение величины сцепления в 4–5 раз и угла внутреннего трения на 8–12°, что обусловлено высокой влажностью набухания.

Таким образом, при проектировании и строительстве химических предприятий необходимо учитывать возможное подтопление промплощадок техногенными водами и изменение в связи с этим прочностных и деформационных свойств пород, залегающих в основании фундаментов.

УДК 624.131.439

Ф.Е. Волков, Р.И. Злочевская, С.Д. Воронкевич  
(НИИПромстрой, Уфа; МГУ)

## ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ ЩЕЛОЧИ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Эксплуатация зданий и сооружений предприятий, где в технологических процессах производится или потребляется щелочь, связана со значительными трудностями вследствие воздействия растворов щелочи на глинистые грунты оснований, часто приводящего к их набуханию. При этом возникает давление набухания, превышающее суммарное давление от полезной нагрузки и собственной массы грунтов, что приводит к недопустимым деформациям оснований, в то время как при замачивании этих грунтов водой они не проявляют деформаций.

Исследование влияния растворов NaOH на изменение физико-механических свойств полиминеральных глинистых грунтов проводилось на аллювиальных и делювиальных верхнечетвертичных супесях, суглинках и глинах, отобранных с площадок предприятий химической промышленности Башкирии. Естественная влажность грунтов составляла 20–30%, пористость – 0,40–0,45, степень влажности близка к единице, число пластичности 5–25, исходная прочность по конусу ( $P_m$ ) варьировалась от 0,1 до 0,6 МПа.

Изменение набухаемости и прочности по конусу глинистых грунтов при воздействии растворов щелочи

Название грунта, генезис, возраст, место отбора	Лабораторный номер	в дистиллированной воде					
		160	0,2				
Супесь (aQ <sub>3</sub> ), г. Стерлитамак	95	<u>0,4</u> 0,020					
	106	4,0					
Суглинок (aQ <sub>3</sub> ), г. Стерлитамак	141	0,4					
	252	0,5					
	94	0,1					
	84	0,5					
Суглинок (aQ <sub>3</sub> ), г. Уфа	4	<u>1,7</u> 0,025					
		<u>1,4</u> 0,011	<u>2,7</u> 0,040	<u>2,4</u> 0,25	<u>4,6</u> 1,82	<u>3,1</u> 3,64	
Суглинок (d-aQ <sub>3</sub> ), п. Маячный БАССР	109	<u>4,6</u> 0,085	<u>5,3</u> 0,076	<u>14,3</u> 0,12	<u>11,7</u> 0,83	<u>9,3</u> 2,15	<u>6,8</u> 4,03
Суглинок (dQ <sub>3</sub> ), г. Уфа	1	<u>0,9</u> 0,08	<u>1,0</u> 0,074	<u>6,0</u> 0,202	<u>4,3</u> 0,717	<u>3,7</u> 1,06	<u>3,6</u> 2,4
	2	<u>1,0</u> 0,091	<u>1,7</u> 0,092	<u>9,8</u> 0,232	<u>5,8</u> 0,495	<u>4,6</u> 1,42	<u>2,5</u> 2,13
	3	15,6	20,1	28,0	18,6	16,0	13,2
Суглинок (dQ <sub>3</sub> ), г. Мелеуз	79	<u>9,7</u> 0,031	<u>10,2</u> 0,021	<u>16,9</u> 0,083	<u>12,6</u> 0,462	<u>11,3</u> 1,82	<u>10,2</u> 4,32
Глина (dQ <sub>3</sub> ), г. Уфа	6	<u>0,8</u> 0,065	<u>0,9</u> 0,044	<u>3,1</u> 0,535	<u>2,4</u> 1,12	<u>2,0</u> 1,65	<u>1,6</u> 2,01
	5	<u>4,0</u> 0,095	<u>10,1</u> 0,043	<u>18,2</u> 0,235	<u>11,5</u> 0,515	<u>10,2</u> 1,35	<u>9,3</u> 2,10
	146	4,4	4,6	10,4	7,0	6,0	4,0
	7	4,1	6,8	13,8	8,3	7,6	5,3
	159	5,6	6,7	13,7	12,0	10,3	7,2

Примечание. В числителе — данные набухаемости, %, в знаменателе — прочности по конусу, МПа.

Набухаемость и прочность по конусу					
в растворе NaOH, н.					
	0,1	1,0	2,5	5	10
—	0,2	0,3	1,5	0,7	
—	<u>0,2</u> 0,132	<u>0,4</u> 0,186	<u>2,2</u> 1,6	<u>1,7</u> 4,06	
—	6,0	7,0	7,7	5,6	
—	0,6	0,4	2,2	1,9	
—	1,1	1,2	2,6	1,7	
—	0,2	0,2	2,7	2,3	
—	1,1	1,0	3,1	2,2	
<u>1,4</u> 0,011	<u>2,7</u> 0,040	<u>2,4</u> 0,25	<u>4,6</u> 1,82	<u>3,1</u> 3,64	
<u>5,3</u> 0,076	<u>14,3</u> 0,12	<u>11,7</u> 0,83	<u>9,3</u> 2,15	<u>6,8</u> 4,03	
<u>1,0</u> 0,074	<u>6,0</u> 0,202	<u>4,3</u> 0,717	<u>3,7</u> 1,06	<u>3,6</u> 2,4	
<u>1,7</u> 0,092	<u>9,8</u> 0,232	<u>5,8</u> 0,495	<u>4,6</u> 1,42	<u>2,5</u> 2,13	
20,1	28,0	18,6	16,0	13,2	
<u>10,2</u> 0,021	<u>16,9</u> 0,083	<u>12,6</u> 0,462	<u>11,3</u> 1,82	<u>10,2</u> 4,32	
<u>0,9</u> 0,044	<u>3,1</u> 0,535	<u>2,4</u> 1,12	<u>2,0</u> 1,65	<u>1,6</u> 2,01	
<u>10,1</u> 0,043	<u>18,2</u> 0,235	<u>11,5</u> 0,515	<u>10,2</u> 1,35	<u>9,3</u> 2,10	
4,6	10,4	7,0	6,0	4,0	
6,8	13,8	8,3	7,6	5,3	
6,7	13,7	12,0	10,3	7,2	

Исследуемые грунты замачивались дистиллированной водой и растворами NaOH (0,1; 1,0; 2,5; 5,0 и 10 н. концентраций). Набухаемость изучаемых глинистых грунтов характеризовалась изменением относительной величины объема образца грунта ( $H_H$ ), влажности набухшего образца и времени их полного свободного набухания. Как видно из данных таблицы, для образцов супеси и суглинка, глинистая фракция которых представлена гидрослюдой, хлоритом и каолинитом, величина набухания в дистиллированной воде и растворах щелочи менее 2,5 н. концентрации незначительна, хотя и наблюдается тенденция к увеличению набухаемости образцов с ростом концентрации контактирующего раствора. С дальнейшим повышением концентрации раствора NaOH (до 5 н. и более) набухаемость исследуемых образцов грунтов существенно возрастает. Увеличение набухаемости исследуемых грунтов как в воде, так и в растворах NaOH наблюдается с уменьшением естественной влажности, когда образцы грунта имеют твердую консистенцию.

Увеличение объема образцов делювиальных суглинков и глин, глинистая фракция которых представлена монтмориллонитом и гидрослюдой, также существенно зависит от концентрации раствора щелочи и имеет ярко выраженный экстремальный характер с максимумом при 1 н. концентрации щелочи. Хотя с повышением концентрации раствора щелочи ( $> 1$  н.) и наблюдается уменьшение величины набухания исследуемых образцов, однако значения ее превышают таковые при взаимодействии грунтов с дистиллированной водой.

Набухание указанных глинистых грунтов в воде и в концентрированных растворах щелочи ( $> 1$  н.) в основном заканчивается через 5–7 сут., тогда как набухание их в растворах 1,0 н. и более низких концентраций продолжается в течение 15–18 сут.

Под воздействием растворов щелочи изменяются и прочностные характеристики (прочность по конусу, сцепление, угол внутреннего трения) исследуемых грунтов.

Наблюдается снижение величины  $P_m$  (см. таблицу) при замачивании грунтов дистиллированной водой в 3–10 и 5–15 раз при обработке их раствором NaOH низкой концентрации ( $\leq 0,1$  н.). Однако при концентрациях раствора NaOH равной 1 н. и выше, значения  $P_m$  образцов возрастают, а в 10 н. растворе превосходят таковую для исходного состояния в 8–30 раз. Следует отметить, что для супеси и суглинков наблюдается тенденция к большему возрастанию  $P_m$  с увеличением концентрации раствора щелочи, чем для глин.

Изменение прочностных характеристик грунтов, замачиваемых растворами NaOH, влияет и на компрессионные свойства их, увеличивая коэффициент относительной сжимаемости ( $a_0$ ) при низких концентрациях раствора и уменьшая его при высоких, вплоть до величин, близких к нулю. Если защелоченные образцы глинистых грунтов отмыть дистиллированной водой от щелочи (до  $pH \approx 8$ ), то оказывается, что предыдущее

взаимодействие их с растворами щелочи высокой концентрации ( $>1$  н.) приводит к росту величин  $P_m$  в таких образцах, причем значения и объем последних практически не изменяются. Полученные результаты по взаимодействию дисперсных грунтов полидисперсного и полиминерального состава с растворами щелочи высокой концентрации можно в какой-то мере интерпретировать на основе проведенных нами ранее исследований для мономинеральных глин<sup>1</sup>.

Было показано, что обработка глин растворами щелочи высокой концентрации приводит к разрушению кристаллической решетки минералов, выщелачиванию из них окислов кремния и алюминия, поглощению ионов натрия и увеличению емкости обмена, к образованию из продуктов выщелачивания гидроалюмосиликатов натрия и гидросиликатов кальция. При этом специфика взаимодействия с растворами щелочи минералов каолинита и монтмориллонита до некоторой степени сохраняется и для образцов исследуемых полиминеральных грунтов, содержащих соответствующие глинистые минералы.

Этот вывод следует рассматривать как предварительный, поскольку более полные представления о взаимодействии со щелочными растворами полиминеральных и полидисперсных глинистых грунтов могут быть сформированы с учетом влияния других минералов, в том числе и неглинистых (кремнезема, кальцита и др.), растворения веществ, цементирующих агрегаты, воздействия песчаных и пылеватых частиц и т. д.

В итоге проведенные исследования показали, что при взаимодействии с растворами щелочи высоких концентраций ( $>1$  н.) глинистые грунты претерпевают необратимые химические преобразования, приводящие при определенных концентрациях раствора к росту их набухаемости, а также к возникновению смешанной коагуляционно-кристаллизационной структуры, обладающей значительной прочностью.

УДК 624.131.22

Н.П. Затенацкая  
(ПНИИС, Москва)

## ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАСОЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПРИ ИХ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Физико-механические свойства пород определяются их вещественным и дисперсным составом, состоянием и характером структурных связей. Среди глинистых пород особое место занимают засоленные разности вследствие их высокой "чувствительности" по отношению к воде.

<sup>1</sup> Волков Ф.Е., Злочевская Р.И., Воронкевич С.Д. О взаимодействии глинистых минералов с растворами щелочи. — Вестн. МГУ. Сер. геол., 1976, № 3, с. 87—95.

При взаимодействии засоленных глин с пресной водой, вызывающим выщелачивание, в породе ослабляются и нарушаются неводостойкие структурные связи, что приводит к резкому изменению физико-механических свойств — плотности, прочности и деформационного поведения. Будучи достаточно прочными в засоленном состоянии, в процессе выщелачивания глины дополнительно гидратируются, разуплотняются и разупрочняются, переходя в группу слабых пород, что и является причиной проявления таких явлений, как оползни, оплывы, неравномерные осадки, просадки и проч.

Основой методики оценки и прогноза изменения физико-механических свойств засоленных глинистых грунтов является принцип комплексного изучения их ионно-солевого комплекса, вещественного и дисперсного состава, физического состояния, прочностных и деформационных свойств. Стандартный подход при определении расчетных показателей физико-механических свойств пород не отвечает требованиям, предъявляемым при изучении засоленных глинистых пород. Учитывая особенности засоленных глинистых пород — разупрочнение при выщелачивании, комплексное изучение этих пород должно проводиться как в естественном засоленном состоянии, так и после взаимодействия с пресной водой, вызывающего выщелачивание солей из породы. Такой методический подход позволяет правильно прогнозировать поведение породы при взаимодействии с сооружением в условиях дополнительного увлажнения и выщелачивания засоленных глинистых пород.

Для оценки изменения физико-механических свойств засоленных глинистых пород при их выщелачивании в ПНИИС впервые в практике лабораторных исследований изготовлен и применяется новый прибор — установка для изучения процесса диффузионного выщелачивания глинистых грунтов [1]. Прибор позволяет: проводить диффузионное выщелачивание глинистых пород в условиях как свободного набухания образца, так и под заданной нагрузкой; фиксировать деформацию (набухание—осадку) породы в процессе опыта; определять после опыта показатели физического состояния (плотность, влажность, прочность по конусу); определять показатели прочностных свойств — сцепление и угол внутреннего трения выщелоченных разностей пород.

Для получения достоверного прогноза изменения физико-механических свойств засоленных глинистых пород при их выщелачивании нами проведено по единой методике комплексное изучение различных геологогенетических типов засоленных глинистых пород. Объектом исследований послужили засоленные глины южных степных и полупустынных районов страны: Центрального Предкавказья — майкопские и развитые на них четвертичные глины, Заволжья — сыртовые глины и Прикаспия — хвальинские глины. Указанные породы имеют региональное распространение и слагают дно и откосы Большого Ставропольского, Саратовского, Куйбышевского, Волго-Уральского ирригационных каналов, используют-

ся как строительный материал для отсыпки дамб, а также служат основаниями для различных гидротехнических, промышленных и гражданских сооружений.

По минеральному составу глинистой фракции (менее 0,001 мм) изученные засоленные глины представлены двумя разностями: монтмориллонитовые майкопские и развитые на них четвертичные глины Предкавказья, содержащие до 85% монтмориллонита, а также хлорит-иллитовые сыртовые глины Заволжья и хвалынские глины Северного Прикаспия, содержащие в составе глинистой фракции хлорита до 53%, иллита до 46%. Монтмориллонит в них отсутствует. В обеих изученных разностях в глинистой фракции присутствует каолинит в количестве 7–18%.

Засоленные глины содержат в твердом состоянии средне- и трудно-растворимые соли – гипс и карбонаты кальция и магния. Содержание тонкорассеянного в породе гипса в делювиальных глинах, развитых на майкопе, достигает 13%, в сыртовых и хвалынских глинах – 4%; содержание карбонатов в изученных засоленных глинах составляет 2–15%. Засоленные глины содержат аморфный кремнезем в количестве 1,3–4,0%. Все изученные разности засоленных глин обогащены окислами железа и имеют бурый и охристо-бурый цвет. Гипс, карбонаты кальция и магния, аморфный кремнезем, окислы железа являются естественными цементами, способствующими упрочнению засоленных пород. Содержание гумуса в засоленных глинах составляет десятые доли процента.

Поровые воды, содержащиеся в засоленных глинах, имеют высокую минерализацию – до 20–94 г/л, состав поровых вод хлоридно-сульфатный натриево-магниевый. Содержание солей в породе по данным водных вытяжек составляет более 1%, доходя в отдельных наиболее засоленных разностях до 3,7%.

Емкость обмена, являющаяся мерилом реакционной способности породы, наибольшая у монтмориллонитовых засоленных разностей и составляет 33 мг-экв/100 г; у сыртовых и хвалынских глин она значительно ниже и равняется 21–26 мг-экв/100 г. В составе обменных катионов засоленных глин содержание обменного натрия колеблется в пределах 34–51%, обменного магния – 29–51% и обменного кальция – 10–27%.

Все исследованные засоленные глинистые породы по гранулометрическому составу относятся к высокодисперсным, тогда как данные микроагрегатного анализа этих глин свидетельствуют о значительной агрегации их глинистых фракций. Более высокодисперсными, по данным гранулометрического анализа, являются монтмориллонитовые майкопские и развитые на них четвертичные элювиально-делювиальные глины Предкавказья, содержание фракции менее 0,005 мм в них достигает 78%, а фракции менее 0,001 мм – 50%. В сыртовых и хвалынских хлорит-иллитовых глинах Заволжья и Прикаспия содержание фракции менее 0,005 мм составляет 60%, а фракции менее 0,001 мм – 40%.

Изменение физико-механических свойств засоленных глин при диффузионном выщелачивании

Объект исследований	Глубина отбора монолита, м	Продолжительность опыта после выщелачивания, сут	Нагрузка от прибора на образец $\sigma$ , МПа	Угол внутреннего трения $\phi^\circ$
Четвертичные делювиальные глины на майкопе ( $dQ_{3-4}$ ), Большой Ставропольский канал (БСК-II)	9	210	0,008	26 8
Четвертичные элювальные глины на майкопе $eQ_{3-4}$ (БСК-II)	11	80	0,008	16 6
Элювий верхней генерации майкопских глин $eP_3-N_1^{1-2}$ (БСК-II)	12	60 105	0,008 0,3	23 7 18
Хвалынские глины ( $Q_3^{hV}$ ), канал Волго-Урал	5	34	0,1	29 20
Сыртовые глины ( $N_2^{ap}$ ), Саратовский канал	5	20	0,008	28 20

\* Слева данные гранулометрического анализа, справа — микроагрегатного анализа.

Степень и характер агрегированности изученных глинистых пород различные и, как показали исследования, зависят от их вещественного состава и особенно четко контролируются содержанием в породе тонко-рассеянного гипса. Диапазон колебаний значений коэффициентов агрегированности весьма широкий — от 1,6 до 92 ( $K_a$  менее 0,001 мм) и от 1,4 до 23 ( $K_a$  менее 0,005 мм) — у четвертичных элювиально-делювиальных глин, развитых на майкопе. Глинистая фракция сконцентрирована в пылеватую и песчаную фракции.

Сыртовые и хвалынские глины также агрегированы в естественном сложении, образуют опесчаненные суглинки. Коэффициент агрегированности фракции менее 0,001 мм сыртовых глин изменяется от 3 до 20, хвалынских глин составляет 2—4 для фракции менее 0,005 мм —

Сцепление $C$ , МПа	Коэффициент разупорочнения $I_c$	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент разуплотнения $I_{\gamma_{ск}}$	Прочность по конусу, МПа
0,3 0,02	19	1,74	1,46	16	1,9 0,15
0,12 0,02	36	1,52	1,21	20	1,1 0,08
0,3 0,02 0,06	28 47	1,59	1,32	17	2,0 0,2 0,6
0,04 0,02	39 35	1,32	1,48	7	0,6
0,04 0,02	23	1,68	1,60	5	0,6 0,2
0,06 0,02	21 23	1,58	1,53	3	0,9 0,1
3746	17 27	1,53			

соответственно 2—10 и 1,3—2. Судя по коэффициентам агрегированности фракции менее 0,001 и 0,005 мм, засоленные глинистые породы характеризуются смешанным коагуляционно-кристаллизационным характером структурных связей [2].

Формирование смешанного типа структурных связей — межагрегатных и внутриагрегатных — обусловлено высоким содержанием солей как в поровых водах, так и в твердом виде в породе. Высокая минерализация поровых вод в засоленных глинах способствует уменьшению толщины диффузных слоев и более компактной коагуляции частиц через тончайшие прослойки связанной воды, а наличие в породе таких естественных цементов, как гипс, карбонаты, способствует формированию неводостойких, но достаточно прочных в условиях естественного сложения кристаллизационных связей между агрегатами.

Таблица (окончание)

Объект исследований	Предел текучести/Число пластичности	Отношение $W/W_L$	Набухание, %	Давление набухания, МПа		Поровые воды, г/л	Водная вытяжка, %	Содержание монтмориллонита, %	Содержание фракции < 0,005 мм, %	Содержание $\text{CaCO}_3/\text{гипс}$ , %
Четвертичные делювиальные глины на майкопе ( $dQ_{3-4}$ ), Большой Ставропольский канал (БСК-II)	46/20 49/23	0,4 0,8	32	1,0		52 0,4	2,4	84 84	63/4* 62/3	3/5
Четвертичные элювийальные глины на майкопе $eQ_{3-4}$ (БСК-II)	53/22 62/31	0,5 0,7	17	0,2		45 0,5	1,2	77 77	73/50 73/57	2/нет
Элювий верхней генерации майкопских глин $eP_3-N_1^{1-2}$ (БСК-II)	56/24 65/33 -	0,4 0,7 0,5	21	0,7		49 0,8 11	1,0	79 79 79	63/50 63/45 -	2/0,1
Хвалынские глины ( $Q_3^h V$ ), канал Волго-Урал	31/13 31/13	0,7 0,7	2	Нет		32 5	0,7	Нет Нет	59/35 59/27	15/0,0
Сыртовые глины ( $N_2^{ap}$ ), Саратовский канал	31/12 31/12	0,5 0,9	3	Нет		20 4	0,4	Нет Нет	60/35 58/30	9/1,2

Пластические свойства изученных засоленных глин характеризуются следующими значениями: для монтмориллонитовых четвертичных глинистых пород, развитых на майкопе, предел текучести равен 46–53%, число пластичности равняется 20–32; для хлорит-иллитовых хвальинских и сыртовых глинистых пород предел текучести составляет 30–34%, число пластичности равняется 11–13. Породы находятся в твердой и полу-твердой консистенции.

Физическое состояние засоленных глин, охарактеризованное их плотностью, влажностью и прочностью в естественном сложении, крайне неоднородно, что связано с неоднородностью их вещественного и дисперсного состава. Согласно классификации грунтов, предложенной И. М. Горьковой [2], изученные породы относятся к средне- и сильноуплотненным, средне- и сильноводонасыщенным и сильнолитифицированным.

Плотность пород (по объемному весу скелета) изменяется от 1,30 до 1,77 гс/см<sup>3</sup>, наиболее плотными являются хвальинские глины (1,62–

1,77 гс/см<sup>3</sup>). В естественном сложении наименее влажными (13–18%) являются средневодонасыщенные ( $C = 0,5$ ) сыртовые глины, однако в образцах полностью водонасыщенных их влажность остается также невысокой (20–23%), такая же невысокая (19–23%) естественная влажность характерна и для хвальинских водонасыщенных глинистых пород, породы слабогидрофильны (2–3%).

Более высокая водоудерживающая способность (24–32%) характерна для монтмориллонитовых выветрелых майкопских и слабоагрегированных элювиальных четвертичных глин, развитых на майкопе.

Прочность по конусу изученных засоленных глин в естественном сложении изменяется в широких пределах и составляет для четвертичных глин на майкопе 0,3–2,6 МПа; для хвальинских глин – 0,4–0,7 МПа и сыртовых глин – 0,4–1,8 МПа.

Прочность засоленных глин по данным сдвиговых испытаний характеризуется следующими показателями: для четвертичных глин на майкопе сцепление изменяется в широких пределах – от 0,05 до 0,3 МПа,

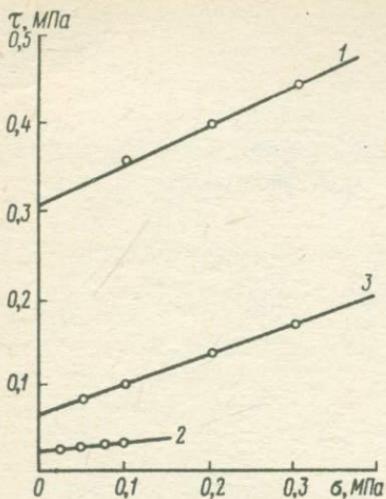


Рис. 1. Сопротивление сдвигу майкопских глин — элювия верхней генерации — по трассе Большого Ставропольского канала (глубина 12 м)

1 — при естественной влажности и плотности (минерализация поровых вод — 49 г/л); 2 — после выщелачивания в диффузационной установке (60 сут) при  $\sigma = 0,008$  МПа (минерализация поровых вод — 0,8 г/л); 3 — после выщелачивания в диффузационной установке (105 сут) при  $\sigma = 0,3$  МПа (минерализация поровых вод — 11 г/л)

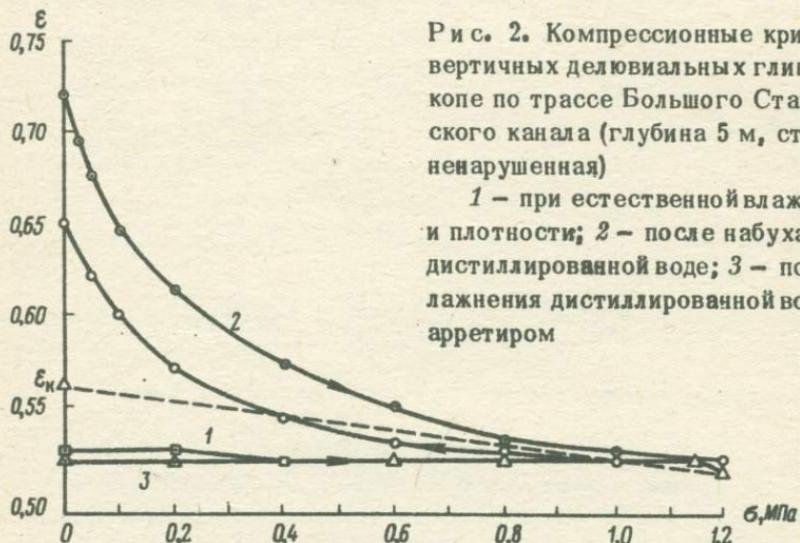


Рис. 2. Компрессионные кривые четвертичных делювиальных глин на майкопе по трассе Большого Ставропольского канала (глубина 5 м, структура ненарушенная)

1 — при естественной влажности и плотности; 2 — после набухания в дистиллированной воде; 3 — после увлажнения дистиллированной водой под арретиром

для хвалынских и сыртовых — от 0,04 до 0,1 МПа. Углы внутреннего трения изменяются от 16 до 29°. Высокие значения углов внутреннего трения (26–29°) характерны для слабогидрофильных хвалынских и сыртовых глин, а также для сильноагрегированных четвертичных глин на майкопе, все эти породы в естественном сложении имеют облик суглинков, нередко опесчаненных. По степени сжатия исследуемые засоленные глины в естественном сложении относятся к средне- и слабосжимаемым. Модуль общей деформации в интервалах нагрузок 0,1–0,4 МПа для среднесжимаемых разностей составляет 2,2–5,8 МПа, для слабосжимаемых — 10,4–30,0 МПа.

При взаимодействии засоленных глин с дистиллированной водой в опытах в новом приборе по диффузионному выщелачиванию, а также

при компрессионных испытаниях из породы выносятся легкорастворимые соли поровых вод, а также соли гипса и карбонатов, в составе обменных катионов резко увеличивается содержание обменного кальция, происходит разрушение неводостойких межагрегатных связей, резко снижается содержание фракций тонкого песка и крупной пыли, в результате чего происходит увеличение содержания тонких фракций, породы испытывают диффузионное выщелачивание.

Физико-механические свойства выщелоченных разностей глин резко отличны от засоленных. Выщелачивание солей из глин сопровождается набуханием, породы дополнительно гидратируются, влажность их возрастает, приближаясь к пределу текучести, а плотность и прочность снижаются, при этом больший эффект дополнительного увлажнения, разуплотнения и разупрочнения характерен для монтмориллонитовых четвертичных и майкопских, чем для хлорит-иллитовых хвалынских и сыртовых засоленных глин. Так, влажность выщелоченных четвертичных и майкопских глин составляет 48%, хвалынских и сыртовых – 27%. Коэффициент разуплотнения четвертичных и майкопских глин равняется 16–20%, хвалынских и сыртовых глин – лишь 3–5%. Коэффициент разупрочнения также выше у четвертичных и майкопских глин и составляет 83–93% против 50–67% у хвалынских и сыртовых глин (см. таблицу).

Различная способность взаимодействовать с водой изученных засоленных разностей глин связана с различной кристаллохимической структурой их глинистых минералов – Энергетические свойства, выраженные в способности тесно взаимодействовать с водой, гораздо выше у высокогидрофильных монтмориллонитовых, чем у слабогидрофильных хлорит-иллитовых глин.

Опыты на сдвиг показали, что в выщелоченных глинах в условиях свободного набухания и под нагрузкой 0,1–0,3 МПа по сравнению с засоленными резко снижается сцепление у четвертичных и майкопских глин до 0,02 МПа и угол внутреннего трения до 6–8°; у хвалынских и сыртовых выщелоченных глин сцепление также снижается до 0,02 МПа, однако углы внутреннего трения остаются довольно высокие – 20°, что согласуется с их более грубым дисперсным составом (см. таблицу, рис. 1).

Резкое снижение сцепления при выщелачивании изученных разностей засоленных глин подтверждает неводостойкий характер их структурных связей.

Изучение деформационного поведения засоленных глин при взаимодействии с дистиллированной водой позволило выделить среди них сильнонабухающие и просадочные разности. Сильнонабухающие разности засоленных четвертичных и майкопских глин в опытах компрессионных испытаний под арретиром развивают значительные давления набухания 0,4–1,2 МПа (рис. 2), а в опытах после свободного набухания перехо-

дят от слабосжимаемых в естественном сложении в группу пород среднесжимаемых.

Просадочные разности с коэффициентом просадочности  $\delta_{\text{пр.}}$ , равным 0,04, выявлены среди слабоводонасыщенных ( $G = 0,6$ ), сильно агрегированных, среднесжимаемых, ненабухающих четвертичных глин, развитых на майкопе. Опыты проведены по схеме: обжатие породы при естественной влажности—плотности под  $P = 0,3$  МПа до стабилизации с последующим заливом дистиллированной воды.

Изучение поровых вод породы при компрессионных испытаниях показало, что в опытах как со свободным набуханием, так и под арретиром, а также при определении просадочности минерализация поровых вод понижается (кривые 2, 3, рис. 2), что свидетельствует о диффузионно-осмотическом соле-водообмене между поровой и дистиллированной водой. Такое перераспределение вещества приводит к дополнительной гидратации и утолщению диффузных слоев, порода разуплотняется и разупрочняется, сжимаемость ее повышается (кривая 2, рис. 2). В случае, если опыт проводят при взаимодействии с дистиллированной водой под арретиром, понижение минерализации поровых вод происходит без изменения влажности и плотности породы, соле-водообмен способствует утолщению диффузных слоев, в результате чего возникает расклинивающее напряжение гидратных пленок в виде давления набухания. Таким образом, установлена физико-химическая природа деформации засоленных глинистых пород при их дополнительном обводнении, связанная с диффузионным соле-водообменом.

При строительстве сооружений на засоленных глинистых породах, а также при использовании их как стройматериалов необходимо строго учитывать особенности этих пород, выражющиеся в повышенной "чувствительности" по отношению к пресной воде, и применять методику комплексного изучения состава и физико-механических свойств засоленных глин с учетом прогноза изменения их при увлажнении и выщелачивании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенский А.Н., Затенацкая Н.П., Реутова Н.С. Методы комплексных исследований засоленных глинистых грунтов в строительных пелях. — В кн.: Докл. II респ. совещ.: Совершенствование методов лабораторных исследований грунтов при инженерных изысканиях для строительства. Смоленск: Центральный ТИСИЗ, 1977, с. 150–158.
2. Горькова И.М. Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации пород. М.: Наука, 1965. 128 с.

Р.С. Зиангиров, Г.С. Рабаев, Е.М. Тимофеев, Э.А. Лев  
(ПНИИИС, Госгорхимпроект, Москва)

## ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ЗАСОЛЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В связи с бурным развитием химической промышленности проблема охраны окружающей среды от загрязнения приобрела государственное значение. Весьма остро эта проблема стоит перед калийными комбинатами, объемы промышленных отходов которых составляют миллионы кубометров в год, а площади, занимаемые самими калийными предприятиями, отвалами и хвостохранилищами, — сотни гектаров.

В работах [2, 3, 5, 6] установлено, что процессы диффузационного засоления зависят от состава и свойств глинистых пород; в результате диффузии ионов в глинистых грунтах происходят изменения их водо-физических свойств; процесс диффузационного перемещения солей в грунтах подчиняется общим законам диффузии, установленным Фиком. Но в этих работах отсутствуют данные по изменению прочностных и деформационных характеристик глинистых пород естественного сложения в результате их диффузационного засоления, а коэффициент диффузии определяется на глинистых пастах в металлических трубках с максимальной высотой образца 5–9 см в течение непродолжительного времени — от 5 до 40 сут. По нашему мнению, такой метод исследования диффузии не полностью отражает динамику процесса, в опытах не получает отражения влияние фактора мощности, литологической неоднородности и структурно-текстурных особенностей грунтов.

С целью прогнозирования изменения свойств грунтов настоящие исследования проводились на специально отобранных монолитах-блоках диаметром 25–30 см и высотой 100 см и на образцах, отобранных после засоления под основанием солеотвалов, простоявших несколько лет. Все исследования проводились на делювиальных и озерно-аллювиальных грунтах.

Диффузионные процессы изучались в толстостенных кварцевых трубках, в которые вырезались образцы с ненарушенной структурой ( $d_{\text{обр}} = 20$  см и  $h = 80$ – $90$  см). Образец присыпался слоем хлоридно-натриевой соли толщиной 20–25 см, отобранный из тела солеотвала. Подготовленные таким образом образцы помещались в гидрокамеры для предотвращения испарения влаги. Продолжительность опытов составляла от 120 до 367 сут. По истечении указанного времени образцы извлекались из трубок для определения их свойств.

Анализ полученных данных (см. таблицу) показывает, что в результате диффузационного засоления происходит незначительное изменение физических свойств грунтов. Средняя величина влажности после диф-

Наименование показателя свойств	Величина измерения	Количество определений	Пределы колебаний		Средние значения
			от	до	
Влажность исходных грунтов в верхней части монолита	%	155	22 18	34 30	28,0 24,5
Объемная масса в верхней части монолита	гс/см <sup>3</sup>	155	1,83 1,89	1,96 2,00	1,86 1,96
Влажность					
на границе текучести	%	120	34 32	40 39	37 35
на границе раскатывания	%	120	22 21	25 25	23 23
Коэффициент диффузии	см <sup>2</sup> /сут	40	0,42	0,98	0,66

**Примечание.** В числителе — показатели незасоленных грунтов; в знаменателе — после диффузионного засоления.

диффузионного засоления уменьшилась на 2–5%, но влажность образца в нижней части монолита и влажность контрольных образцов без засоления практически осталась без изменения. Это свидетельствует о том, что образцы, находящиеся в гидрокамерах 120–367 сут, не подверглись высыханию, т. е. действию других факторов. Объемная масса образцов в верхней части монолита увеличивается в среднем на 0,10 гс/см<sup>3</sup>. С глубиной увеличение объемной массы носит затухающий характер, и в нижней части монолита (глубина 80–90 см) существенной разницы в плотности исходных и засоленных образцов не наблюдается. Пределы пластиичности практически не меняются, даже в верхней, наиболее засоленной части монолита. Максимальные отклонения составляют 2–3%, что находится в пределах точности определения.

Анализ результатов гранулометрического и микроагрегатного состава исследованных образцов показывает, что при диффузионном засолении грунтов происходит значительная их диспергация (рис. 1). Содержание глинистых частиц при микроагрегатном анализе после диффузии возрастает в 1,5–4 раза и приближается к содержанию этой фракции в исходных грунтах при дисперсном анализе. Дополнительные исследования, проведенные на пастах незасоленных грунтов с таким же процентным содержанием соли, как при диффузионном засолении, показали, что происходит их коагуляция.

Резкое увеличение дисперсности при диффузионном засолении обу-

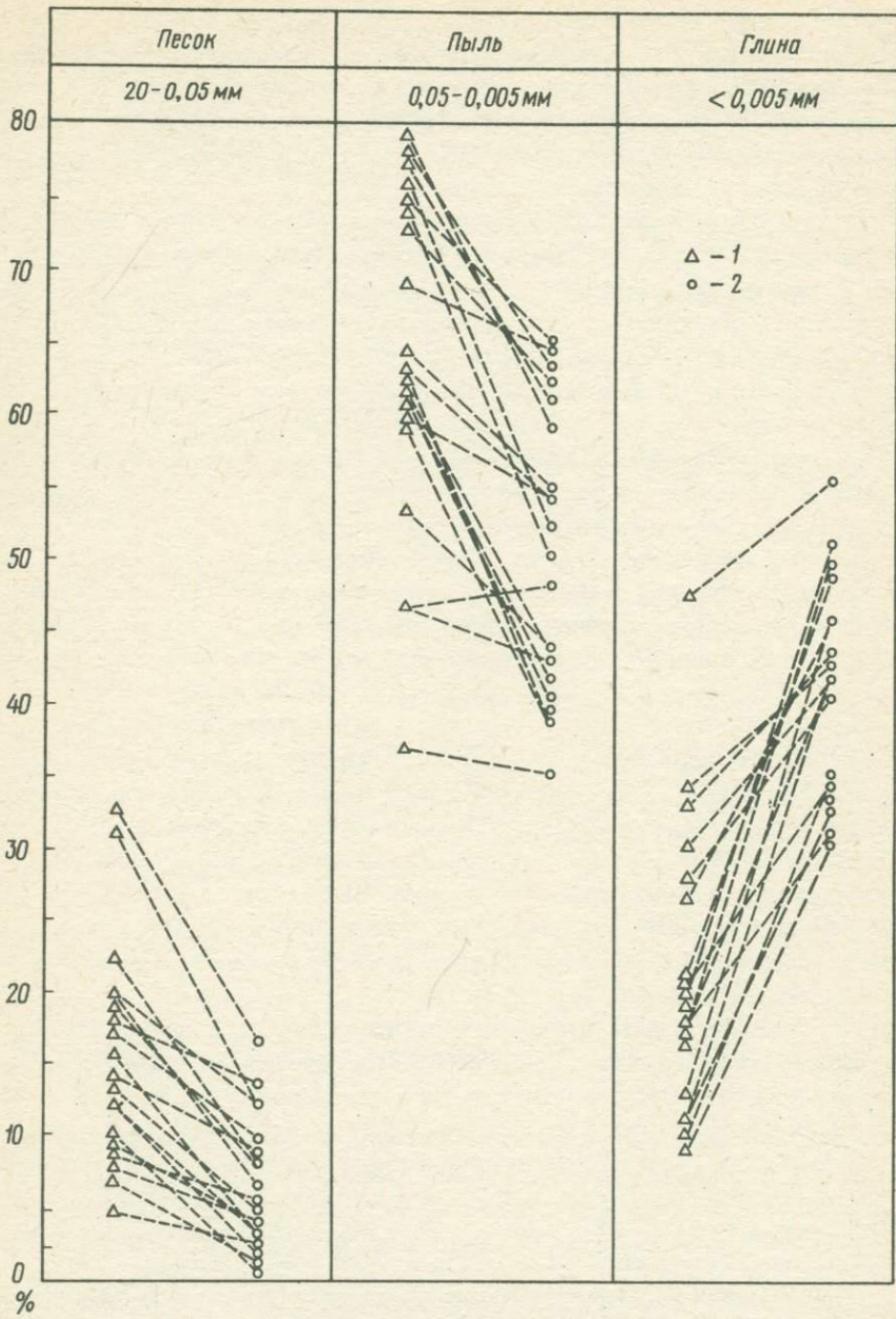


Рис. 1. Изменение содержания фракции в глинистых грунтах в результате их диффузационного засоления

1 — содержание фракции в незасоленных грунтах; 2 — то же, после диффузационного засоления

ясняется тем, что в первый период времени при незначительном засолении происходит замена двухвалентных ионов на одновалентный  $\text{Na}^+$ . При дальнейшем увеличении концентрации порового раствора сохранение высокой дисперсности можно объяснить необратимыми физико-химическими процессами, имеющими место при диффузионном засолении грунтов ненаруженного сложения.

Результаты экспериментальных данных, обработанные в виде зависимости  $\lg c - f(x^2)$ , показали, что величина коэффициента диффузии  $K_{\text{диф}}$  является постоянной величиной до глубины 8–10 см. Далее величина  $K_{\text{диф}}$  изменяется, закономерно увеличиваясь с глубиной, что отчетливо наблюдается в характере зависимости  $\lg c - f(x^2)$ . Средние значения  $K_{\text{диф}}$  исследованных грунтов находятся в пределах 0,42–0,98  $\text{см}^2/\text{сут}$  и хорошо согласуются с данными работ [1, 3, 4, 5]. Однако закономерной зависимости  $K_{\text{диф}}$  хлор-иона от плотности–влажности не отмечается. Вместе с тем прослеживается связь  $K_{\text{диф}}$  с содержанием глинистых частиц (рис. 2).

В свою очередь изменение гранулометрического состава с глубиной приводит к эффекту слоистости, замедляет движение ионов и способствует повышению концентрации на границах соприкосновения слоев. Результаты лабораторных исследований хорошо согласуются с натурными наблюдениями по диффузионному засолению грунтов в основании солеотвалов. Анализ образцов, отобранных из основания солеотвалов, показал, что происходит уменьшение влажности и увеличение объемного веса грунтов. При этом хлоридное засоление ложа солеотвалов носит неравномерный характер. Максимальное засоление произошло до глубины 15–20 см, затем с глубиной происходят перелом и резкое уменьшение концентрации хлор-иона. Из вышеуказанного следует, что диффузионное засоление глинистых грунтов носит затухающий во времени характер и в основном зависит от их дисперсности и литологической неоднородности.

Исследования фильтрационных, деформационных и прочностных характеристик проводились на незасоленных грунтах естественного сложения и на образцах-близнецах после их диффузионного засоления. В верхней части монолита после диффузионного засоления вырезались кольца в следующей последовательности: на расстоянии 1–3 см от границы контакта грунт–соль кольцо на определение  $K_{\phi}$  и на компрессию (концентрация  $\text{Cl}^-$  4400–4300 мг/100 г), ниже – с глубины 3,5–7,0 см (концентрация  $\text{Cl}^-$  4000–3550 мг/100 г) – кольца на сдвиг.

Анализ этих исследований показал, что во всех случаях происходит уменьшение коэффициента фильтрации на 1–2 порядка. Уменьшение коэффициента фильтрации грунтов после их диффузионного засоления хорошо согласуется с увеличением их дисперсности и плотности. При диффузионном засолении происходит самоуплотнение грунтов без воздействия внешней нагрузки (среднее значение коэффициента пористо-

Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии от содержания глинистой фракции

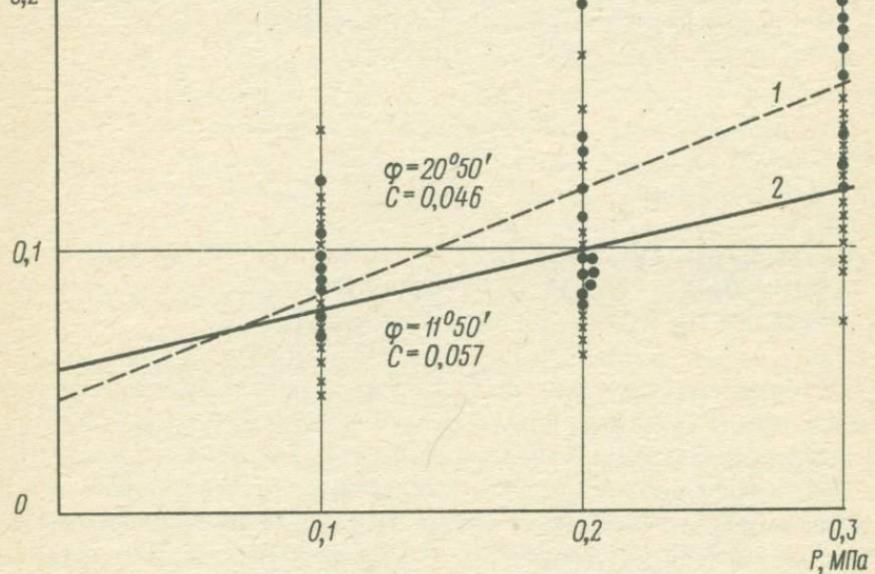
1 — в незасоленных грунтах; 2 — в засоленных

Рис. 3. Влияние засоления на прочностные свойства глинистых грунтов

1 — в засоленных грунтах; 2 — в незасоленных

$\tau, \text{МПа}$

0,2



сти уменьшается с 0,86 до 0,69), в результате чего породы становятся менее сжимаемыми — компрессионный модуль деформации возрастает с 7,2 до 13,4 МПа, т. е. сжимаемость пород уменьшается почти вдвое. Анализ сдвиговых характеристик также показывает резкое улучшение их прочностных свойств после диффузионного засоления (рис. 3). При этом значение угла внутреннего трения возрастает с  $11^{\circ}50'$  до  $20^{\circ}50'$ ; величина сцепления незначительно уменьшается с 0,057 до 0,046 МПа.

Результаты выполненных исследований позволяют получить обоснованный количественный прогноз изменения свойств глинистых грунтов при их взаимодействии с хлоридно-натриевыми солями калийных предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брилинг И. А. Об ионном обмене в глинах в процессе диффузионного продвижения солей. — Вестн. МГУ. Сер. геол., 1965, № 5, с. 62—68.
2. Комарова Н. А. О диффузиях солей в почвах. — Проблемы Совет. почвоведения, 1937, № 4, с. 63—93.
3. Окинина Н. А., Приклонский В. А. Процессы диффузии и диффузионного выщелачивания в глинах и их влияние на инженерно-геологические свойства. — В кн.: Исследование и использование глин. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1958, с. 54—55.
4. Окинина Н. А., Затенацкая Н. П., Сафохина И. А. Роль диффузионного выщелачивания глинистых пород в формировании их физико-механических свойств. — В кн.: Вопросы инженерной геологии: Докл. сов. научных V конгр. МАИГ. М., 1970, с. 32—41.
5. Рельтов Б. Ф., Новицкая Н. А. Осмотические явления в связанных грунтах при неравномерном их засолении. — Изв. ВНИИгидротехники им. Б. Е. Веденеева. М.; Л.: Госэнергоиздат, т. 51, с. 94—122.
6. Рельтов Б. Ф., Новицкая Н. А., Большакова Ю. С. Дальнейшие экспериментальные исследования осмотических явлений в связанных грунтах. — Изв. ВНИИгидротехники им. Б. Е. Веденеева. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955, т. 53, с. 147—164.

УДК 624.131.41

Л. А. Евдокимова  
(МГУ)

### ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИКО-МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ КРЕМНЕФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТОЙ

Объектами исследования являлись широко распространенные на территории СССР глинистые грунты разного генезиса, литологического состава и возраста: покровный бескарбонатный тяжелый суглинок ( $fQ_3$ ) из Подольского района Московской области; моренный бескарбонатный суглинок ( $gQ_2$ ) из Ленинского района Московской области; среднеподзолистая тяжелосуглинистая почва ( $Q_{sol}$ ) с опытной станции "Красный маяк" Московской области; лесс среднесуглинистый ( $prolQ_3$ ) с водораздела рек Большой и Малый Кучурганы Одесской области; тяжелый лессовидный карбонатный суглинок ( $fQ_3$ ) из окрестности г. Актюбинска Казахской ССР; тяжелый лессовидный карбонатный суглинок ( $fQ_3$ ) из Курской области; солончак сернокисло-хlorистый карбонатный тяжелосуглинистый ( $Q_{4 sol}$ ) из урочища Большая Майтуга Куйбышевской области; чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый ( $Q_{4 sol}$ ) из Воронежской области.

Тяжелый карбонатный лессовидный суглинок из Актюбинской области и солончак карбонатный тяжелосуглинистый характеризуются срав-

нительно близким содержанием карбонатов (15,17 и 16,29%) и примерно одинаковым выходом глинистых частиц меньше 1  $\mu$ . Однако солончак отличается от лессовидного суглинка и других карбонатных грунтов значительным содержанием хлористых и сернокислых солей, бикарбонатов натрия, калия и обменного натрия (6,5 мг-экв. %), что обуславливает высокий pH водной вытяжки — 8,35. Тяжелый лессовидный суглинок из Курской области отличается меньшим содержанием карбонатов — 4,82%, наибольшей емкостью обмена — 25,3 мг-экв. % и наибольшим содержанием глинистых частиц меньше 1  $\mu$  — 30%.

Лесс среднесуглинистый характеризуется наименьшей дисперсностью, небольшой емкостью обмена — 10,69 мг-экв. %, незасоленностью, нейтральной реакцией водной вытяжки. Содержание карбонатов в лессе 8,17%.

Среди бескарбонатных грунтов наиболее резкое отличие представляет чернозем тяжелосуглинистый, что связано с высоким содержанием гумуса (6,83%) и высокой емкостью обмена — 46,22 мг-экв. %. Среднеподзолистая почва в отличие от чернозема содержит небольшое количество гумуса (1,32%) кислого состава, поглощенный водород, в связи с чем pH водной вытяжки составляет 5,7. Среднеподзолистая почва в процессе почвообразования обеднена глинисто-коллоидной частью. Емкость обмена невелика — 9,8 мг-экв. %, примерно в 2 раза меньше емкости обмена покровного суглинка. Покровный суглинок характеризуется отсутствием гумуса, слабо кислой реакцией среды pH — 6,7, емкостью обмена — 21,75 мг-экв. %, содержанием частиц меньше 1  $\mu$  — 23%. Кислая реакция среды, отсутствие органического вещества характеризуют моренный суглинок. Отличием моренного суглинка от других бескарбонатных грунтов являются присутствие на поверхности частиц и микроагрегатов железистых пленок и повышенное содержание окиси железа в фракции частиц меньше 0,22  $\mu$ .

По характеру взаимодействия дисперсных грунтов с кремнефтористо-водородной кислотой исследованные грунты можно объединить в две

Таблица 1

Содержание карбонатов в грунтах после обработки их кислотой

Название грунта	Количество разрушенных карбонатов в %-ном введении в грунт $H_2SiF_6$			
	3%	5%	7%	10%
Лесс среднесуглинистый	4,92	5,55	7,86	8,17
Солончак тяжелосуглинистый	5,56	10,23	13,93	16,29

основные группы: группа карбонатных грунтов, к которым относятся исследованные лесс среднесуглинистый крупнопылевато-тонкопесчанистый, тяжелосуглинистый солончак и лессовидные тяжелые суглинки и группа бескарбонатных грунтов, объединяющая покровный тяжелый суглинок, моренный суглинок, среднеподзолистую тяжелосуглинистую почву.

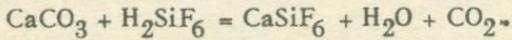
Особенности, характерные для чернозема, а именно высокое содержание гумуса и большая емкость обмена, позволяют выделить его в особую подгруппу бескарбонатных грунтов.

Наиболее уязвимой частью карбонатных грунтов при кислотной обработке являются карбонаты. До полного разрушения карбонатов алюмосиликатная часть грунта практически не разлагается кислотой. Только после разрушения карбонатов начинается ее заметное разложение.

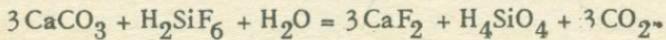
Электронно-микроскопическими исследованиями лессовидного суглинка, обработанного кислотой из расчета полного разрушения карбонатов, не обнаружены какие-либо следы коррозии и растворения глинистых минералов.

Химический состав новообразований в обработанных карбонатных грунтах зависит от содержания карбонатов, дисперсности, емкости обмена, pH и состава воднорастворимых солей исходных грунтов.

При 5 и 7% добавках кислоты (расчет кислоты ведется на безводную) в солончаке разрушено примерно вдвое большее количество карбонатов, чем в лессе (табл. 1). Это позволяет предполагать, что взаимодействие кислоты с карбонатами протекает в основном по реакции



Однако стехиометрический расчет показывает, что наряду с образованием кремнефторида кальция имеет место реакция образования фтористого кальция с освобождением кремневой кислоты:



Высокий pH солончака, присутствие воднорастворимых солей и поглощенного натрия, сосредоточенность карбонатов в тонкопылеватых фракциях обусловливают образование фтористого кальция и освобождение в значительном количестве кремневой кислоты (см. рисунок, а). Отсутствие воднорастворимых солей натрия и поглощенного натрия, наличие менее дисперсных карбонатов в лессе определяют образование кремнефтористого кальция. Процессы образования фтористого кальция имеют подчиненный характер (см. рисунок, б).

При обработке бескарбонатных грунтов кремнефтористоводородной кислотой происходят разложение и растворение тонкодисперсной минеральной части с образованием кремнефтористых соединений алюминия, железа, кальция и магния. Электронно-микроскопические исследования суспензий обработанных бескарбонатных грунтов показали картину ин-

Таблица 2

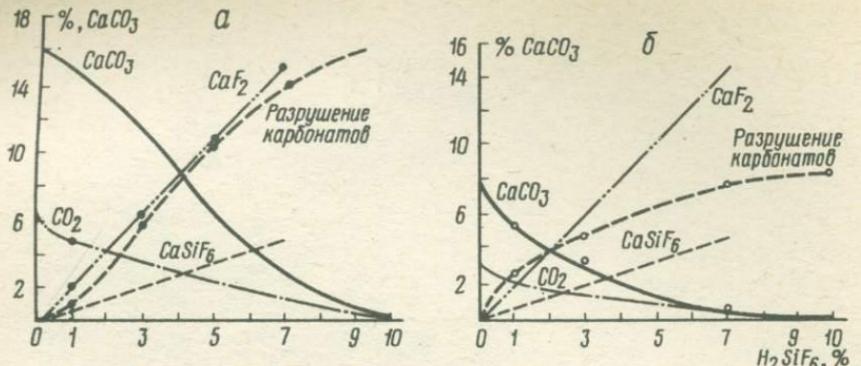
Результаты анализа водной вытяжки из грунтов, свежеобработанных кремнефтористоводородной кислотой (10 г  $H_2SiF_6$  на 100 г грунта)

Название грунта	Содержание в грамм-процентах				
	$R_2O_3$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$
Покровный бескарбонатный тяжелый суглинок	2,908	1,280	1,628	0,146	0,229
Моренный бескарбонатный суглинок	1,652	0,576	1,076	0,099	0,153
Среднеоподзоленная тяжелосуглинистая почва на покровном суглинке	1,666	0,736	0,930	0,104	0,207
Лесс среднесуглинистый крупнопылевато-тонкопесчанистый	0,576	0,144	0,432	2,168	-
Лессовидный карбонатный тяжелый суглинок (Актюбинская обл.)	0,424	0,056	0,384	2,028	-
Солончак карбонатный тяжелосуглинистый	0,300	0,080	0,220	1,020	0,299
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	1,136	0,576	0,560	0,442	0,387

Таблица 3

Набухаемость (по М. М. Филатову) необработанных грунтов в дистиллированной воде и в 5% растворе кремнефтористоводородной кислоте

Название грунта	Набухаемость, %		Отношение набухаемости в кислоте к набухаемости в воде, %
	в дистиллированной воде	в 5% кислоте	
Покровный суглинок	49,5	141,5	286
Моренный суглинок	47,9	70,0	146
Среднеоподзоленная тяжело-суглинистая почва	30,3	62,5	206
Лесс среднесуглинистый	44,8	87,5	195
Карбонатный суглинок (Актюбинская обл.)	80,0	123,5	156
Солончак тяжелосуглинистый	126,2	173,7	138



Изменение содержания карбонатов и остаточная карбонатность в солончаке (а) и лессе (б) в результате обработки кислотой

тенсивного разъедания поверхности глинистых минералов и образование кристаллических новообразований. Количество новообразований в грунте тем больше, чем дисперснее грунт (табл. 2).

Основной причиной изменения свойств грунтов является перерождение глинистых минералов. Изменение состава глинистых грунтов под воздействием кислоты обусловливает изменение их свойств. Причем изменение свойств зависит от концентрации кислоты. Так, набухание необработанных грунтов в разведенных растворах кремнефтористоводородной кислоты в 1,3–2,8 раза выше, чем в воде, что объясняется растворением природных цементов и коллоидных пленок с образованием новых соединений меньшего объемного веса, чем природные образования (табл. 3).

Однако набухание грунтов, обработанных 10%-ной в пересчете на безводную добавкой кремнефтористоводородной кислоты, резко снижается. Остаточное набухание обработанных 10%-ной кислотой бескарбонатных грунтов ниже таковой карбонатных грунтов. Это обусловлено глубоким качественным изменением глинистого вещества бескарбонатных грунтов.

Набухание грунтов, гидролиз новообразований, а также выделение углекислого газа при наличии в грунтах карбонатных минералов обуславливают развитие давления в закисченных грунтах и воздействие его на фундаменты сооружений.

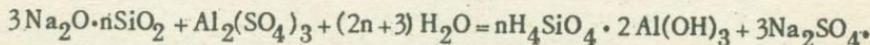
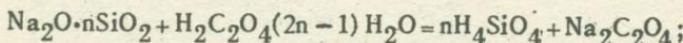
В.М. Голоднов, В.И. Сергеев, О.Д. Воейкова  
(МГУ)

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ, СНИЖАЮЩИХ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

В последнее время все чаще возникает необходимость анализа движения электролитов в естественных пористых средах. Это связано с захоронением и очисткой отходов химической промышленности, с добывкой полезных ископаемых или с искусственным закреплением грунтов в основании сооружений химическими растворами. Во всех случаях возможность закачки химического раствора определяется проницаемостью грунта. В том случае, когда закачиваемый раствор имеет вязкость и удельный вес, отличные от соответствующих параметров воды, коэффициент проницаемости ( $K_{\text{пр}}$ ) определяется по формуле  $K_{\text{пр}} = K_{\Phi} \eta / \gamma$ , где  $K_{\Phi}$  — коэффициент фильтрации,  $\eta$  — вязкость жидкости,  $\gamma$  — плотность жидкости.

Для некоторых песчаных разностей это положение справедливо. Однако в практике неоднократно отмечались случаи "отказа" в поглощении водонасыщенными песками электролитов даже тогда, когда коэффициент фильтрации грунта составлял 20 м/сут и более.

Подобный характер резкого изменения проницаемости щелочного силикатного раствора наблюдался, в частности, при опытных тампонажных работах на Перепадной ГЭС-1 (комплекс Ингурин-ГЭС). Здесь для снижения проницаемости грунтов в основании бетонной части плотины использовался щавелевоалюмосиликатный раствор, разработанный в проблемной лаборатории геологического факультета МГУ. Плотность этого раствора  $1,15 \text{ гс}/\text{см}^3$ . Начальная вязкость  $1,6 \text{ сп}$ . Образование геля идет по следующей схеме



Опытные инъекционные работы выполнялись инженерно-геологической партией института "Гидроспецпроект" совместно с проблемной лабораторией геологического факультета МГУ. В ходе обработки среднезернистых песков ( $N_1^T - N_2^{\text{РН}}$ ) на глубине 3,5–6,0 м было установлено, что расход щавелевоалюмосиликатного раствора со временем гелеобразования 2,5 ч в 10–15 раз меньше расхода воды при тех же давлениях нагнетания (рис. 1). Резкое снижение поглощения имело место уже через 15 мин после начала инъекции, т. е. тогда, когда вязкость раствора практически не отличалась от исходной.

Аналогичное явление резкого снижения проницаемости имело место

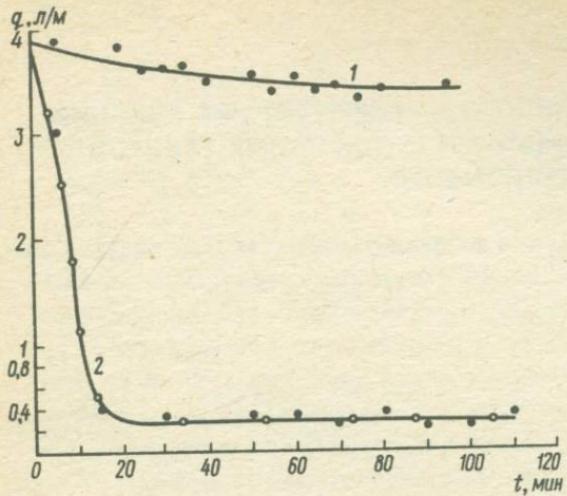


Рис. 1. Изменение удельного поглощения воды и щавелевоалюмосиликатного раствора во времени при гидропробовании и инъекции

1 — вода; 2 — щавелевоалюмосиликатный раствор

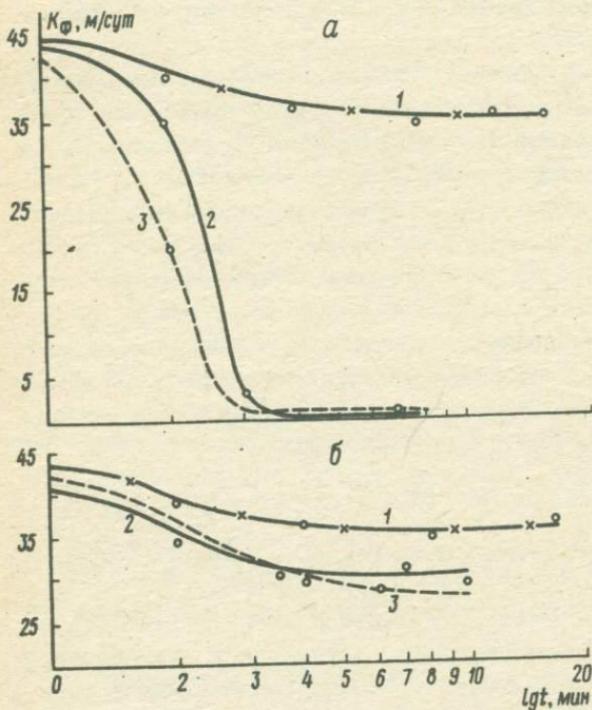


Рис. 2. Изменение  $K_F$  во времени при фильтрации жидкого стекла ( $\gamma = 1,19 \text{ гс}/\text{см}^3$ )

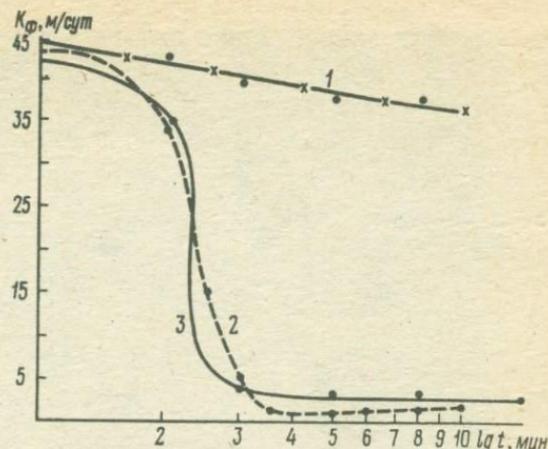
a — через водонасыщенный песок; б — через воздушно-сухой;  
1 — люберецкий песок; 2 — клязминский; 3 — нильский

и при тампонажных работах в основании высотной Асуанской плотины. Здесь при обработке мелкозернистых песков ( $aQ_3$ ) использовался алюмосиликатный раствор. Плотность этого раствора  $1,15 \text{ гс}/\text{см}^3$ , начальная вязкость  $1,7-1,8 \text{ СП}$ .

Естественно, что в условиях инъекционного закрепления снижение проницаемости грунта ведет к снижению радиуса закрепления и соот-

Рис. 3. Изменение  $K_F$  во времени при фильтрации 1 н. раствора NaOH через водонасыщенный песок

1 — люберецкий;  
2 — клязьминский;  
3 — нильский



ветственно к усложнению всей технологии инъекции. Природу подобного явления удалось вскрыть путем лабораторного анализа характера фильтрации электролитов через одни и те же фракции различных по составу песков. В качестве электролитов использовался раствор жидкого стекла, являющийся в настоящее время основой большей части тампонажных щелочных рецептур, и раствор NaOH различной концентрации. Опыты выполнялись на фильтрационных трубках длиной 20 см и площадью поперечного сечения 5,1 см<sup>2</sup>.

На рис. 2 приведены результаты опытной фильтрации раствора жидкого стекла ( $\gamma = 1,19 \text{ гс}/\text{см}^3$ ,  $\eta = 1,2 \text{ сП}$ ) через фракции 0,1—0,25 люберецкого песка ( $mJ_3$ ), пойменных отложений р. Клязьмы ( $aQ_4$ ) и песка русловых отложений р. Нила ( $aQ_3$ ). Из этих данных следует, что при фильтрации жидкого стекла через предварительно водонасыщенные пески (см. рис. 2, а) наблюдается резкое падение проницаемости фракций нильского и клязьминского песков. Снижение наступает уже при прохождении раствором 1—2 см вдоль пути фильтрации. В условиях фильтрации через воздушно-сухие грунты (см. рис. 2, б) подобного снижения фильтрации не наблюдалось. Такое же снижение проницаемости фракций нильского и гжельского песков в условиях предварительного водонасыщения наблюдалось и при фильтрации однонормального раствора NaOH (рис. 3). В условиях же воздушно-сухого исходного состояния падения проницаемости не происходило.

Механизм изменения фильтрационных свойств песков можно объяснить после анализа состава грунта и проведения фильтрационных опытов с использованием электролитов различной концентрации. Прежде всего была изучена поверхность фракций песков, в которых наблюдался и не наблюдался эффект "отказа" при фильтрации. Изучение выполнялось на сканирующем электронном микроскопе Квикскан-100. На

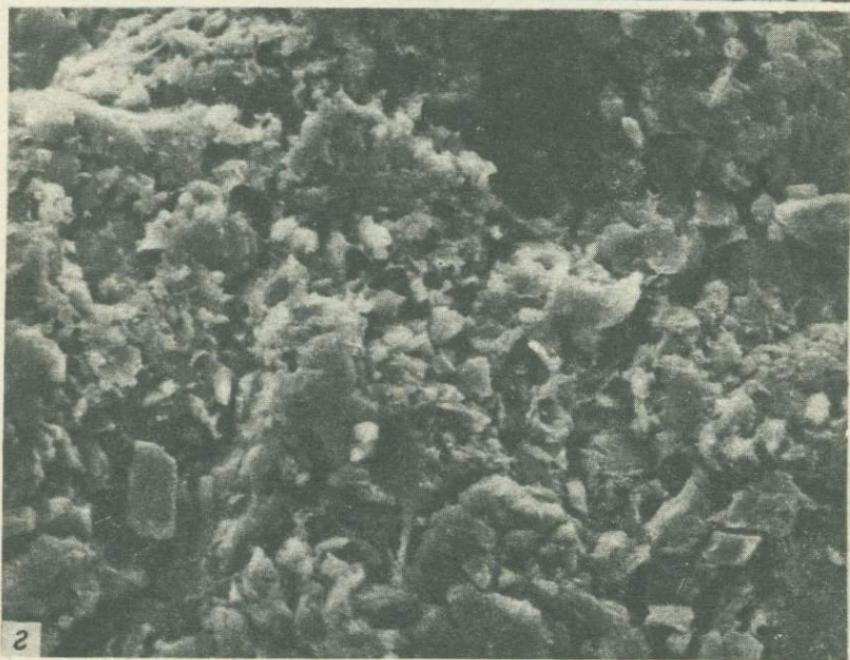
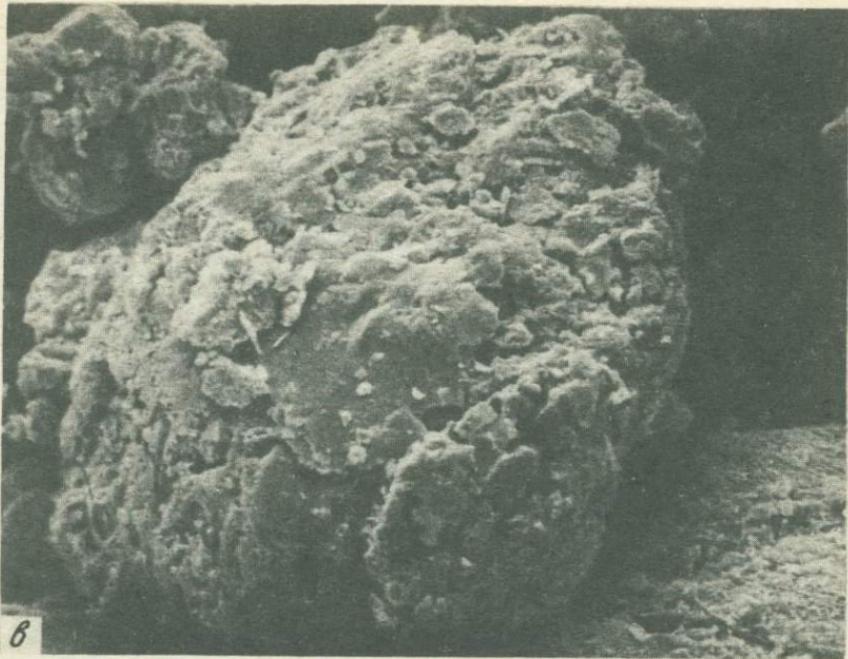


а



б

Рис. 4. Характер поверхности зерен морского (а - ув. 500; б - ув. 2000) мелкозернистого песка ( $mJ_3^1$ ) и аллювиального (в - ув. 500; г - ув. 2000) песка (аQ<sub>4</sub>)



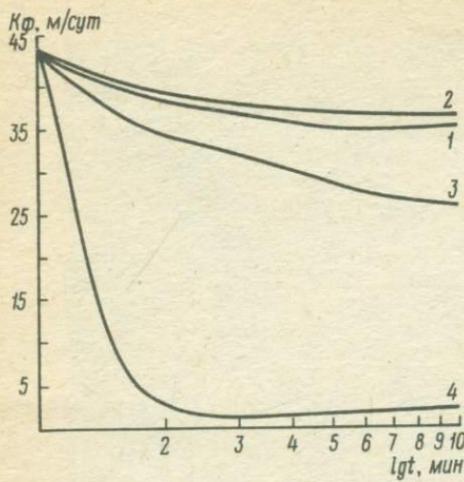


Рис. 5. Изменение  $K_{\phi}$  фракции клязьминского песка во времени при фильтрации раствора  $\text{NaOH}$  различной концентрации  
1 – 1 н.; 2 – 0,1 н.; 3 – 0,05 н.; 4 – 0,005 н.

рис. 4 в качестве примера показана поверхность зерен (фракция 0,1–0,25 мм) двух песков – гжельского (*a, b*) и люберецкого (*e, z*) – при увеличении 500 и 2000.

На приведенных фотографиях аллювиального песка

довольно четко прослеживается на поверхности зерен глинистая пленка. Рентгеноструктурный анализ показал, что по составу эта пленка представлена монтмориллонитом и гидрослюдой. Аналогичное явление, т. е. присутствие пленок монтмориллонитового и гидрослюдистого составов, наблюдалось и в других песках, где был зафиксирован "отказ" при фильтрации электролита.

С целью изучения поведения глинистой пленки на поверхности песчаных зерен и выяснения ее влияния на фильтрационные свойства грунта через фракции клязьминского песка 0,1–0,25 мм фильтровалась щелочь концентраций 1,0, 0,1, 0,05 и 0,005 н. (рис. 5).

Проведенные эксперименты показали, что максимальное снижение проницаемости, причиной которого является набухание пленки, имеет место только при концентрации 0,005 н. Аналогичное поведение этой фракции грунтов наблюдалось и при фильтрации кислых электролитов различной концентрации. Таким образом, набухание глинистой пленки имеет место только при контакте с сильно разбавленными электролитами.

Каким же образом происходит набухание пленки при фильтрации через водонасыщенные пески электролитов высокой концентрации? Вытеснение воды из порового пространства грунта происходит не по поршневому закону. В результате гидродисперсии в периферийной части закачанного раствора формируется разбавленная зона с концентрацией от исходной до нулевой. Именно в этой зоне при контакте грунта с электролитами малой концентрации имеет место дополнительное набухание глинистой пленки, приводящее к резкому снижению проницаемости грунта.

Повышенная набухаемость глинистых минералов в электролитах малой концентрации отмечается в работах [1, 2, 3].

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При решении вопросов, связанных с нагнетанием электролитов в водонасыщенные и воздушно-сухие грунты, необходимо принимать во внимание наличие и состав аутигенных пленок на поверхности песчаных разностей.

2. Глинистые пленки монтмориллонитово-гидрослюдистого состава на поверхности песчаных разностей при соприкосновении с электролитами малой концентрации быстро набухают. Такое набухание приводит к резкому понижению проницаемости грунта. Аналогичное явление набухания будет иметь место и при движении электролита высокой концентрации в водонасыщенных грунтах.

3. Использование лабораторных данных о фильтрационных свойствах грунта, полученных обычным способом, недопустимо. Опытные работы в лабораторных условиях по определению проницаемости следует выполнять только на водонасыщенных образцах с использованием химического раствора, который предполагается закачивать в грунт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулев М. Т. и др. Противофильтрационная завеса Асуанской плотины. М.: Энергия, 1970. 180 с.
2. Злочевская Р. И. Связанная вода в глинистых грунтах. М.: Изд-во МГУ, 1969. 241 с.
3. Дивисилова В. И., Злочевская Р. И. Физико-химические процессы при набухании глин в растворах электролитов. — В кн.: Материалы IX пленума Всесоюзной комиссии по изучению и использованию глин. Минск: Наука и техника, 1971, с. 44–48.

УДК 624.131.433

А. Г. Криворотов  
(МГУ)

## ПРОНИЦАЕМОСТЬ МОНТМОРИЛЛОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРОВ

Для уточнения влияния щелочных растворов различной концентрации на фильтрацию в уплотненных глинистых грунтах и целесообразности применения чистых монтмориллонитовых глин в экранах шламостоконакопителей содово-цементной промышленности исследовались глины Черкасского месторождения Украины.

В качестве фильтрующейся жидкости использовались обычная водопроводная вода (эталон сравнения), слабоминерализованный сток 0,3 н. концентрации (17 г/л) и "дистиллерная" жидкость (3,0 н.) с pH 11 и концентрацией 170 г/л ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  – 23 г/л,  $\text{Ca}^{2+}$  – 36 г/л,  $\text{Cl}^-$  – 103 г/л и незначительные количества других ионов).

Уплотнение образцов для фильтрации проводилось в широком диапазоне влажностей в несколько видоизмененном приборе типа СоюздорНИИ по методике, предложенной автором [1].

При одной и той же влажности определение коэффициента фильтрации ( $K_f$ ) осуществлялось с трех-, пятикратной повторностью; продолжительность опытов — от нескольких дней до двух лет с учетом получения стабильного  $K_f$  в последних 2–3 замерах, но не менее 10 определений. Исследования проводились при высоких градиентах напора ( $I = 50$  и  $130$ ), нисходящем фильтрационном потоке и без подтопления [3] до полного окончания процесса набухания образца и равенства концентраций исходного раствора и фильтрата. Уместно отметить описание некоторых исследователей о возможности появления механической суффозии при высоких  $I$ . Однако в наших опытах этот процесс не наблюдался, поскольку фильтрат всегда был прозрачен.

Несколько образцов исследуемой монтмориллонитовой глины были поставлены на последовательную смену фильтрующегося раствора: вода, 0,3 и 3 н. раствор; другие образцы в обратном порядке: 3; 0,3 н. раствор и вода. Это позволило определить раздельно влияние концентрации и структуры образца, сформированной в первом растворе, на фильтрационные свойства грунта в отношении другого раствора.

Результаты фильтрационных исследований представлены в табл. 1, 2 и на рисунке. Для монтмориллонитовой глины, как и для других по минеральному составу грунтов, прослеживается следующая закономерность в изменении  $K_f$  от влажности уплотнения и получаемой объемной массы скелета грунта ( $\gamma_{ск}$ ), коэффициента пористости ( $\epsilon$ ): при увеличении влажности уплотнения от минимальной в наших опытах к оптимальной ( $W_0$ ) растет  $\gamma_{ск}$ , уменьшается  $\epsilon$  — уменьшается и коэффициент фильтрации. При оптимальной влажности уплотнения (для противофильтрационных целей), установленной автором ранее, подтвержденной настоящими исследованиями и равной  $\frac{W_{ММВ} + W_p}{2}$ , имеем  $\gamma_{ск. max}$ ,  $\epsilon_{min}$  и минимальный коэффициент фильтрации. С дальнейшим увеличением первоначальной влажности при уплотнении (выше  $W_0$ )  $\gamma_{ск}$  падает,  $\epsilon$  увеличивается — увеличивается и  $K_f$ .

Наклон кривой для грунта, уплотненного при влажности меньше оптимальной, более кругой, чем для грунта, уплотненного при влажности выше оптимальной. Один и тот же  $K_f$  можно получить при влажности уплотнения больше и меньше оптимальной, но в первом случае это будет при меньшей  $\gamma_{ск}$ , чем во втором (или в первом случае при большем  $\epsilon$ , чем во втором). Это говорит о том, что ниже и выше оптимальной влажности уплотнения имеем и качественно различную для проницаемости структуру уплотненного грунта, как сформированную непосредственно уплотнением, так и формирующуюся в процессе фильтрации раствора.

Исследователи, занимавшиеся вопросами фильтрации в уплотненных глинах, или прекращали свои опыты по достижении оптимальной влажности уплотнения или же приводят данные о дальнейшем уменьшении

Таблица 1

Проницаемость мономинерального монтмориллонитового грунта, уплотненного рациональной нагрузкой при различной начальной влажности

Влажность уплотнения, %	Объемная масса скелета грунта $\gamma_{ск}$ , гс/см <sup>3</sup>		Коэффициент пористости уплотненного грунта $\epsilon$	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут
	до фильтрации	после фильтрации		
26,20	1,33	0,96	1,030	$4,2 \cdot 10^{-6}$
29,13	1,41	1,01	0,915	$7,7 \cdot 10^{-7}$
30,93	1,42	1,02	0,901	$3,9 \cdot 10^{-7}$
31,00	1,32	1,02	1,045	$4,2 \cdot 10^{-7}$
31,40	1,34	1,03	1,015	$3,6 \cdot 10^{-7}$
32,58	1,39	1,06	0,942	$3,0 \cdot 10^{-7}$
42,56	1,23	1,03	1,195	$2,2 \cdot 10^{-6}$
51,10	1,07	1,03	1,523	$1,8 \cdot 10^{-5}$
52,80	1,07	1,02	1,523	$2,7 \cdot 10^{-5}$
59,40	1,01	1,01	1,673	$1,6 \cdot 10^{-4}$

проницаемости грунтов и при уплотнении с влажностью, большей оптимальной [2]. Наши опыты убедительно показывают, что проницаемость грунта, уплотненного при влажности выше оптимальной, значительно увеличивается.

Полученные минимальные  $K_f$  уплотненных при  $W_0$  образцов имеют значения: для воды —  $3,0 \cdot 10^{-7}$  м/сут, 0,3 н. раствора —  $1,6 \cdot 10^{-6}$  м/сут и 3 н. дистиллерной жидкости —  $1,5 \cdot 10^{-5}$  м/сут, т. е. по отношению к воде с указанными растворами проницаемость увеличивается соответственно в 5 и 53 раза. Это объясняется тем, что в рыхлых или неуплотненных грунтах с крупными порами влияние пристенных слоев жидкости, концентрации и состава электролита на фильтрационные свойства грунтов будет весьма незначительным, так как основной перенос осуществляется за счет объемной жидкости. В уплотненных при оптимальной влажности рациональной нагрузкой грунтах с мелкими порами и возможным перекрытием их диффузными слоями на фоне общего уменьшения проницаемости возрастает роль жидкости с изменен-

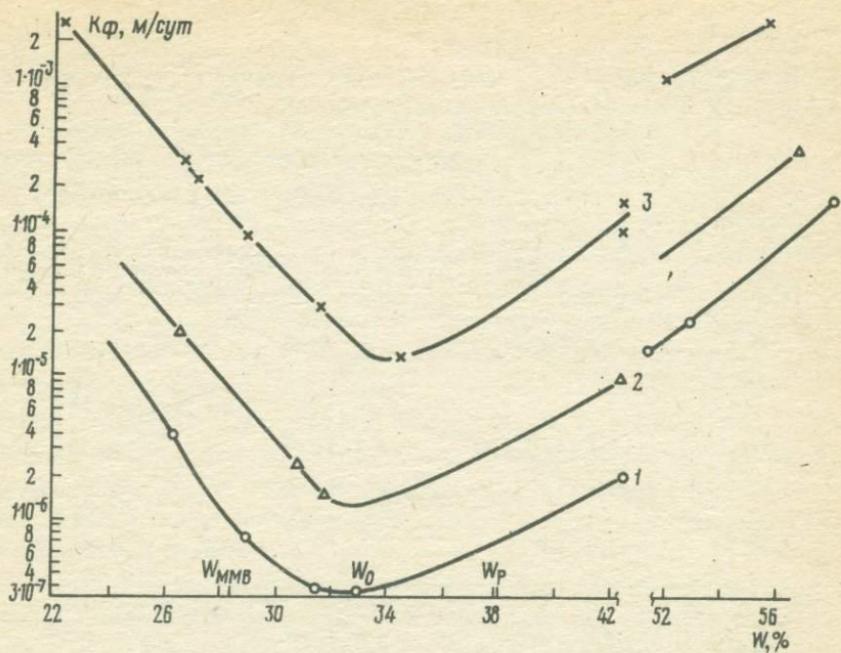
Таблица 2

Проницаемость грунта, уплотненного при различной влажности по отношению к дистиллерной жидкости 0,3 н. и 3 н. концентрации

Влажность уплотнения	Концентрация раствора			
	0,3 н.		3 н.	
	$\gamma_{\text{СК}}^*$ , Гс/см <sup>3</sup> (после фильтрации)	$K_{\Phi}$ , м/сут	$\gamma_{\text{СК}}^*$ , Гс/см <sup>3</sup> (после фильтрации)	$K_{\Phi}$ , м/сут
22,16			1,17	$3,0 \cdot 10^{-3}$
26,33	1,07	$2,0 \cdot 10^{-5}$	1,21	$3,1 \cdot 10^{-4}$
26,83			1,22	$2,4 \cdot 10^{-4}$
28,58			1,29	$9,6 \cdot 10^{-5}$
30,55	1,13	$2,4 \cdot 10^{-6}$		
31,54	1,14	$1,8 \cdot 10^{-6}$	1,36	$3,2 \cdot 10^{-5}$
34,24			1,39	$1,6 \cdot 10^{-5}$
42,25			1,23	$1,2 \cdot 10^{-4}$
42,45			1,23	$1,9 \cdot 10^{-4}$
42,56	1,12	$9,5 \cdot 10^{-6}$		
51,93			1,05	$1,4 \cdot 10^{-3}$
55,60			1,04	$3,9 \cdot 10^{-3}$
57,20	0,99	$4,0 \cdot 10^{-4}$		

ными реологическими свойствами, концентрацией, составом и свойствами электролита.

Наименьшую проницаемость при фильтрации пресной воды имеем в случае с повышенной вязкостью пристенных слоев жидкости и мощным их развитием, так как грунт состоит из минералов с раздвижной кристаллической решеткой. При переходе же к дистиллерной жидкости наблюдается увеличение  $K_{\Phi}$  в результате сжатия диффузного слоя сростом концентрации и соответствующего увеличения эффективной проницаемости, а также перехода связанный воды в разряд объемной жидкости с однозначными ей свойствами.



Зависимость проницаемости монтмориллонитовой глины от влажности при уплотнении и фильтрующейся жидкости

1 — вода; 2 — 0,3 н. раствор; 3 — 3 н. раствор дистиллерной жидкости

Данные по влиянию на  $K_\phi$  формирующейся в процессе фильтрации структуры грунта от концентрации раствора приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что для грунта, уплотненного, например, при  $W = 52,80\%$ , коэффициент фильтрации по различным образцам от воды к 3 н. раствору увеличивается в 63 раза, а при смене на одном и том же образце фильтрующейся жидкости — в 15 раз. Аналогичные зависимости получены для образцов, исследованных в обратном порядке — от 3 н. раствора к воде. Коэффициент фильтрации не уменьшается на одном и том же образце до величины, определенной по образцам, изготовленным заново. Это значит, что структура грунта, формирующаяся под воздействием того или иного раствора, весьма значительно влияет на коэффициент фильтрации.

Влияние фактора времени на проницаемость грунтов исследовалось по дистиллерной жидкости. Образцы, уплотненные при влажности 26,83% и 42,45% и фильтровавшие 3 н. раствор в течение немногим более двух лет (при высоких градиентах, что косвенно значительно увеличивает срок испытаний), имели значения  $K_\phi$  соответственно  $2,4 \cdot 10^{-4}$  и  $1,9 \cdot 10^{-4}$  м/сут. При нанесении этих данных на график проницаемости грунта видно, что они практически совпадают со значениями  $K_\phi$ , полученными по обычной методике. Следовательно, можно заключить,

Таблица 3

Проницаемость грунта по разным образцам (верхняя строка) и при смене жидкости на одном образце (нижняя строка)

Влажность уплотнения, %	$K_F$ , м/сут		
	вода	0,3 н. раствор	3 н. раствор
31,54	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
		$1,8 \cdot 10^{-6}$	→ $9,3 \cdot 10^{-6}$
52,80	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
	$2,7 \cdot 10^{-5}$	→ $8,0 \cdot 10^{-5}$	→ $4,4 \cdot 10^{-4}$
34,24	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
	$1,5 \cdot 10^{-6}$ ←	3,1 · $10^{-6}$ ←	1,6 · $10^{-5}$
42,25	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	$8,1 \cdot 10^{-6}$ ←	1,7 · $10^{-5}$ ←	1,2 · $10^{-4}$

Приложение. Стрелкой показан порядок смены жидкости.

что и при длительной фильтрации существенных изменений в проницаемости грунтов наблюдаться не будет.

Сравнивая значения  $K_F$  полиминерального грунта [1] и монтмориллонита ( $6,3 \cdot 10^{-6}$  и  $1,5 \cdot 10^{-5}$  м/сут), уплотненных при оптимальной влажности, видно, что монтмориллонитовый грунт более чем в 2 раза проницаем для дистиллерной жидкости, чем полиминеральный. Мы приходим к выводу, что применение мономинеральной монтмориллонитовой глины в экранах накопителей стоков содово-цементной промышленности нецелесообразно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Криворотов А.Г. Влияние щелочных растворов на проницаемость глинистого экрана "белого моря". - ВНИТИ. Деп. № 1225-78 от 10 апреля 1978 г. Указатель "Депонированные рукописи". - Химия, № 512, с. 15.
- Мигин С.И., Жукова В.М. Увлажнение при уплотнении глинистых грунтов. - Гидротехническое строительство, 1954, № 6, с. 16-18.
- Павловский В.М. Метод определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов. - В кн.: Противофильтрационный экран хранилищ промышленных стоков. М., 1964, вып. 7, с. 59-79.

В.М. Павилонский, Л.В. Чиндина  
(ВНИИ ВОДГЕО, Москва)

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ УПЛОТНЕННЫХ СУГЛИНКОВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ ХЛОРИДОВ И СУЛЬФАТОВ НАТРИЯ И КАЛЬЦИЯ

Экраны из уплотненных глинистых грунтов (суглинков, глин) позволяют резко сократить и даже полностью предотвратить (двухслойные экраны с вакуумом в дренажной прослойке) фильтрацию растворов, содержащих токсичные загрязнения, из накопителей промышленных отходов. Однако при их применении необходимо учитывать возможность увеличения проницаемости грунта, а следовательно, и фильтрационных утечек в процессе эксплуатации, что может иметь место как при разуплотнении грунта вследствие набухания, так и вследствие растворения фильтрующейся жидкостью и последующего выноса из экрана ряда компонентов твердой фазы.

Разнообразие составов жидкостей, аккумулируемых в накопителях, сложность явлений, происходящих при взаимодействии грунтов с растворами, и недостаточная их изученность лишают возможности аналитически прогнозировать изменение пористости и проницаемости экрана во времени. Это обстоятельство вынуждает прибегать к специальным экспериментальным исследованиям с целью получения данных о возможных изменениях противофильтрационных свойств грунтовых экранов. Результаты таких исследований приведены в табл. 1, 2, а состав растворов — в табл. 3.

Исследования набухания выполнялись по обычной методике с образцами грунтов толщиной 20 мм при нагрузках, равных 0,98; 12,7 и 24,5 кПа. Для замачивания грунтов использовались два раствора, содержащих в различном количестве хлориды и сульфаты кальция и натрия, а также для сравнения дистиллированная вода.

В результате исследований было установлено, что на величину набухания оказывает влияние вид грунта, состав замачивающей жидкости, объемная масса скелета грунта и величина внешней нагрузки. Так, при увеличении внешней нагрузки от 0,98 до 12,7 кПа относительное набухание ( $\delta$ ) суглинка I при замачивании водой уменьшилось в 15,5 раза, а при замачивании раствором солей (I) — даже в 28,9 раза. Для иллюстрации влияния нагрузки на рис. 1 приведен график зависимости  $\delta = f(\sigma)$ . Оба суглинка набухали в растворах больше, чем в воде. При увеличении объемной массы скелета грунта ( $y_{ск}$ ) величина относительного набухания возрастает, что можно иллюстрировать графиком зависимости  $\delta = f(y_{ск})$  на рис. 1, построенным по результатам опытов с суглинком I при замачивании его раствором солей (I).

Фильтрационные исследования были проведены с целью получения ответа на два вопроса: насколько изменяется коэффициент фильтрации

Таблица 1

Основные физико-механические свойства грунтов

Наименование грунта	Плотность, гс/см <sup>3</sup>	Граница текучести, %	Граница раскатывания, %	Число пластичности
Суглинок 1	2,70	42,8	24,8	18
Суглинок 2	2,69	33	19	14

Максимальная молекулярная влагоемкость (по Лебедеву), %	Содержание (в %) фракций d, мм		
	1-0,05	0,05-0,005	< 0,005
21,2	1,4	42,7	55,9
18,7	23,7	36,1	40,2

Таблица 2

Химические свойства грунтов

Наименование грунта	Емкость поглощения, мг-экв. на 100 г	Содержание, %		
		карбонатов	гипса	Cl <sup>-</sup>
Суглинок 1	34,6	5,5	0,14	0,43
Суглинок 2	20,8	9,6	0,18	0,058

Состав водной вытяжки, %				Сухой остаток, %
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup> (по разности)	
0,035	0,016	0,133	0,139	0,756
0,048	0,031	0,039	0,032	0,204

Таблица 3

Состав растворов

Наименование жидкости	pH	Шелочность, мг-экв/л		
		по фенолфталеину	по метилоранжу	Cl <sup>-</sup>
I	10,8	18,5	21,0	89,68
II	10,7	9,1	11	86,7

Содержание, г/л			Сухой остаток, г/л
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup> (по разности)	
0,81	31	23,42	153,8
0,65	26	27,5	142,1

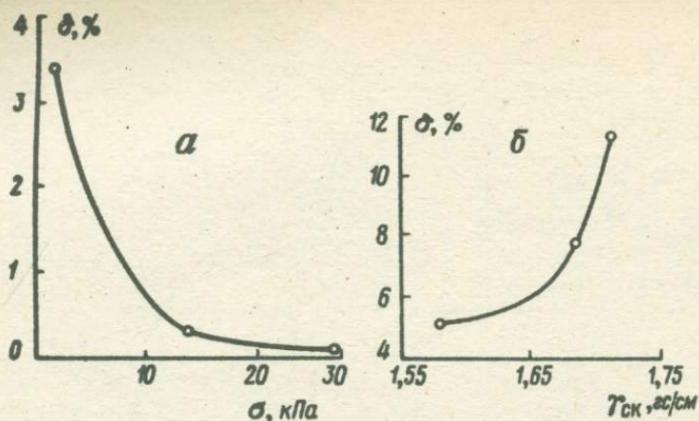


Рис. 1. Графики зависимости относительного набухания от вертикальной нагрузки  $\delta = f(\sigma)$  при замачивании суглинка I водой (а) и от объемной массы скелета грунта  $\delta = f(T_{ск})$  при замачивании раствором I (б)

уплотненных образцов суглинков при фильтрации раствора солей по сравнению с водопроницаемостью и как изменяется коэффициент фильтрации суглинков в процессе длительной фильтрации растворов солей.

Исследования проницаемости суглинков при долговременной фильтрации растворов солей проводились как с образцами, предварительно набухшими, так и с образцами не набухавшими. Однако в обоих случаях непосредственно сами фильтрационные испытания проводились с образцами, объем которых не изменялся (образцы были зажаты при помоши арретира).

Для получения ответа на первый из поставленных вопросов в ряде опытов коэффициент фильтрации вначале определяли с использованием воды, а затем с использованием одного из вышеуказанных растворов. Продолжительность фильтрации воды составляла 7–64 сут, а растворов солей – от 266 до 509 сут (I раствор) и от 120 до 439 сут (II раствор).

Результаты исследований для суглинка I показывают, что максимальное значение коэффициента фильтрации  $K_{\max}$  (рис. 2), определенное для раствора I, в 3–92 раза больше, чем для воды, а для раствора II – больше в 26–200 раз. Так же существенно отличаются и конечные значения коэффициента фильтрации для растворов  $K_{\text{кон}}$  (рис. 2, 2) от значений  $K_{\Phi}$  для воды.

Изменение проницаемости суглинков при долговременной фильтрации растворов солей происходило по одной и той же закономерности. Вначале коэффициент фильтрации увеличивался до максимального значения, а затем после перехода через максимум наблюдалось его постепенное уменьшение. На рис. 3 приведен характерный график  $K = f(T)$  по данным опыта, проведенного с суглинком 2 при фильтрации через него раствора солей (II).

Рис. 2. Графики зависимости коэффициента фильтрации раствора I (1, 2) и воды (3) от объемной массы скелета грунта. 1 —  $K_{\max} = f(y_{sk})$ , 2 —  $K_{\text{кон}} = f(y_{sk})$

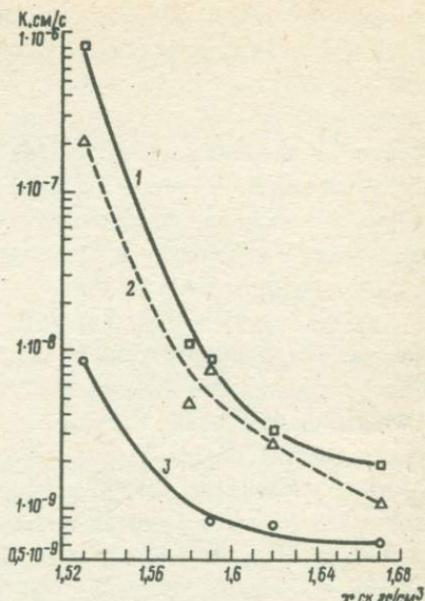
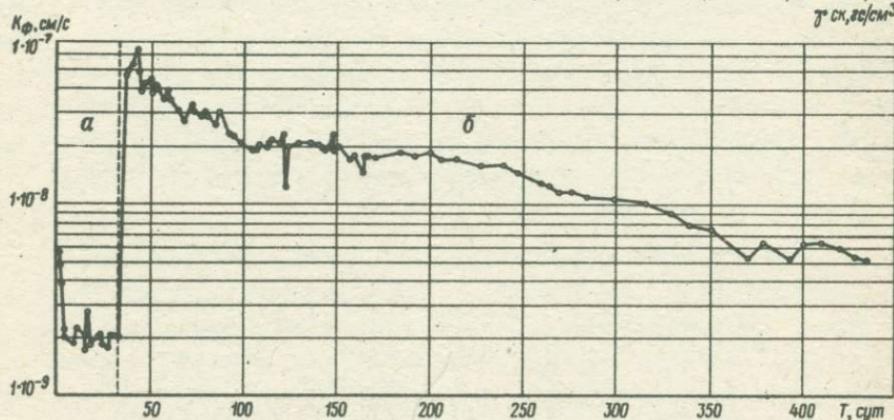


Рис. 3. График изменения коэффициента фильтрации во времени для суглинка 2

а — фильтрация воды; б — фильтрация раствора II



Выявленную закономерность  $K = f(T)$  можно объяснить следующим образом. После поступления жидкости в поры грунта вследствие процессов осмоса, диффузии и катионного обмена происходит изменение гидратных оболочек глинистых частиц. Снижается количество слоев молекул связанный воды вокруг глинистых частиц, уменьшается толщина гидратных оболочек и возрастает в этой связи активная пористость грунта, а следовательно, и коэффициент фильтрации. Одновременно с этим происходит флокуляция грунта, в результате чего также возрастает проницаемость грунта. Несмотря на наличие в использованных жидкостях иона натрия, способствующего диспергации грунта, достаточно высокая его концентрация ведет к увеличению проницаемости для растворов солей по сравнению с водопроницаемостью.

Данные других исследователей свидетельствуют о том, что грунт остается хорошо проницаемым для водного раствора, содержащего ион

натрия в высокой концентрации, вне зависимости от адсорбции натрия грунтом из-за флокулирующего эффекта высокоминерализованной воды. Параллельно с вышеупомянутыми в грунте происходят также и процессы, способствующие снижению активной пористости, а следовательно, и проницаемости грунта. Прежде всего под действием фильтрационных сил мельчайшие частицы грунта перемещаются и кольматируют поры. Уменьшение поперечного сечения последних, особенно крупных пор, ведет к снижению проницаемости. Поступление растворов солей в грунт ведет к его дополнительному набуханию по сравнению с замачиванием грунта водой. Так как объемная масса грунта в различных местах образца несколько отличается, то может иметь место и различие в величинах набухания, следствием чего будет появление дополнительных напряжений, действующих на микроагрегаты. Когда напряжения превышают предельные прочности агрегатов, то последние деформируются и частично разрушаются, что приводит к дополнительному высвобождению мелких частиц и кольматации ими пор грунта.

Степень влияния указанных процессов на проницаемость в течение опыта изменялась, а суммарный эффект обусловил выявленную закономерность изменения коэффициента фильтрации во времени. На последнем этапе опытов происходила некоторая стабилизация коэффициента фильтрации и его конечное значение было для суглинка 1 в 1,1–4 раза, а для суглинка 2 в 2–24 раза меньше максимального значения. Однако и после указанного снижения коэффициент фильтрации для растворов был выше, чем для воды.

## Раздел II

# ИЗМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ, ПОВЫШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

УДК 624.131.436

В.А. Королев, Р.И. Злочевская, В.И. Дивисилова  
(МГУ)

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАБУХАНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

В природных условиях грунты испытывают различные температурные воздействия, обусловленные физико-географическими и климатическими условиями данной местности. Кроме того, в связи со строительством различных тепловых энергетических сооружений и наличием в них искусственных тепловых источников, расположенных в основании сооружений, возникают искусственные тепловые поля, в различной степени повышающие температуру грунта. Таким образом, процесс набухания глинистых грунтов может осуществляться при различных положительных температурах.

О слабой изученности этого вопроса свидетельствуют ограниченные и часто противоречивые сведения в литературе [1-5]. Впервые влияние температуры на параметры ДЭС (двойной электрический слой) полностью набухших глин и применимость "осмотического" механизма к глинам, набухающим при разных температурах, были рассмотрены в работе [5]. На глинах различного минерального состава было показано, что повышение температуры с 20 до 70°C увеличивает набухаемость глин на 15-20%, при этом влажность полностью набухших образцов определяется количеством "активных" обменных катионов, увеличивающимся с ростом температуры пропорционально влажности набухания глин.

В данной работе изучались процессы кинетики свободного набухания глинистых грунтов, а также соотношение уплотнения и разгрузки глин в зависимости от температурного фактора.

Влияние температуры на изменение относительной деформации глин при свободном набухании изучалось на образцах полиминеральной морской сарматской глины (г. Апшеронск) естественной структуры. Глинистая фракция этой глины представлена монтмориллонитом (30-57%), гидрослюдой (21-42%) и каолинитом (22-28%); естественная влажность составляла 18-34% при степени влажности 0,8-0,9. В обменном ком-

плексе глины преобладают обменные катионы  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$ , емкость обмена — 13,7–19,7 мг-экв на 100 г грунта, количество воднорасторимых солей — 0,31%. Опыты проводились в приборах ПНГ (прибор набухания грунтов с помощью климатической термокамеры "Фейтрон", ГДР). Серия образцов-близнецом помещалась в приборы ПНГ и загружалась в термокамеру при определенной температуре. Исследования проводились при +1, 4, 10, 22 и 35°C, в процессе набухания образцов температура поддерживалась постоянной с точностью до 0,5°C. Для предотвращения испарения влаги с поверхности грунта в климатической термокамере устанавливалась и поддерживалась постоянно в течение опыта высокая относительная влажность воздуха (96–98%), что достигалось путем регулирования при данной температуре парциального давления паров воды в объеме испытаний. Значения параметров набухания рассчитывались по результатам четырех–пяти параллельных испытаний.

На рис. 1 представлены экспериментальные результаты набухания полиминеральной глины в диапазоне 1–35°C. Из полученной зависимости относительной деформации набухания ( $\delta$ ) от времени ( $t$ ) видно, что температура существенно влияет на скорость процесса набухания: с ростом температуры набухание интенсифицируется, особенно в первые часы набухания. При этом скорость приращения деформаций набухания  $d\delta/dt$  возрастает с температурой примерно в 10 раз. В соответствии с этим при повышенной температуре процесс набухания завершается значительно быстрее, чем при низкой. Так, если при 1° завершенность процесса достигалась на шесть сутки, то при температуре 35° набухание практически заканчивалось через 24 ч. С термодинамической точки зрения такая закономерность объясняется тем, что в большинстве систем повышение температуры способствует при всех прочих обстоятельствах более быстрому установлению равновесного состояния, тем более что скорость диффузии (в том числе и осмос) возрастает. Конечная равновесная влажность набухания ( $W_{\text{нб}}$ ) исследуемых образцов глин увеличивается с температурой, что согласуется с результатами работы [5]. Однако зависимость  $W_{\text{нб}} = f(t)$  является нелинейной.

С целью изучения влияния температуры на соотношение процессов уплотнения и разгрузки глин проводилась вторая серия опытов на Na- и Ca-монтмориллонитовых глинах нарушенной структуры в приборах конструкции Васильева, приспособленных для обеспечения постоянной вертикальной нагрузки на набухающий образец.

Проведенные нами ранее исследования компрессии глин при различных положительных температурах, а также результаты других авторов [6] показали, что с увеличением температуры увеличивается сжимаемость глин. Сопоставление этих результатов с влиянием температуры на набухание глинистых грунтов на первый взгляд приводит к противоречию, поскольку рассматриваются два как бы противоположных процесса. В связи с этим были проведены исследования по компрессии —

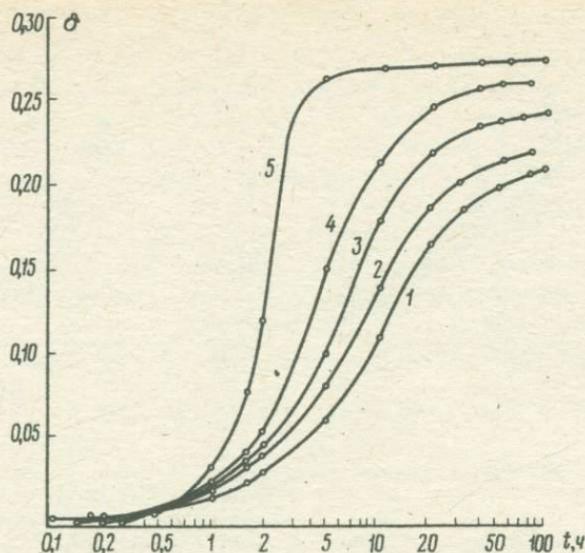


Рис. 1. Кинетика набухания полиминеральной глины при температурах  
1 - +1°; 2 - 4°; 3 - 10°; 4 - 22°; 5 - 35°

декомпрессии глин и набуханию глин под нагрузкой при температурах 20 и 70°C. Результаты этих исследований показаны на рис. 2.

Из рис. 2, а, б видно, что уплотнение и разгрузка Ca- и Na-форм монтмориллонитовой глины характеризуются расхождением прямой и обратной ветвей компрессии при одной температуре, что обычно связывается с изменением ориентации частиц в процессе уплотнения глин, нарушением структурных связей, механическим зацеплением частиц и трением грунта о стенки прибора [6], а также наличием пластических свойств у жидкости в тонких слоях [7]. Как следует из полученных зависимостей, площадь петли гистерезиса при низкой температуре (20°) значительно, чем при более высокой (70°). При температуре 70° почти не наблюдается разницы в ходе кривых по ветвям уплотнения и разгрузки (набухания). Следовательно, увеличение температуры при разгрузке способствует большему разуплотнению (набуханию) глины, тогда как повышение температуры при уплотнении вызывает увеличение сжимаемости.

Следует предположить, что природа этих явлений связана с изменением величины расклинивающего давления под действием температуры и, в частности, с изменением его структурной составляющей, которая обусловлена силами пластического сопротивления гидратных слоев сжатию при уплотнении и сопротивления растяжению при разгрузке (набуханию) образца глины [7].

Структурная составляющая расклинивающего давления является фактором, препятствующим как уплотнению, так и набуханию глини-

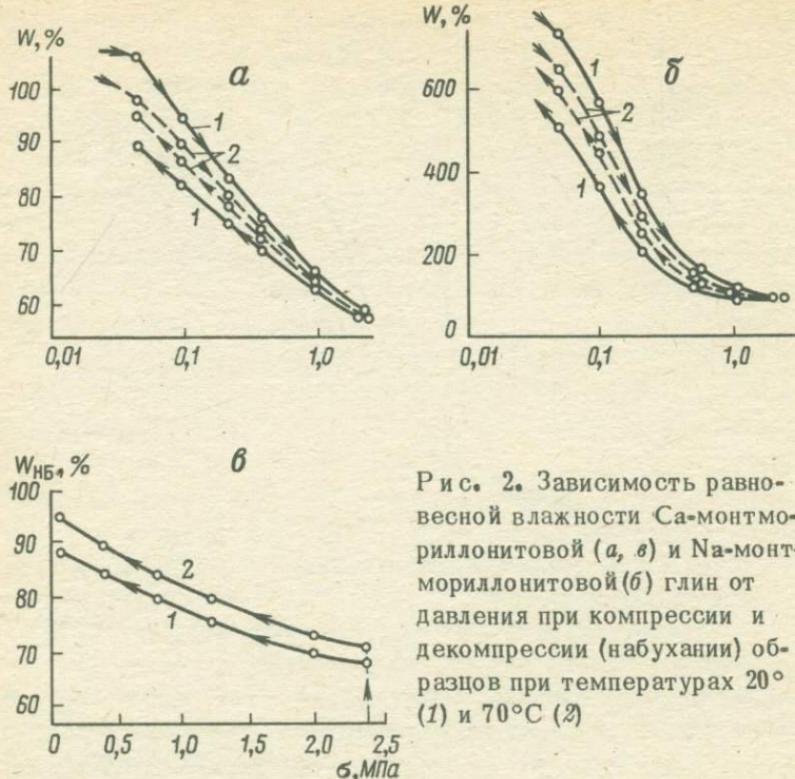


Рис. 2. Зависимость равновесной влажности Са-монтмориллонитовой (*а*, *в*) и Нa-монтмориллонитовой (*б*) глин от давления при компрессии и декомпрессии (набухании) образцов при температурах 20° (1) и 70°С (2)

стого грунта. Поскольку при увеличении температуры абсолютная величина структурной составляющей расклинивающего давления снижается, то это, с одной стороны (при уплотнении), способствует сближению частиц и увеличению степени сжимаемости глины, а с другой стороны (при разгрузке), способствует более свободному разъединению частиц, разуплотнению грунта и большему, чем при пониженной температуре, набуханию. Поэтому для достижения одинаковой равновесной влажности в случае уплотнения глины при 70° требуется меньшая внешняя нагрузка, чем при 20°C, а в случае разуплотнения (набухания) при температуре 70° затрачивается большее давление набухания, чем при 20°. Действительно, как следует из графика рис. 2,*в*, где представлена зависимость равновесной влажности набухания Са-монтмориллонитовой глины при набухании образца из воздушно-сухого состояния под нагрузкой 2,4 МПа и последующей его разгрузкой при 20 и 70°, при одинаковой равновесной влажности давление набухания, развиваемое глиной, больше при 70°, чем при 20°.

Таким образом, изменение равновесной влажности в процессе компрессии—декомпрессии глин при различных температурах контролируется наличием структурной составляющей расклинивающего давления под действием температуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жигач К.Ф., Адель И.Б. и др. Влияние температуры на набухаемость глинистых пород. — Нефть и газ, 1961, № 5, с. 23–29.
2. Городнов В.Д., Русаев А.А. Влияние гидростатического давления и температуры на показатели набухания бентонита. — В кн.: Термосолеустойчивость дисперсных систем. Киев: Наукова думка, 1971, с. 142–146.
3. Городнов В.Д., Тесленко В.Н. и др. Исследование глин и новые рецептуры глинистых растворов. М.: Недра, 1975. 263 с.
4. Городнов В.Д., Адель И.В. и др. Влияние переменных температур на набухание глинистых пород. — Бурение, 1964, № 8, с. 48–69.
5. Злочевская Р.И., Дивисилова В.И. Зависимость набухаемости глин от температуры. — В кн.: Связанная вода в дисперсных системах. Изд-во МГУ, 1977, вып. 4, с. 59–68.
6. Заангиров Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов. М.: Наука, 1979. 163 с.
7. Кульчицкий Л.И. Роль воды в формировании свойств глинистых пород. М.: Недра, 1975. 211 с.

УДК 624.131.436.5

В.А. Королев, Р.И. Злочевская  
(МГУ)

### ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ранее считалось, что в диапазоне температур от 0 до 70–100°C не происходит существенных изменений указанных свойств. В последнее десятилетие эти представления существенно изменились. Было установлено, что физико-механические свойства глин меняются даже в относительно узких диапазонах положительных температур и что эти изменения необходимо учитывать в инженерно-геологических исследованиях и прогнозах осадок сооружений.

Исследование влияния положительной температуры на физико-механические свойства глинистых грунтов имеет важное теоретическое и практическое значение как для прогноза формирования указанных свойств в естественных условиях, так и при искусственных тепловых воздействиях на грунты. С другой стороны, изучение температурных зависимостей свойств грунтов углубляет понимание их природы. В частности, такие свойства, как прочность и деформируемость, находят свое объяснение с позиций разработанной в последние годы кинетической теории, рассматривающей деформацию грунта как термоактивационный процесс [1, 2] и основывающейся на представлениях о кинетической природе деформирования и длительного разрушения [3]. Развитие этой теории становится возможным благодаря исследованию влияния темпе-

ратуры на физико-механические свойства грунтов. Разработка этого вопроса непосредственно вытекает из современного физико-химического подхода к изучению грунтов и сложившихся представлений о грунте как о динамичной, многокомпонентной системе, изменяющейся во времени под влиянием внешних и внутренних факторов [4]. Изменение внешних условий, в частности температуры грунта, приводит к нарушению существующего квазистатического равновесия грунта и обуславливает проявление процессов, ведущих к изменению его физико-механических свойств. Выполненные в связи с этим исследования, краткий обзор которых дан в работах [5, 6, 7], убедительно доказывают это положение.

Отсутствие изменений в минеральном составе глин и фазовых переходов в области невысоких (до  $100^{\circ}\text{C}$ ) положительных температур позволяет рассматривать природу температурных воздействий на физико-механические свойства глинистых грунтов как результат энергетических превращений и структурных изменений связанной воды, содержащейся в них. Накопленные к настоящему времени данные различных авторов и результаты собственных исследований [6, 8, 9] влияния минерального состава, концентрации порового раствора, состава обменных катионов, влажности, наличия структурных связей на физико-механические свойства глинистых грунтов при температурах  $5$ – $70^{\circ}$  позволяют сформулировать общие закономерности изменения этих свойств под действием положительной температуры для водонасыщенных грунтов в отсутствие температурных градиентов и связанных с ними процессов тепло- и массопереноса.

Влияние температуры на сжимаемость глин. Наиболее чувствительны к температурным воздействиям при сжатии высокодисперсные монтмориллонитовые глины, в которых увеличение температуры от  $20$  до  $70^{\circ}$  вызывает рост относительной компрессионной деформации на  $20\%$  и более. В каолинитовых и гидрослюдистых глинах приращение деформаций при тех же условиях составляет до  $10$ – $15\%$ . Замена многовалентных катионов на одновалентные в обменном комплексе глин также повышает степень сжимаемости их при термокомпрессии, так как при этом увеличивается дисперсность глин и, следовательно, повышается роль связанной воды в них. Особенно четко эта закономерность выражена в монтмориллонитовых глинах. Аналогичное влияние на термокомпрессию оказывает и снижение концентрации электролита в поровом растворе. В то же время некоторой чувствительностью к температуре обладают и глины, имеющие высокую концентрацию порового раствора (например, равную  $2 \text{ н.}$ ), в которых содержится незначительное количество связанной воды. Однако в этом случае приращение деформаций в результате увеличения температуры достигает всего  $7$ – $12\%$ .

Существенным фактором, оказывающим влияние на температурные эффекты при сжатии глин, является их влажность (плотность). По степени влияния положительных температур на сжимаемость глинистые

грунты можно подразделить на три группы (см. таблицу), характеризующиеся разной влажностью, степенью уплотнения и деформационными показателями. Температура оказывает наибольшее влияние на сжимаемость сильно влажных, слабоуплотненных грунтов скрытотекучей и пластичной консистенций, имеющих коэффициент сжимаемости более  $0,5 \text{ см}^2/\text{кг}$  и модуль компрессионной деформации менее 1 МПа. В грунтах высокой степени уплотнения полуутвердой и твердой консистенции действие положительной температуры на сжимаемость наименьшее.

Важную роль при термоуплотнении глин играют структурные связи. Наиболее чувствительны к температуре при сжатии грунты с коагуляционным типом контакта, в которых взаимодействие частиц осуществляется через водные оболочки, обуславливающие расклинивающее давление. При повышении температуры величина расклинивающего давления, противодействующего внешней нагрузке, снижается, вызывая сближение частиц и объемную деформацию образца. Установлено, что повышение температуры снижает структурную прочность глин, т. е. уменьшается величина характерного горизонтального участка на компрессионных кривых. Влияние температуры на величину структурной прочности при компрессии проявляется лишь в области влажностей глин, больших нижнего предела пластичности. Наряду с этим повышение температуры вызывает структурно-текстурные изменения в водонасыщенных глинистых грунтах при уплотнении, которые обусловливаются агрегацией глинистых частиц и более интенсивной ориентацией их базальных граней в направлении, перпендикулярном прикладываемой нагрузке [9].

Влияние температуры на реологические свойства глин наиболее выражено. Различными методами исследований (при сдвиге, кручении, одномерной консолидации и др.) установлено, что с повышением температуры процесс ползучести интенсифицируется: сокращается период неустановившейся ползучести, уменьшается или исчезает установившаяся ползучесть. В координатах относительная деформация — время кривые ползучести при различных положительных температурах располагаются одна над другой, причем верхние кривые соответствуют более высокой температуре (при постоянном напряжении сдвига). В случае компрессионной ползучести (одномерной консолидации) увеличение температуры приводит к росту скорости фильтрационной консолидации и к сокращению периода фильтрационного уплотнения глин, что связано с увеличением коэффициента фильтрации и обусловлено снижением вязкости порового раствора. Рост температуры, изменяя вязкость связанный воды, существенно влияет и на скорость ползучести скелета глинистого грунта. Деформации компрессионной ползучести нелинейно возрастают с температурой и при этом зависят от влажности глины, ее минерального состава и величины действующей нагрузки.

Характеристика водонасыщенных глинистых грунтов по степени влияния положительной температуры на их сжимаемость

Степень влияния температуры на сжимаемость глинистых грунтов	Общая оценка состояния глинистых грунтов (при 20°С)				Приращение относительной компрессионной деформации при увеличении температуры от 20°, %	
	Характеристика сжимаемости, консистенции и деформирования глинистых грунтов	Нормативные деформационные показатели		Влажность глин и преобладающий вид поровой влаги		
		коэффициент сжимаемости, см <sup>2</sup> /кг	модуль компрессионной деформации, МПа		до 40°	до 70°
Очень высокая	Глинистые грунты слабоуплотненные, скрытотекущих и пластичной консистенции с пластично-вязким характером деформирования	0,5	1,0	Свободная и осмотически-связанная вода	10	15 – 20
Высокая		0,1–0,5	1,0–5,0	Осмотически-связанная вода	5 – 10	10 – 15
Средняя	Глинистые грунты средней степени уплотнения, пластичной и полутвердой консистенции с упруговязким и вязкопластичным разрушением	0,1–0,01	5,0–40	Адсорбционно-связанная и осмотически-связанная вода	2 – 5	5 – 10
Низкая	Глинистые грунты высокой степени уплотнения полутвердой и твердой консистенции с упруговязким и хрупким разрушением	0,01	50	Адсорбционно-связанная вода	1	2

Параметром, очень чувствительным к температуре, является вязкость глинистого грунта, которая в диапазоне 5–70° может меняться более чем на порядок [6, 8]. Ее изменение под действием температуры обусловливается изменением: вязкости порового раствора; толщины и реологических свойств оболочек связанной воды вокруг глинистых частиц; агрегатного состояния глинистых частиц и структурными превращениями системы "глина–поровый раствор".

Влияние температуры на прочность глин к настоящему времени изучено в наименьшей степени, и по этому вопросу в литературе имеются разноречивые сведения, что связано как с методическими сложностями постановки такого эксперимента, так и с разнообразием процессов, обуславливающих прочность глин при тепловом воздействии. Согласно кинетической теории длительной прочности, зависимость времени до разрушения грунта от температуры описывается экспоненциальным уравнением вида

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{v_p}{k_r} \frac{1}{T}\right),$$

где  $t_p$  – время до момента разрушения;  $T$  – температура;  $v_p$  – энергия активации процесса разрушения, которую надо сообщить элементарной частице, чтобы оторвать ее от соседних частиц;  $t_0, k_r$  – постоянные.

Из этого соотношения, справедливость которого подтверждается опытами на различных грунтах при отрицательных и положительных температурах [1], следует, что увеличение температуры приводит к снижению длительной прочности грунтов. Уменьшение прочности образцов при увеличении температуры наблюдалось С.Р. Месчяном в опытах на кольцевой сдвиг [7], при этом было установлено, что с ростом температуры от 14 до 40° сцепление и угол внутреннего трения глин снижаются.

В проведенных нами исследованиях по изучению прочности по конусу глин коагуляционной структуры [6], выполненных с помощью конического пластометра, установлено двоякое влияние температуры. Было получено, что прочность по конусу глин с предельно разрушенной структурой также снижается при нагревании образцов в диапазоне температур 20–70°, а прочность структурированных (упрочняющихся во времени) глин с повышением температуры увеличивается. При этом увеличение прочности обусловливается процессами тиксотропного структурообразования, интенсивность которых повышается с температурой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 477 с.
2. Mitchell L.K., Campanella R.G., Singh A. Soil creep as a rate process. — J. soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, vol. 94, NSM-1, 1968.
3. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.К. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 342 с.
4. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1971. 595 с.
5. Зиангиров Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов. М.: Наука, 1979. 163 с.
6. Королев В.А. Роль температурного фактора при формировании электро-поверхностных и физико-механических свойств водонасыщенных глинистых грунтов. Автореф. дис. ... канд. наук. М.: Изд-во МГУ, 1977. 24 с.
7. Месчян С.Р. Начальная и длительная прочность глинистых грунтов. М.: Недра, 1978. 207 с.
8. Злочевская Р.И.; Королев В.А. и др. О природе температурных деформаций в водонасыщенных глинистых грунтах. — В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1978, вып. 4, с. 52–58.
9. Королев В.А., Коломенский Е.Н., Соколов В.Н. Влияние температуры на изменение микростроения водонасыщенных глин при уплотнении. Инженерная геология, 1979, № 2, с. 77–86.

УДК 624.131.414.3

А.И. Вайтекунене, З.П. Малашенко, С.А. Лапицкий, Ю.Б. Осипов  
(МГУ)

## ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ-ВЫСУШИВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ НАБУХАНИЯ И УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Поведение глинистых грунтов при периодическом изменении влажности необходимо знать для дальнейшего прогнозирования изменения их свойств. Этот вопрос особенно важен в связи с крупными мелиоративными мероприятиями в нечерноземной зоне Европейской территории РСФСР, где широко распространены глинистые грунты различного генезиса.

О влиянии циклического увлажнения—высушивания глинистых грунтов на их свойства имеются данные, которые слабо согласуются между собой как по результатам наблюдений, так и по выводам. Ж. Е. Рогаткина, проводя опыты при переменном режиме влажности, установила, что циклическое увлажнение—высушивание приводит к резкому увеличению относительного набухания и давления набухания [1]. При первом набухании деформация достигала 4,7%, а при третьем — уже 15,4%. Причиной, приводящей к увеличению набухания, по мнению Ж. Е. Рогаткиной, является нарушение структурных связей из-за образования трещин в образце в вертикальном и горизонтальном направлениях, причем горизонтальные трещины совпадали с направлением слоистости. На

увеличение деформации в результате циклического увлажнения—высушивания указано в работах [2, 3]. А.Р. Горлова при исследовании усадки набухающих грунтов в опытах с попеременным высушиванием—увлажнением глин установила [4], что от цикла к циклу величины относительной усадки и относительного набухания в среднем остаются постоянными, но по величинам относительного набухания всегда больше. Б. Уоркентин и М. Бозозук [5] отмечали, что усадка глин максимальна при первом цикле высыхания и в последующих циклах увлажнения—высушивания величина усадки уменьшается. По данным Л.В. Переильского и В.П. Ананьева, набухание максимально после первого замачивания, а усадка при первом цикле также максимальна и в дальнейшем величины деформации образцов стабилизируются [6]. Характер изменения кривой набухания и усадки оценивается как условно стабилизировавшийся без ясно выраженной тенденции к увеличению или уменьшению величин деформаций.

Изучение параметров набухания и усадки в процессе периодического увлажнения—высушивания проводилось на образцах основных генетических типов глинистых грунтов нечерноземной зоны Европейской территории РСФСР. Исследовались покровные, моренные, озерно-аллювиальные и озерно-ледниковые суглинки и глины. Покровные суглинки, образцы которых отобраны в Московской области, характеризуются самым высоким (43%) содержанием глинистой фракции. В ее составе присутствуют кварц, хлорит, гидрослюдя, каолинит и смешанные слойные минералы. Естественная влажность (23%) покровного суглинка соответствует влажности нижнего предела пластичности. Влажность верхнего предела пластичности составляет 39%. Озерно-ледниковые (ленточные) глины из Архангельской области имеют заметную макрослоистость. Эти глины характеризуются высокоориентированной текстурой. Среди глинистых минералов преобладают гидрослюдя, каолинит и хлорит. Монтмориллонит присутствует в небольших количествах. Естественная влажность (30,6%) значительно выше влажности нижнего предела пластичности (24%). Влажность текучести достигает 41%. Озерно-аллювиальная глина, образцы которой отобраны в среднем течении р. Онеги, характеризуется преобладанием в составе глинистой фракции монтмориллонита, гидрослюд и каолинита. В естественном состоянии глина водонасыщена, и естественная влажность (23,3%) выше влажности нижнего предела пластичности (20%). Влажность верхнего предела пластичности составляет 33%. Моренные суглинки калининского оледенения отобраны в Архангельской области. В составе глинистой фракции присутствуют хлорит, гидрослюд и каолинит, обнаружен Na-монтмориллонит. Естественная влажность (13%) ниже влажности нижнего предела пластичности (16%), а влажность текучести составляет 28%.

Определение влияния периодического увлажнения—высушивания на параметры набухания и усадки проводилось в приборах набухания грун-

тов (ПНГ) и приборах конструкции института "Гидропроект". Опыты проводились в лабораторных условиях при температуре 25°C. В процессе набухания контролировались вертикальная деформация и изменение массы образца. Перед началом и после окончания опыта замерялись высота, диаметр и масса образца. Опыты продолжались до тех пор, пока образец сохранял свою монолитность, и проводились 4–10 раз; на графиках приводятся средние данные для каждого генетического типа.

Известно, что деформация набухания зависит от исходной влажности и плотности грунтов (влияние минералогического состава в настойющей работе не рассматривается). Чем меньше исходная пористость и влажность, тем больше набухание. Величина пористости при периодическом увлажнении–высушивании меняется от исходной до пористости на пределе усадки, а влажность – от природной до гигроскопической. Деформация набухания также зависит от изменения коэффициента пористости. Поскольку при влажности набухания все поры заполнены водой, то это позволяет одновременно судить и о коэффициенте пористости. Поэтому для того, чтобы установить влияние периодического увлажнения–высушивания, удобнее воспользоваться влажностью набухания. Как видно на рис. 1, озерно-ледниковые, озерно-аллювиальные и покровные суглинки увеличивают влажность набухания до полутора–двух циклов увлажнения–высушивания. После этого при продолжении опытов влажность сохраняется постоянной. Таким образом, максимальное значение, или "установившаяся" влажность набухания, достигается при третьем набухании. Моренные суглинки увеличивают влажность набухания до третьего цикла так, что влажность набухания постоянно возрастает от первого до шестого набухания. "Установившаяся" влажность набухания озерно-ледниковых и покровных суглинков соответствует их влажности на пределе текучести, причем у моренных суглинков эта величина несколько меньше, а у озерно-аллювиальных – больше.

Максимальным количеством влаги, которую может поглощать грунт при набухании, следует считать установившуюся влажность. Помимо связанной, сюда входит и капиллярная вода. При первом набухании из-за наличия защемленного воздуха, закрытых пор или достаточно водопрочных контактов вода не везде может проникнуть и предельная влажность набухания не может быть достигнута. Во время усадки грунта, следующей за набуханием, при циклическом увлажнении–высушивании пористость образца увеличивается в результате образования микро- и макротрешин, при этом часть контактов разрушается. Все это приводит к увеличению влажности набухания при последующих циклах увлажнения–высушивания. Чем больше исходная пористость образца, тем меньше циклов увлажнения–высушивания необходимо для достижения установившейся влажности. Так, для озерно-ледниковых, озерно-аллювиальных глин и покровного суглинка, имеющих высокие начальные

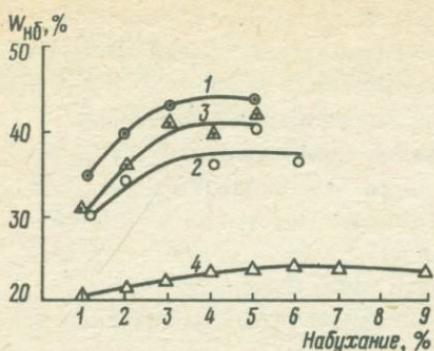


Рис. 1. Изменение влажности набухания при периодическом увлажнении—высушивании

1 — озерно-ледниковая глина; 2 — озерно-аллювиальная глина; 3 — покровный суглинок; 4 — моренный суглинок

Рис. 2. Изменение влажности на пределе усадки в зависимости от периодического увлажнения—высушивания

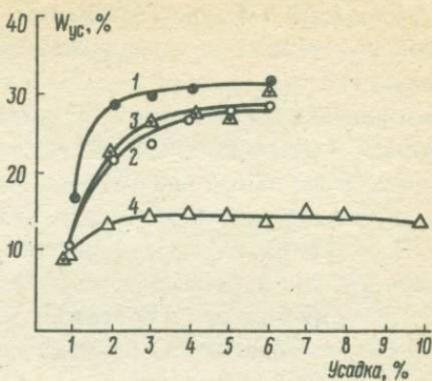
1 — озерно-ледниковая глина; 2 — озерно-аллювиальная глина; 3 — покровный суглинок; 4 — моренный суглинок

значения коэффициента пористости  $\epsilon = 0,721 - 0,847$ , необходимо полтора—два цикла, а для моренных суглинков с небольшой исходной пористостью ( $\epsilon = 0,47$ ) необходимы три цикла увлажнения—высушивания.

Влияние периодического увлажнения—высушивания на свободную усадку глинистых грунтов проявляется в том, что коэффициент пористости после усадки увеличивается от цикла к циклу. Это увеличение пористости связано с тем, что после каждого цикла усадки образуются трещины, которые при набухании расширяются. Увеличение пористости от цикла к циклу приводит к полному разрушению образцов. Время полной дезинтеграции зависит от исходного состояния грунтов. Для образцов озерно-ледниковых, озерно-аллювиальных глин и покровных суглинков дезинтеграция наступает уже к концу третьего цикла увлажнения—высушивания. Более плотные моренные суглинки разрушаются только к концу пятого цикла.

При периодическом увлажнении—высушивании объемная усадка возрастает более чем в 3 раза. Это увеличение усадки связано с ростом деформации и влажности набухания от цикла к циклу, так как чем выше исходная влажность, тем больше усадка.

Влажность на пределе усадки, т. е. та влажность, которая характеризует образец после стадии нормальной усадки перед безусадочной стадией, при периодическом увлажнении—высушивании возрастает от цикла к циклу (рис. 2). Достигнув определенного значения влажность на пределе усадки стабилизируется.



Моренные и озерно-ледниковые глины и суглинки достигают постоянной влажности на пределе усадки к концу первого цикла. Очевидно, это связано с различием в типах структурных связей. Озерно-аллювиальные и покровные суглинки имеют более прочные коагуляционно-цементационные связи [7], а у моренных и озерно-ледниковых преобладают пластифицированно-коагуляционные. Влажность усадки изучаемых образцов зависит от начального коэффициента пористости.

Таким образом, периодическое увлажнение—высушивание приводит к значительному изменению параметров набухания и усадки. В зависимости от их исходного состояния и типов связи изменение различно для разных генетических типов глин. По результатам проведенных исследований установлено:

1) влажность набухания суглинков естественного сложения увеличивается от цикла к циклу, достигая определенного установившегося значения, которое в большинстве случаев соответствует их влажности на пределе текучести;

2) периодическое увлажнение—высушивание приводит к росту коэффициента пористости при усадке, что связано с образованием трещин в результате каждой усадки и их последующего расширения при набухании; объемная усадка возрастает от цикла к циклу более чем в 3 раза;

3) при периодическом увлажнении—высушивании влажность на пределе усадки возрастает от цикла к циклу и, достигнув определенного значения, остается постоянной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рогаткина Ж. Е. Влияние переменного режима влажности на физико-механические свойства глин. — В кн.: Формирование и изменение физико-механических свойств глинистых пород. Л.: Изд-во ЛГУ, 1966, с. 27–34.
2. Монюшко А. М. О деформированном поведении сарматских глин. — Тр. ПНИИИС, 1971, т. 12, с. 54–62.
3. Виноградова Г. Н., Томилова Н. Н., Комолова Г. С. Особенность деформирования хвальинских шоколадных глин с учетом их генезиса. — Тр. III межвед. совещ. по вопросам прогноза гидрогеол., инж.-геол. и почв.-мелиор. условий. М., 1976, вып. IV, с. 59–65.
4. Горлова А. Р. Некоторые закономерности усадки глинистых грунтов. — В кн.: Тр. НИИ осн. и фунд. М., 1972, № 63, с. 123–124.
5. Warkentin B. P., Bozozuk M. Shrinking and swelling properties of two canadien clays. — Compt. rend. 5 Congr. intemat. mechan. sols et trav. fondat. Paris, 1961, vol. 1.
6. Передельский Л. В., Ананьев В. П. Набухание и усадка глинистых грунтов. Ростов н/Д: Кн. изд-во, 1973. 144 с.
7. Горькова И. М. Комплексная оценка набухающих грунтов. — В кн.: Строительство на набухающих грунтах. Ростов н/Д: Кн. изд-во, 1972, с. 108–114.

И.А. Сафохина  
(ПНИИС, Москва)

## ВЛИЯНИЕ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Проблема изучения взаимодействия пород с водой и водными растворами и происходящих при этом изменений инженерно-геологических свойств пород была впервые выдвинута В. А. Приклонским как одна из ведущих проблем грунтоведения [1]. В последние годы проблема эта приобретает особое значение в связи с широко распространившимся процессом подтопления застроенных территорий, когда грунты оснований сооружений приходят во взаимодействие с водами вновь возникших или изменивших свой уровень и химический состав водоносных горизонтов. Вследствие этого перед изыскателями встал вопрос о прогнозе изменений инженерно-геологических свойств грунтов, в особенности глинистых, при подтоплении.

Закономерности изменения инженерно-геологических свойств глинистых пород при их взаимодействии с водой и растворами электролитов рассмотрены в ряде работ [2-8]. Как показывает анализ литературных материалов, при свободном набухании без нагрузки глинистых пород их удельное скрепление может падать в 13-25 раз и достигать 0,01-0,05 МПа, угол внутреннего трения не превышает 5°, модуль общей деформации снижает в 15 раз и достигает 3,4 МПа, т. е. грунты могут при набухании переходить в категорию слабых. При увлажнении под нагрузками, исключающими увеличение объема при набухании, сжимаемость для некоторых разновидностей глин снижается в 1,2-1,5 раза, параметры сопротивления сдвигу падают в 1,5-2 раза.

Влияние растворов солей на набухаемость глинистых пород изучено преимущественно на моногидратных растворах и на глинистых грунтах с нарушенной структурой. Набухание в растворах солей, по данным одних исследователей, уменьшается по сравнению с набуханием в дистиллированной воде. По другим данным, набухание в растворах солей в 1,2-7 раз превышает набухание в дистиллированной воде, причем наибольшее набухание наблюдается при малых концентрациях электролитов.

Для каолинитовых глин влияние обменных катионов и характера взаимодействующего раствора на набухание не проявляется. Наибольшее влияние растворы оказывают на набухание Na-монтмориллонитовых глин, меньшее — на набухание Ca-монтмориллонитовых глин. Влияние характера растворов на гидрослюды, очевидно, промежуточное. Влияние на свойства глин щелочных и кислых растворов в данной работе не рассматривается.

Нами изучено влияние процесса самоподтопления территории одного крупного предприятия химической промышленности в Саратовской об-

ласти на состав и свойства морских нижнехвалынских ( $mQ_3 h v_2$ ) глинистых отложений, служащих основаниями сооружений и являющихся водовмещающими породами техногенного водоносного горизонта. В соответствии с классификацией И.М. Горьковой [9] морские хвалынские отложения площадки относятся к высокодисперсным и смешанным породам средней степени уплотнения и литификации с коагуляционно-пластифицированными и смешанными коагуляционно-цементационными структурными связями, слабонабухающим.

Техногенный водоносный горизонт сформировался в морских нижнехвалынских глинистых отложениях за время строительства и эксплуатации предприятия под влиянием инфильтрации и утечек кислых и щелочных промстоков, а также горячих производственных вод. Техногенный водоносный горизонт имеет в разрезе куполовидную форму, минерализация его колеблется от 0,25 до 82 г./л, температура изменяется от 4° до 38°, состав вод сульфатно-хлоридно-натриевый; уровень достигает 0,2-7 м от поверхности. В основном, за исключением участков отдельных производств, минерализация воды на территории комбината не превышает 5-6 г./л.

В пределах подтопленной территории площадки нами выделяются две зоны, различающиеся длительностью существования подтопления: "раннего" подтопления, приуроченная к основным производственным цехам, где техногенный горизонт существует более 10 лет; "позднего" подтопления, приуроченная к участкам более поздней застройки, где техногенный горизонт существует менее 10 лет.

В результате взаимодействия грунтов с водами техногенного водоносного горизонта происходят изменения влажности, плотности, сопротивления сдвигу, сжимаемости морских хвалынских глин (см. таблицу). Более значительны эти изменения в грунтах, находящихся в зоне "раннего" подтопления. Изменений химико-минералогического, ионно-солевого и дисперсного состава грунтов не произошло.

Проведено физическое моделирование состояния подтопления грунтов в лабораторных условиях. Образцы морских хвалынских глин приходились во взаимодействие с пробами вод, характеризующих отдельные поля минерализации техногенного водоносного горизонта [10]. Было установлено, что грунты по величине набухания в дистиллированной и маломинерализованной воде сульфатно-натриевого и хлоридно-натриевого состава с минерализацией до 10 г./л, а также в высокоминерализованной воде хлоридно-натриевого состава с минерализацией 82 г./л относятся к ненабухающим и слабонабухающим грунтам. По деформации набухания в сульфатно-натриевой воде с минерализацией 32 г./л грунты переходят в группу средненабухающих.

Влажность набухания колеблется от 23 до 36%. Консистенция грунтов после взаимодействия с пробами воды изменяется от твердой и полутвердой до мягко- и текучепластичной. Плотность скелета грунта несколько снижается, но породы продолжают оставаться в группе сред-

Показатели влажности, плотности, сопротивления сдвигу и сжимаемости морских нижнехвальинских глинистых грунтов

Название грунтов	Средние значения			Нормативные значения			
	естественной влажности, %	плотности грунта, гс/см <sup>3</sup>	плотности скелета грунта, гс/см <sup>3</sup>	показателей сопротивления сдвигу	C, МПа	ϕ°	модуля деформации, E, МПа
Глины и суглинки до начала строительства	22,7	1,9	1,56	-	-	-	-
Глины и суглинки подтопленной территории выше уровня грунтовых вод	23,8	1,92	1,56	0,054	21		4,2
Глины и суглинки, подтопленные менее 10 лет	25,4	1,92	1,53	0,051	18		4,0
Глины и суглинки подтопленные более 10 лет	27,9	1,92	1,50	0,044	17		3,5
Глины и суглинки, подтопленные территории выше уровня грунтовых вод	-	-	-	0,027	13° 30*		-
	-	-	-	0,02	18**		-

\* Сдвиг после предварительного свободного набухания в дистиллированной воде.

\*\* Сдвиг после свободного набухания в воде сульфатно-натриевого состава ( $M = 32 \text{ г/л}$ ).

неуплотненных грунтов с плотностью скелета грунта более  $1,43 \text{ гс/см}^3$ . После взаимодействия с растворами происходит снижение прочности пород, сопротивление penetрации уменьшается в 1,3–22,2 раза и падает иногда ниже  $0,1 \text{ МПа}$ .

Наибольшее влияние на набухание и разупрочнение пород оказывают пробы воды сульфатно-натриевого состава с минерализацией 32 г/л. Это объясняется диспергирующим воздействием сульфатно-натриевых вод в результате увеличения в поглощающем комплексе грунтов обменного  $\text{Na}^+$ , а также вследствие особой роли аниона  $\text{SO}_4^{2-}$ , который способствует увеличению набухаемости пород. Наибольшая агрегация на-

блюдается после взаимодействия грунтов с хлоридно-натриевой водой высокой минерализации (82 г/л).

Процесс формирования техногенного водоносного горизонта на территории предприятия химической промышленности находится в своей завершающей стадии. Происходит только растекание купола техногенного водоносного горизонта. Процесс изменения инженерно-геологических свойств морских глинистых грунтов под влиянием подтопления находится еще в своей начальной стадии. Показатели физико-механических свойств не достигли своих предельно низких значений, полученных по методу физического (лабораторного) моделирования (см. таблицу).

Влияние процессов подтопления на инженерно-геологические свойства глинистых пород во многом сходно с влиянием на породы естественно протекающего процесса химического выветривания. В последние годы развивается учение о выветривании как процессе инфильтрационного метасоматоза, в котором главную роль играет инфильтрация атмосферных и поверхностных вод [11].

Сходство воздействия процесса химического выветривания и процесса подтопления на инженерно-геологические свойства глин вызывается общностью основного фактора, действующего на породы — воды с растворенными в ней компонентами. Однако если при выветривании в водах, действующих на породы, содержится сравнительно небольшое количество основных естественных компонентов, то при подтоплении в воды техногенных водоносных горизонтов может поступать до 50 органических и неорганических компонентов из отходов производства [12]. Влияние большинства из них на свойства пород совершенно не изучено.

При подтоплении температура воды бывает значительно повышена по сравнению с естественным фоном в результате инфильтрации и утечек горячих сточных вод, а также в результате прогревания водосодержащих грунтов в основании горячих цехов [13].

При естественном выветривании зоны изменения инженерно-геологических свойств пород, следя гравитационному движению воды, направлены сверху вниз. На примере нижнехвалынских морских глин установлена концентрическая зональность изменения инженерно-геологических свойств, следующая за горизонтальными движениями воды при растекании купола. Наибольшее разупрочнение и разуплотнение пород наблюдается в центре купола техногенного водоносного горизонта, в зоне "раннего" подтопления. Менее значительные изменения приурочены к краевым частям купола. Очевидно, что если процесс подтопления развивается снизу вверх, так же снизу вверх будут следовать за восходящим движением воды изменения свойств. Наибольшие изменения будут в этом случае приурочены не к поверхностным слоям, как при выветривании, а к наиболее глубоким и наиболее длительно взаимодействующим с водой.

Под влиянием выветривания изменяются физико-механические свойства пород, что выражается в разуплотнении (снижении объемной массы) и возрастании пористости, изменении пластичности, снижении прочности и увеличении сжимаемости. Эти общие закономерности проявляются различно в породах разных групп и в зависимости от климатических условий. В осадочных, в частности глинистых, породах в условиях умеренного влажного климата происходит изменение содержания карбонатов, воднорастворимых солей, органических веществ [12]. Такая же общая тенденция изменения инженерно-геологических свойств, выразившаяся в разуплотнении, разупрочнении, увеличении сжимаемости пород, выявляется и при воздействии процесса подтопления на морские хвалынские глины.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: взаимодействие глинистых пород с водой при подтоплении приводит к разуплотнению, снижению прочности, увеличению сжимаемости, проявлению набухания глин; изменение инженерно-геологических свойств глинистых пород при подтоплении развивается позднее формирования водоносного техногенного горизонта. Наблюдается зависимость изменений инженерно-геологических свойств глин от состава вод техногенного водоносного горизонта; выявлена стадийность и зональность изменений инженерно-геологических свойств глинистых пород при подтоплении, зависящая от длительности взаимодействия пород с водой и направленности движения воды при формировании водоносных горизонтов; показано сходство влияния процесса подтопления и химического выветривания на физико-механические свойства глин, связанное с общностью основного фактора, воздействующего на породы при выветривании и подтоплении, — воды с растворенными в ней компонентами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Приклонский В. А. Современные проблемы инженерной геологии. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1957, № 12, с. 89—96.
2. Приклонский В. А., Горькова И. М. и др. Инженерно-геологические особенности хвалынских глинистых пород в связи с условиями их формирования. — Тр. ЛГГП им. Ф. П. Саваренского. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 152 с.
3. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. М.: Стройиздат, 1974. 225 с.
4. Рогаткина Ж. Е. Набухание и его влияние на изменение физико-механических свойств грунтов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1968. 24 с.
5. Злочевская Р. И., Королев В. А., Алексеенко Г. П. Роль концентрации порового раствора при формировании физико-химических и физико-механических свойств глинистых грунтов. — В кн.: Влияние поровых вод на физико-механические свойства пород. Киев: Наукова думка, 1974, с. 232—242.
6. Мос্�сяков Е. Ф. О набухаемости третичной Са-монтморилонитовой глины в растворах электролитов. — В кн.: Строительство на набухающих грун-

- так: Тез. докл. на II Всесоюз. совещ. (Ростов-на-Дону). М.: НИИ оснований, 1972, с. 39–40.
7. Затенацкая Н.П. Поровые воды осадочных пород. М.: Наука, 1974. 158 с.
  8. Зиангиров Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов. М.: Наука, 1979. 164 с.
  9. Горькова И.М. Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. М.: Наука, 1965. 128 с.
  10. Сафохина И.А., Монюшко А.М. Закономерности изменения состава и физико-механических свойств морских хвальинских глин на подтопленных территориях. – Тр. ПНИИС. М.: Стройиздат, 1980, с. 126–140.
  11. Кашик С.А., Карпов И.К. Физико-химическая теория образования зональности в коре выветривания. Новосибирск: Наука, 1978. 152 с.
  12. Тютюнова Ф.И. Физико-химические процессы в подземных водах. М.: Наука, 1976. 126 с.
  13. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М.: Изд. ВОДГЕО и ПНИИС, 1976. 325 с.
  14. Ярг Л.В. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. М.: Недра, 1974. 142 с.

УДК 624.131.43

И.С. Бочарова, Ю.Ф. Захаров, Ю.Н. Воронов, В.М. Зензина  
(ПНИИС, Москва)

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ОБВОДНЕНИИ (на примере аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений Среднего Приобья)

Большинство городов и промышленных центров нефтеносных районов Приобья расположены в пределах избыточно увлажненных и потенциально подтопляемых территорий. Накопленный за последнее десятилетие опыт строительства в этом районе, а также выполненные с помощью ЭВМ прогнозные расчеты показывают, что происходящее при освоении этих земель нарушение природного влажностного режима будет, как правило, к прогрессивному подъему уровня грунтовых вод, образованию новых водоносных горизонтов и широкому площадному развитию процессов подтопления и заболачивания территорий.

В условиях Среднего Приобья основными причинами и факторами обводнения поверхностных отложений застраиваемых территорий являются следующие: создание на пути естественного подземного стока водонепроницаемых экранов из мерзлых пород, возникающих под трассами дорог и полями гидронамыва и сохраняющихся в течение всего теплого периода; создание на пути поверхностного стока водонепроницаемых экранов из насыпей плохофильтрующих и мерзлых грунтов; уплотнение грунтов под действием нагрузки от зданий и сооружений,

препятствующих подземному стоку или меняющих его направление; перераспределение водного баланса на застроенных и незастроенных участках (расположенных вне контура сооружений), приводящее к созданию локальных зон инфильтрации и возникновению "куполов" грунтовых вод; изменение температурного режима грунтов оснований сооружений и вызываемое им усиление внутригрунтовой конденсации; вскрытие котлованов и траншей, удаление растительного покрова, разрыхление грунтов, увеличивающее инфильтрацию атмосферных осадков и талых вод; аварии водопроводной сети и т. д.

Обводнение грунтовой толщи при застройке территорий обычно начинается с локального увеличения влажности пород и подтопления отдельных объектов верховодкой, а заканчивается интенсивным подъемом уровня грунтовых вод, вызывающим заболачивание обширных территорий и нередко образование на поверхности земли сплошного зеркала вод. На освоенных территориях часто наблюдаются существенные изменения химического состава поверхностных и грунтовых вод, при этом наиболее ощутимые изменения происходят в нефтедобывающих районах в результате постоянных утечек минерализованных сеноманских вод, используемых для поддержания пластовых давлений, а также попутных и подтоварных вод.

Развитие процессов подтопления и заболачивания дренированных территорий обычно ведет к проявлению ряда неблагоприятных инженерно-геологических явлений и вызывает существенное ухудшение физического состояния и свойств грунтов. Большое влияние на консистенцию и деформационное поведение пород оказывают и сезонные изменения в них влажности, диапазон колебания которых в годичном цикле достигает в грунтах центральной части Западной Сибири 20%.

Интенсивность изменения строительных свойств грунтов в условиях их дополнительного обводнения зависит от их состава, состояния, структуры, химического состава взаимодействующих с породами вод, а также от природы физико-химических процессов, развивающихся в грунтах в условиях избыточного увлажнения.

Поверхностные отложения рассматриваемого региона повсеместно представлены мощной толщей четвертичных слаболитифицированных пород аллювиального, озерно-аллювиального и озерно-болотного генезиса, различных по физическому состоянию, структурным и текстурным особенностям.

Гранулометрический состав этих отложений тесно связан с их генетической и фациальной принадлежностью и представлен широким спектром разновидностей, среди которых преобладают мелкие и пылеватые пески, пылеватые суглинки, реже супеси и легкие глины.

Состав песчано-алевритовой части изученных отложений характеризуется сравнительно однородным кварцево-полевошпатовым составом. Основные отличия состава в отдельных генетических и фациальных ти-

пах пород проявляются в количественном соотношении породообразующих минералов и неодинаковом составе диагенетических новообразований и акцессорных компонентов. В составе глинистых минералов этих пород преобладает монтмориллонит, в меньших количествах содержатся хлорит, гидрослюдя, тонкодисперсный кварц и окислы железа. По данным рентгеноструктурного анализа выявляется закономерная смена состава глинистых минералов с глубиной в соответствии с изменением реакции среды. Эта смена выражается в отсутствии или незначительном содержании монтмориллонита в верхней части разреза (в зоне циркуляции кислых почвенных вод) и постепенном увеличении его содержания с глубиной при одновременном изменении pH среды до центральных или слабощелочных значений. Все исследованные породы содержат мало карбонатов и не содержат гипса. Количество легкорастворимых солей в них, по данным анализа водных вытяжек, — сотые, реже десятые доли процента. В составе солей преобладают гидрокарбонаты или сульфаты  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , реже  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . В водных вытяжках в заметных количествах присутствуют растворимые органические соединения, ионы железа и кремневая кислота. pH водных вытяжек меняется в пределах от 5,3 до 7,5. Специфической особенностью исследованных пород является высокое содержание подвижных соединений окисного и закисного железа и присутствие реакционноспособных органических кислот (фульвокислоты и малообуглероженные фракции гуминовых кислот).

Грунтовые воды, заключенные в аллювиальных и озерно-аллювиальных комплексах, слабо минерализованы и относятся чаще всего к гидрокарбонатно-натриевому или гидрокарбонатно-кальциевому типу.

Взаимодействие грунтов с подземными водами или промышленными стоками сопровождается сложными физико-химическими процессами, влияющими на состояние и структуру грунтов. По характеру инженерно-геологического воздействия на породы эти процессы могут быть подразделены на три типа: процессы, вызывающие в основном изменение физического состояния грунтов; процессы, вызывающие растворение солей, изменение состава ионно-солевого комплекса, разрушение нестойких компонентов и тем самым обусловливающие изменение агрегатного состояния грунтов и характера их структурных связей; процессы, ведущие к разрушению глинистых и кластических минералов, изменению степени дисперсности пород и глубокому преобразованию их структуры.

Процессы первых двух типов возникают в грунтах при их взаимодействии с пресными и слабоминерализованными грунтовыми водами. Влияние этих процессов на инженерно-геологические свойства грунтов проявляется достаточно быстро и может быть оценено количественно методом экспериментального моделирования. Процессы третьего типа проявляются в грунтах под воздействием агрессивных промышленных

стоков (кислых или щелочных вод), а также в условиях развития глеевого режима.

Согласно современным представлениям, оглеение является биохимическим восстановительным процессом, который протекает в анаэробных условиях в присутствии негумифицированных форм органического вещества. В ходе этого процесса происходит восстановление соединений окисного железа в подвижные закисные формы и разрушение кристаллической решетки минералов, что ведет к распадению природных агрегатов грунтов, увеличению содержания в их составе коллоидно-дисперсных фракций и устойчивой стабилизации последних адсорбционными слоями поверхенностно-активных соединений закисного железа.

На интенсивность изменения прочностных и деформационных свойств грунтов в условиях обводнения большое влияние оказывают их физическое состояние до развития процессов подтопления и текстурно-структурные особенности, что особенно наглядно проявляется при изучении размокания и набухания грунтов. Наименьшей водоустойчивостью характеризуются агрегатные структуры покровных пылеватых суглинков, залегающих в сезоннопромерзающих и аэрируемых горизонтах. Помещенные в воду образцы этих пород размокают в течение нескольких секунд. Суглинки и глины пойменных фаций размокают в течение 10–12 ч, изменяя под водой свою окраску от бурой до глубокой серой, что свидетельствует о постепенном превращении в условиях замачивания содержащихся в породах соединений окисного железа в закисное. Скорость размокания озерно-старичных глинистых грунтов со стабилизационными и коагуляционными связями изменяется от 2–3 мин до нескольких часов, заметно возрастая с увеличением степени агрегированности глинистых частиц, а также уменьшением плотности и увеличением степени водонасыщенности пород. Наиболее водоустойчивыми являются грунты, содержащие  $> 3\%$  органического вещества, что установлено наличием в этих грунтах водородных и гетерополярных связей, образованных при химическом взаимодействии функциональных групп, содержащихся в молекулах этих веществ.

Большинство грунтов, распространенных в районе Среднего Приобья, относится к категории ненабухающих. Величина относительного набухания этих пород характеризуется тысячными, реже сотыми долями единицы (до 0,02) и лишь в отдельных образцах тяжелых суглинков и глин, залегающих в пределах зоны аэрации, она достигает 0,03–0,05. Несмотря на слабовыраженную способность грунтов набухать, взаимодействие их с водой в большинстве случаев вызывает резкое изменение прочности и увеличение их деформируемости. Интенсивность этих изменений зависит от исходной влажности грунтов, водоустойчивости их структурных связей. Замачивание грунтов со степенью влажности более 0,95 обычно не вызывает заметного увеличения сжимаемости пород. Величина модуля деформации у некоторых разновидностей глини-

Изменение прочностных и деформационных свойств грунтов при их обводнении

Наименование грунтов	Число пластичности	Естественная влажность	Объемный вес скелета	Степень влажности
Суглинок пылеватый (пойменный)	0,12	0,30	1,27	0,74
То же	-	1,83	0,42	0,98
"	-	0,64	0,96	1,00
"	0,09	0,28	1,38	0,81
"	0,14	0,33	1,27	0,95
Суглинок пылеватый (озерно-аллювиальный)	0,09	0,26	1,53	0,93
Суглинок пылеватый (пойменный)	0,15	0,32	1,23	0,79
То же	0,13	0,23	1,60	0,95
Суглинок покровный	0,09	0,21	1,54	0,77
То же	0,08	0,14	1,55	0,52

\* I — испытания образцов с естественной влажностью, II — испытания с предварительным водонасыщением образцов.

стых грунтов может даже возрастать вследствие развития глеевого режима.

Подобное аномальное поведение при сжатии под водой обнаруживают образцы пойменного аллювия и некоторые разновидности покровных суглинков, характеризующихся повышенным содержанием окисного железа и негумифицированных форм органического вещества. На формирование структуры этих пород оказывают влияние пространственно полимеризующиеся гели  $Fe_2O_3$  и их органоминеральные производные, играющие роль цемента в окислительной обстановке, но сравнительно легко разрушающиеся при развитии в грунтах восстановительных условий. При испытаниях под водой в образцах этих пород происходит уве-

Схема опыта*	Модуль общей деформации при нагрузках, МПа			Характеристика прочности	
	0,25	0,50	1,0	$\phi$ , град	C, МПа
I	2,6	4,0	4,0	21	0,032
II	2,9	4,0	5,8	22	0,011
I	1,4	1,9	2,2	19	0,027
II	1,6	1,3	2,5	0	0,056
I	3,7	5,2	3,7	13	0,048
II	3,6	3,2	4,3	3	0,046
I	3,7	4,8	7,6	16	0,032
II	2,4	3,1	4,7	7	0,038
I	3,9	5,6	6,0	13	0,042
II	—	2,5	4,8	7	0,038
I	8,2	12,5	10,0	9	0,064
II	1,6	2,3	5,2	11	0,042
I	5,0	7,5	—	13	0,122
II	2,9	3,5	4,7	21	0,08
I	2,8	3,1	5,0	19	0,073
II	1,5	1,8	3,2	24	0,040
I	15,0	15,0	15,0	26	0,055
II	0,3	0,3	0,6	5	0,016
I	27,0	27,0	27,0	29	0,050
II	0,7	0,9	1,6	8	0,008

личение содержания подвижных форм закисного железа, а также глинистых и пылеватых фракций, что ухудшает их фильтрационные свойства и подтверждается данными выполненных химических исследований и микроагрегатного анализа образцов после окончания опытов.

При степени влажности меньше 0,93 дополнительное насыщение водой в большинстве случаев способствует увеличению деформируемости грунтов под нагрузкой. Характерной особенностью пылевато-глинистых грунтов исследованного региона является значительное изменение показателей сжимаемости грунтов при сравнительно небольшом увеличении в них влажности, при этом эффект воздействия обводнения на деформационное поведение пород возрастает с уменьшением их плотности

и степени водонасыщенности грунтов и увеличением степени агрегированности глинистой фракции. Наибольшее ухудшение деформационных свойств грунтов следует ожидать при подтоплении сезоннопромерзающих пород, расположенных на дренированных участках надпойменных террас.

После взаимодействия с водой лессовидных суглинков значения модуля деформации уменьшаются в 2,5–3 раза и более, при водонасыщении под нагрузкой эти грунты проявляют просадочные свойства.

У большинства пород Тюменского Приобья обводнение вызывает также значительное уменьшение прочности вследствие ослабления межагрегатных и межчастичных связей. Осмотическое впитывание воды в породу вызывает ослабление водно-коллоидных связей, утолщение диффузных оболочек и увеличение их расклинивающегося воздействия. Снижение прочности при замачивании наблюдается практически у всех разновидностей пылевато-глинистых и заторфованных грунтов независимо от их исходного физического состояния. Особенно ощущаемое изменение характеристик прочностных свойств наблюдается после взаимодействия с водой пылеватых суглинков и супесей со степенью влажности менее 0,8. В большинстве исследованных образцов водонасыщению вызывает уменьшение величины сцепления, тогда как величина угла внутреннего трения изменяется при этом незакономерно. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств грунтов при их обводнении, исследованные в условиях трехосного сжатия, представлены в таблице.

Таким образом, основными факторами, определяющими достаточно высокую интенсивность снижения показателей прочностных и деформационных свойств грунтов Тюменского Приобья при их обводнении слабоминерализованными водами, являются следующие:

- высокая гидрофильтрация содержащихся в грунтах коллоидно-дисперсных компонентов, представленных монтмориллонитом и реакционноспособными органическими соединениями;
- пониженная способность пылеватых глинистых грунтов к структурообразованию вследствие высокого содержания в их составе песчано-пылеватых фракций (65–70%) и высокая степень агрегированности частиц < 0,001 мм;
- специфический состав ионно-солевого комплекса грунтов, характерной особенностью которого является преобладание в обменном комплексе одновалентных катионов ( $K^+$  и  $Na^+$ ) и постоянное присутствие в составе поровых вод гидрокарбонатов и сульфатов щелочей, действующих как активные гидрофильтрующие стабилизаторы;
- неустойчивость в условиях избыточного увлажнения веществ, играющих роль цементов, представленных соединениями окисного железа и их комплексными соединениями с органическими кислотами;

— пресный и ультрапресный состав взаимодействующих с грунтами поверхностных и подземных вод гидрокарбонатно-натриевого и реже сульфатно-натриевого состава. Присутствующие в природных водах естественные "понизители прочности"  $\text{CaHCO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при их весьма малой концентрации являются одним из главных факторов, определяющих достаточно выраженный эффект снижения прочности грунтов даже при сравнительно небольшом увеличении в них влажности.

УДК 624.131.439.3

Я.Е. Шаевич  
(ПНИИС, Москва)

## ДЕГРАДАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СВЯЗИ С ИХ ОБВОДНЕНИЕМ

Одним из отрицательных факторов, связанных с хозяйственной деятельностью человека и существенно влияющим на инженерно-геологические свойства грунтов, является их постоянное замачивание. Интенсивная застройка площадок, еще недавно с ненарушенным природным рельефом, неурегулированный поверхностный сток, утечки из различного вида коммуникаций, нарушение динамики движения подземных вод свайными полями приводят к резкому повышению уровня подземных вод и, как результат, к обводнению грунтов и их деградации. Выражается это в изменении состава, структуры и физико-механических свойств в худшую сторону.

Рассмотрим отмеченное выше на примере одной из площадок в районе Новосибирска, расположенной в пределах III надпойменной террасы р. Оби. Еще 15–20 лет тому назад здесь до глубины 4–6 м от поверхности залегали маловлажные и влажные, легкие и средние суглинки светло-коричневого и темно-палевого цвета с ярко выраженной макропористостью, налетами и гнездами карбонатов, преимущественно твердой консистенции. Уровень грунтовых вод фиксировался на глубине 6–8 м. За эти годы в силу причин только антропогенного характера уровень подземных вод резко изменился и сейчас отмечается на глубине 1,5–2,0 м от поверхности. Длительное обводнение резко изменило облик пород. Теперь скважины вскрывают те же суглинки, но уже темно-коричневого и темно-бурового цвета, тяжелые, слитные, без видимых макропор, сильно ожелезненные, слабо реагирующие на действие  $\text{HCl}$ , пластичной и текучей консистенции. Комплексное изучение этих пород в течение многих лет выявило не только макроскопические различия, но и существенные изменения состава, структуры и свойств. Для удобства дальнейшего изложения будем именовать грунты до замачивания "средними суглинками", после обводнения "тяжелыми суглинками".

Таблица 1

Изменение основных физико-механических показателей грунтов (по данным 63 определений)

Наимено- вание грунта	Природная влажность	Число пла- стичности	Плотность, гс/см <sup>3</sup>	Модуль де- формации, МПа	Удельное сцепление, МПа	Угол внут- реннего трения, град.
Суглинок средний	$0,16 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,01$	$1,62 \pm 0,04$	$4,1 \pm 3,1$	$0,41 \pm 0,04$	$26,2 \pm 3,1$
Суглинок тяжелый	$0,25 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$	$1,76 \pm 0,03$	$3,6 \pm 1,8$	$0,24 \pm 0,03$	$24,7 \pm 2,6$

В изученных породах присутствуют как первичные кластогенные, так и вторичные глинистые минералы. Для минералогического состава средних суглинков в отличие от тяжелых характерен более низкий выход тяжелой фракции и в ней более низкое содержание эпидот-циозита, более высокое содержание минералов, устойчивых к выветриванию (граната, циркона, рутила, сфена, турмалина), а также несколько повышенное содержание метаморфических минералов (дистена, шпинели, силлimanита и аутигенного лимонита). Легкая фракция слагается аллотигенным комплексом минералов и аутигенным карбонатом. Здесь для среднего суглинка характерны более высокая карбонатность, значительно меньшее содержание кварца и полевых шпатов и повышенное содержание слюд.

Глинистые минералы в средних суглинках представлены в основном гидрослюдой (32%), каолинитом (7%), кальцитом, палыгорским и др. В тяжелых суглинках преобладает каолинит (28%) и гидрослюда (13%). В средних суглинках водородный показатель (рН) колеблется в пределах 7,1–7,4, в тяжелых – 6,5–6,9.

В результате обводнения грунтов значительно изменились физико-механические показатели, о чем свидетельствуют данные табл. 1.

Чем же объяснить ухудшение деформативных и прочностных характеристик? Известно, что свойства грунтов тесно связаны с их структурой. Проанализируем изменение структуры средних суглинков в связи с их обводнением.

По классификации И. М. Горьковой [1], образовавшиеся в результате деградации средних суглинков тяжелые суглинки по содержанию частиц размером менее 0,05 мм (47,4–56,9% при максимальной пептизации) относятся к высокодисперсным породам в отличие от средних суглинков, отнесенных по тем же критериям к смешанным и пылеватым породам (частиц  $d < 0,005$  мм – 31–39%).

Высокая дисперсность тяжелых суглинков, казалось бы, должна способствовать значительному увеличению сил молекулярного притяжения и, как результат, увеличению прочности. Однако следует отметить, что существует какой-то предел положительной роли дисперсности, за которым следует снижение прочности породы, что наблюдается в конкретном случае. Е. М. Сергеев [3] подобные явления объясняет тем, что "с ростом дисперсности породы увеличиваются силы молекулярного притяжения и одновременно с этим силы электростатического отталкивания".

Взаимоотношение в изученных породах песчано-пылеватых частиц с тонкодисперсной и коллоидной цементирующей составляющими, позволяет отнести, по А. К. Ларионову [2], средние суглинки к агрегативному, а тяжелые — к пылевато-плечатому классу.

Известно, что пылеватые породы в силу своей меньшей дисперсности, рыхлости и преобладания точечной цементации между зернами значительно менее прочные и более предрасположены к сжимаемости, чем высокодисперсные.

Сложным вопросом при исследовании глинистых пород пока остается определение характера структурных связей. При изучении этого структурного показателя нами в основном использовались методики, предложенные И. М. Горьковой и А. К. Ларионовым, базирующиеся на физико-химических и литолого-грунтоведческих представлениях. И. М. Горькова определяет тип структурных связей на основании величины коэффициента агрегированности  $K_a$  для частиц менее 0,001 и 0,005 мм. Этот показатель определяется по отношению процентного содержания частиц менее 0,001 и 0,005 мм гранулометрического и микроагрегатного состава. При этом гранулометрический состав определяется в условиях наибольшей возможной пептизации частиц породы при сочетании физико-химического воздействия и механического — путем длительного и тщательного растирания образца, имеющего вид густого теста, в растворе пироfosфата. Микроагрегатный состав определяется после суточного замачивания и двухчасового взбалтывания образца в дистиллированной воде. В табл. 2 приведены предельные значения показателя  $K_a$  для изученных пород.

Данные табл. 2 показывают, что средние суглинки более агрегированы и в силу этого обладают меньшей сжимаемостью. Следует отметить, что и прочность самих микроагрегатов (при условии сохранения в породе естественной влажности) в средних суглинках больше. Этому способствует значительное содержание в глинистой части породы монтмориллонита и монтмориллонитизированной гидрослюды. Пылевато-песчаная часть средних суглинков также сильно агрегирована, что несомненно оказывает влияние на особенности механических свойств. Общее содержание микроагрегатов, степень их сохранности в воде и характер структурных связей по А. К. Ларионову отражены в табл. 3.

Таблица 2

Коэффициент агрегированности и тип структурных связей грунтов (по И. М. Горьковой)

Наименование грунтов	$K_a$		Тип структурных связей
	$< 0,001$ мм	$< 0,005$ мм	
Суглинок средний	5,3–7,9	2,9–4,0	Смешанный коагуляционно-конденсационный
Суглинок тяжелый	4,2–5,6	2,6–3,7	Смешанный конденсационно-коагуляционный

Таблица 3

Содержание микроагрегатов и характер структурных связей грунтов

Наименование грунтов	Содержание агрегатов, %			Характер структурных связей
	общее	водоустойчивых	водопрочных	
Суглинок средний	53–68	17–21	2,4–3,1	Коагуляционный и смешанный коагуляционно-кристаллизационный
Суглинок тяжелый	46–52	11–15	1,2–2,6	Смешанный коагуляционно-кристаллизационный

Более высокая общая агрегированность средних суглинов благоприятствует сопротивлению породы сжимаемости при естественной влажности.

Большое влияние на механические свойства пород оказывает их микротекстура. Количественные микротекстурные показатели, по В. С. Шибаковой [4], оцениваются коэффициентом ориентировки частиц  $C$  и коэффициентом относительной упорядоченности  $U$ . Известно, что чем ниже ориентировка частиц и упорядоченность микроструктуры, тем большее сопротивление сдвигу оказывают породы. Это положение

подтверждается результатами проведенных исследований: у тяжелых суглинков оба коэффициента находятся в пределах от 0 до 3%, что свидетельствует о чрезвычайно низкой ориентировке частиц и о слабой упорядоченности микротекстуры. У средних суглинков колебание этих показателей составляет 8–14%, т. е. наблюдается более высокая ориентировка частиц и упорядоченность микротекстуры. Соответственно и значения сдвиговых показателей для суглинков средних выше, чем для пород, прошедших стадию деградации.

Выполненные исследования наглядно показали, что антропогенные факторы оказывают существенное влияние на изменение состава, структуры и свойств дисперсных пород, чаще всего ухудшая их инженерно-геологические свойства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горькова И. М. Комплексная оценка инженерно-геологических свойств глинистых и лесовых пород. М.: Наука, 1969. 119 с.
2. Ларионов А. К. Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых осадочных пород. М.: Недра, 1966. 327 с.
3. Сергеев Е. М. Методические основы грунтоведения. – В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1968, вып. 2, с. 5–16.
4. Шибакова В. С. Количественное изучение некоторых элементов микротекстуры глинистых пород. – В кн.: Вопросы методики лабораторного исследования физико-механических свойств грунтов. Л.: Недра, 1965, с. 114–117.

УДК 624.131.433

И.А. Брилинг, И.С. Пашковский  
(МГУ)

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОПЕРЕНОСА В СВЯЗИ С ПРОГНОЗОМ ВОДНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ

Прогноз водного режима грунтов в зоне аэрации служит основой для прогноза ряда строительных свойств грунтов. Влажность в зоне аэрации изменяется под действием различных естественных и искусственных факторов, влияющих на режим питания, испарения и динамику уровня грунтовых вод. Последний в большей степени связан с изменением условий на границе водоносного горизонта, что особенно проявляется при подпоре, вызванном гидротехническим строительством, орошении и осушении при мелиоративном строительстве и процессами подтопления под промышленными объектами.

Методы прогноза уровня подземных вод достаточно хорошо разработаны и широко применяются на практике. В меньшей степени разработаны методы прогноза водного режима зоны аэрации. Связано это не столько с техническими и математическими трудностями, возникающими при решении задачи, сколько с тем, что в зоне аэрации грунты находятся в сложном гидравлическом режиме, определяемом не только гидравлическими свойствами грунта, но и его физико-химическими свойствами, а также условиями, в которых он находится.

ющими при решении уравнения влагопереноса (алгоритмы и программы для этого процесса достаточно разработаны), сколько сложностью определения параметров этого процесса.

Миграция влаги в ненасыщенной породе подчиняется закону, предложенному Клютом, согласно которому плотность потока  $q$  пропорциональна градиенту напора, определяемого в основном суммой потенциалов влажности  $\phi$  и гравитации  $z$ , и коэффициенту влагопереноса  $K_H$ :

$$q = K_H \operatorname{grad}(\phi + z).$$

Это уравнение по основной своей идеи сходно с уравнением Дарси и поэтому чаще называется уравнением Дарси–Клюта.

Потенциал почвенной влаги обычно выражает давление, которым влага удерживается на поверхности частиц. Он зависит от влажности, поскольку чем меньше влажность, тем под большим давлением находится вода на минеральной поверхности и тем больше работы нужно затратить для удаления единицы массы воды из породы.

Коэффициент влагопереноса в уравнении Клюта по смыслу совпадает с коэффициентом фильтрации в законе Дарси, но зависит от влажности, резко падая при ее уменьшении.

В капиллярной области, по С. Ф. Аверьянову [1], связь  $K_H$  с влажностью можно представить функцией

$$K_H = K_\Phi \cdot \bar{\theta}^n,$$

где  $\bar{\theta}$  – степень насыщения капиллярной водой:  $\bar{\theta} = (\theta - \theta_0) / (\theta_m - \theta_0)$  ( $\theta$  – влажность;  $\theta_0$  – влажность при которой отсутствует капиллярное движение, т. е. это либо  $W_p$ , либо  $W_{\text{ММВ}}$ ;  $\theta_m$  – влажность полного насыщения). Причем для однородных частиц показатель  $n = 3,5$ . Для природных неоднородных пород этот показатель повышается. Если допустить постоянство  $n$  в зависимости  $K_H(\bar{\theta})$ , то исходным базовым параметром для расчета  $K_H$  служит коэффициент фильтрации  $K_\Phi$ . Оба параметра –  $K_H$  и  $\phi$  – изменяются в пределах 5–6 порядков от влажности полного насыщения до гигроскопической влажности. Даже такие сравнительно простые процессы, как промачивание зоны аэрации и скорость подъема уровня подземных вод, при увеличении их питания в значительной степени зависят от гидрофизических характеристик пород.

Время промачивания зоны аэрации, т. е. время достижения фронтом инфильтрационного потока уровня грунтовых вод с момента начала эксплуатации объекта, определяется по формуле

$$t_1 = \frac{L \mu_0}{\Delta W} \frac{\frac{n}{\sqrt{W_e - \Delta W}} - \frac{n}{\sqrt{W_e}}}{\frac{n}{\sqrt{K_\Phi}}}.$$

где  $W_e$  – питание подземных вод в естественных условиях;  $L$  – начальная глубина залегания уровня подземных вод.

Рассмотрим зону аэрации мощностью 10 м, сложенную суглинками с коэффициентом фильтрации  $K_{\phi} = 0,1$  м/сут, недостатком насыщения  $\mu_0 = 0,2$  и  $n = 4$ . Питание в естественных условиях примем 40 мм/год, а его приращение  $\Delta W = 60$  мм/год. Расчет времени промачивания дает  $t_1 = 0,5$  года, что соответствует наблюдаемому в действительности. Обычно начало подъема уровня при такой мощности зоны аэрации наблюдается в течение года или полугода после возникновения дополнительных потерь. После промачивания зоны аэрации уровень подземных вод будет подниматься. Темп этого подъема определяется величиной  $\Delta W$ , интенсивностью оттока в результате естественной дренированности территории  $v_e$  и недостатком насыщения  $\mu_H$ . С учетом всех этих параметров скорость подъема уровня  $U$  будет определяться по формуле

$$U = \frac{\Delta W - v_e}{\mu_H}.$$

За счет приращения влажности в зоне аэрации при изменении интенсивности влагопереноса коэффициент недостатка насыщения тоже будет меняться

$$\mu_H = \mu_0 \left( 1 - \sqrt{n \frac{W_e - \Delta W}{K_{\phi}}} \right).$$

Рассчитанное таким образом значение  $\mu_H$  может быть значительно меньше  $\mu_0$  и колеблется от 0,01 до 0,15, что значительно ниже, чем разность между полной и максимальной молекуллярной влагоемкостью, равной 0,2. При этом объемная влажность пород зоны аэрации  $\theta$  будет существенно зависеть от ее водо-физических свойств:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_m - \theta_0) \sqrt{n \frac{W_e + \Delta W}{K_{\phi}}}.$$

Например, при  $\theta_m = 0,4$ ,  $\theta_0 = 0,2$  значения  $\theta$  будут 0,26 и 0,32, соответственно при  $\frac{W_e + \Delta W}{K_{\phi}} = 10^{-2}$  и  $10^{-1}$  и  $n = 4$ . Этим же значениям соответствуют величины недостатка насыщения 0,14 и 0,08. В связи с

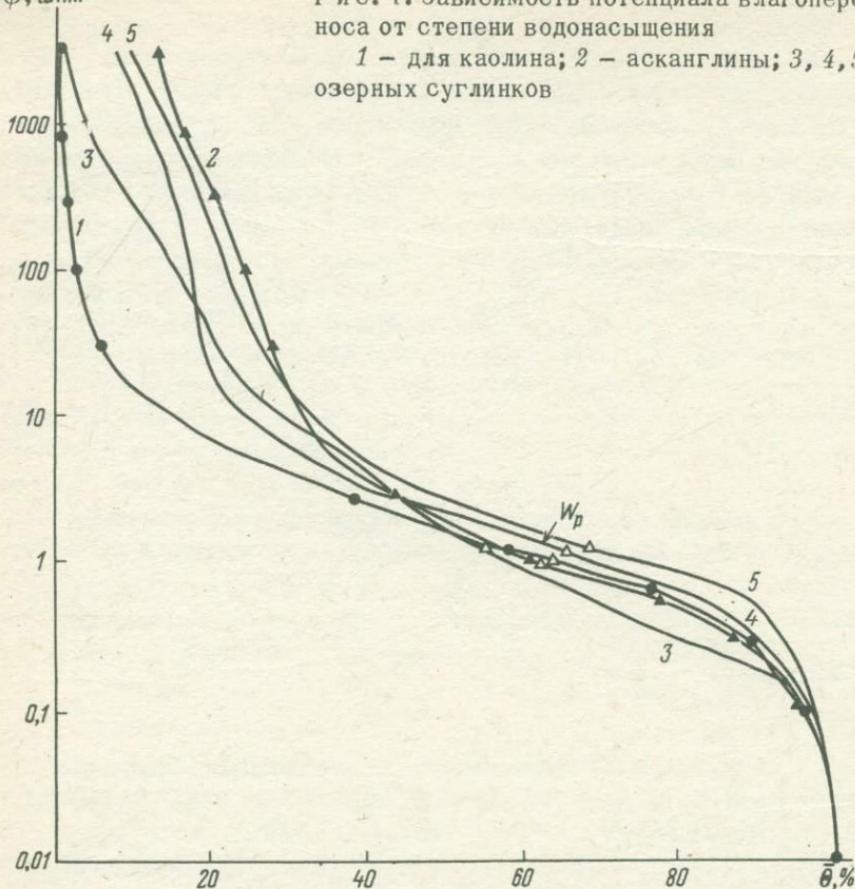
большим диапазоном давлений, в котором изменяется  $\phi$ , для получения этой зависимости приходится применять несколько разных методов, которые подробно описаны А. М. Глобусом [2].

В капиллярной области влажности нами были применены вакуумирование на керамическом фильтре, а также тензометры, а в адсорбционной области — адсорбционный метод. Поскольку функция  $\phi - \theta$  имеет

$\phi$ , атм

Рис. 1. Зависимость потенциала влагопереноса от степени водонасыщения

1 — для каолина; 2 — аскангины; 3, 4, 5 — озерных суглинков



гистерезис, то в зависимости от изучаемого процесса определяется либо ветвь иссушения, либо ветвь увлажнения, либо то и другое.

На рис. 1 представлены зависимости потенциала влагопереноса от степени водонасыщения (ветвь иссушения), полученные этими методами (вакуумированием, тензиометром и десорбцией паров воды) для глинистых пород Нечерноземной зоны РСФСР, а также для каолина и аскангины.

Обычно зависимости гидрофизических характеристик  $\phi$  и  $K_h$  от влажности определяются экспериментальным путем, но для решения некоторых практических задач достаточно оценить общий вид этих закономерностей. Для этой цели имеется ряд моделей пористых сред [3, 4], которые позволяют вывести эти зависимости теоретическим путем. Но для этого нужен ряд таких характеристик порового пространства, для определения которых в реальных грунтах нет надежных методов. Кроме теоретического подхода, некоторые авторы предлагают типизацию экспериментально полученных кривых на основании их идентичности.

Общий вид зависимостей  $\phi - \theta$  приводит к мысли, что их можно построить по характерным точкам, которые находятся экспериментально по стандартным методикам при определении водно-физических свойств грунтов, что может значительно сократить общий объем исследований.

Как видно из рис. 1, в области капиллярной влажности опорной точкой служит начало кривой при влажности полного насыщения, которая может быть определена как влажность набухания или рассчитана из величины пористости для ненабухающих пород. Второй опорной точкой можно принять ту степень насыщения, до которой все кривые сливаются, — это насыщение 96%, соответствующее давлению 0,1 атм. Третьей опорной точкой желательно взять точку перегиба кривой от капиллярной области влажности к пленочной. Это обычно влажность нижнего предела пластичности ( $W_p$ ), располагающаяся в диапазоне степени насыщения 60—80% и соответствующая давлению от 1 до 2 атм. Эта точка характеризует влажность и давление разрыва капиллярной связи. Некоторая приближенность в значениях давлений, характеризующих  $W_p$ , в известной степени делает неопределенным положение кривой графика функции  $\phi - \theta$  в среднем диапазоне влажности. Вопрос определения влажности разрыва капиллярной связи и соответствующего давления нуждается в дальнейших исследованиях. Четвертой и пятой опорными точками можно принять влажности и соответствующие им степени насыщения, получаемые по изотермам адсорбции водяных паров. По условию термодинамического равенства химического потенциала в жидкой пленке и равновесных с ней парах воды потенциал рассчитывается по известной формуле

$$\phi = \frac{RT\rho}{M} \ln p/p_s,$$

где  $R$  — газовая постоянная;  $T$  — температура;  $\rho$  — плотность воды;  $M$  — мольный объем;  $p/p_s$  — относительное давление водяных паров.

Расчетные значения  $\phi$  в зависимости от  $p/p_s$  следующие:

$p/p_s$	0,20	0,44	0,63	0,75	0,86	0,98
$\phi$ , атм	2290	1175	635	380	224	31,6

Исходя из общего вида кривых зависимости потенциала влагопереноса от влажности, представленных на рис. 1, в гигроскопической области, очевидно, достаточно двух точек, например при  $p/p_s = 0,98$  и 0,43, которые можно получить при высушивании над пересыщенными растворами  $K_2Cr_2O_7$  ( $p/p_s = 0,98$ ) и  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$  ( $p/p_s = 0,43$ ).

Коэффициент фильтрации глинистых пород обычно определяется в различных фильтрационных приборах, в которых размеры образца фиксированы. К недостаткам всех фильтрационных приборов относится необходимость вырезать точно подогнанный к стенкам прибора цилиндрический образец, и поскольку это очень трудно, то возникает опас-

ность пристенной фильтрации в обход образца. В фильтрационных приборах, кроме того, невозможно на одном образце определить фильтрационную проницаемость во взаимно перпендикулярных направлениях, что практически бывает очень важно. Размеры образца, используемого в фильтрационном приборе, невелики, и подчас они сопоставимы с масштабом неоднородности.

Стремясь избавиться от этих недостатков, мы определяем  $K_F$  глинистых пород Нечерноземной зоны РСФСР при помощи наливов в одно кольцо ( $d = 6$  см), вдавленное в верхнюю грань монолита (изолированного с боковых сторон) размером приблизительно  $20 \times 20 \times 20$  см<sup>3</sup>, что превышает объем образца, используемого в фильтрационных приборах, примерно в 100 раз. Кольцо практически не предохраняет поток от растекания, поэтому в расчетах  $K_F$  использовали среднюю площадь сечения потока  $s_n$ , которую можно определить по соотношению короткого и длинного пути фильтрации  $s_n = sa$ , где  $s$  — площадь сечения

$$\text{монолита; } a = \frac{2l_K}{l_K + l_{\text{дл}}} \quad (l_K - \text{самый короткий путь фильтрации из кольца до основания монолита, равный его высоте, } l_{\text{дл}} - \text{самый длинный путь фильтрации из кольца до основания монолита, проходящий от края кольца до основания монолита по самому дальнему его ребру).}$$

При испытаниях парафиновые оболочки монолита в основном сохраняются, за исключением отверстия для кольца и также частых проколов в нижней грани для обеспечения стока. Налив проводится до получения постоянного расхода воды на фильтрацию ( $Q$ ) и скорость фильтрации ( $v$ ) определяется из установившихся значений расхода

$$v = \frac{Q}{s_n t},$$

где  $t$  — время фильтрации.

Полученные значения  $v$  можно с небольшой погрешностью принять за  $K_F$ , так как слой воды в 1–2 см в кольце почти не увеличивает градиент фильтрации сверх единицы, а капиллярными силами в хорошо водонасыщенном монолите при установившемся режиме фильтрации можно пренебречь. После определения фильтрационных свойств в вертикальном направлении измеряли также фильтрационную проницаемость этого монолита в горизонтальном направлении. Для этого образец поворачивали на боковую грань, восстанавливали нарушенные парафиновые оболочки, врезали кольцо в обнаженную верхнюю грань и вели определения в том же порядке. По окончании испытаний из монолитов были вырезаны образцы для определения  $K_F$  в фильтрационных приборах, в которых площадь потока фиксирована и совпадает с сечением образца. Эта проверка подтвердила эффективность применяемой методики.

$K_{\phi} \cdot 10^4, \text{м/сут}$								Порода
0								Покровные суглинки
10								Морские глины
20								Озерно-ледниковые ленточные глины
30								Озерные суглинки
40								Озерные глины
50								Моренные суглинки
60								
70								

Рис. 2. Диапазоны изменения коэффициентов фильтрации четвертичных глинистых пород Нечерноземной зоны РСФСР

1 – при вертикальном направлении потока воды; 2 – при горизонтальном

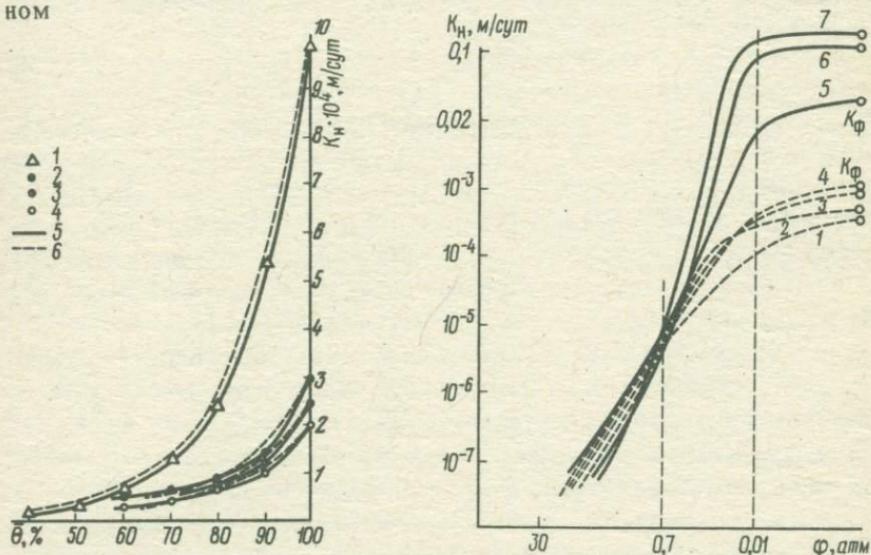


Рис. 3. Зависимость коэффициентов влагопереноса от насыщенности пород капиллярной водой

1 – для каолина; 2 – озерно-ледникового; 3 – озерного и 4 – моренного суглинков; 5 – полученные экспериментально и 6 – расчетом

Рис. 4. Зависимость коэффициента влагопереноса от потенциала влажности

1 – для моренного суглинка; 2, 3 – озерно-ледниковых ленточных глин; 4 – каолина; 5, 6, 7 – для суглинков по данным работы [7]

Коэффициенты фильтрации были определены на глинистых породах Нечерноземной зоны РСФСР – в основном в бассейне р. Онеги, а также Архангельской, Московской и Псковской областях. По результатам этих определений построена диаграмма фильтрационных свойств в вертикальном и горизонтальном направлении потока. Как показывает диаграмма на рис. 2, диапазон изменения фильтрационных свойств в горизонтальном направлении больше, чем в вертикальном. Горизонтальная неоднородность вызвана переслаиванием слоев различной степени дисперсности, а вертикальная – вертикальными порами, трещинами, беспорядочными включениями, фациальными замещениями. Для исследуемых пород переслаивание явилось самым существенным фактором, влияющим на фильтрационную неоднородность пород.

Для получения экспериментальной зависимости  $K_H$  от влажности в капиллярной области и сопоставления этой зависимости с теоретической, установленной С. Ф. Аверьяновым, использовалась методика, предложенная в работах [5, 6]. На рис. 3 показаны зависимости  $K_H - \bar{\theta}$ , рассчитанные по С. Ф. Аверьянову, исходя из экспериментально полученного значения  $K_\phi$  и используя  $n = 5$ , а также экспериментально полученные зависимости на тех же монолитах. Результаты показывают хорошую сходимость экспериментальных и теоретических зависимостей при  $n = 5$ .

Зависимость  $K_H - \phi$ , построенная во всем диапазоне изменения давлений, а следовательно, и влажностей, имеет достаточно единообразный вид (рис. 4). От области с высокими давлениями, т. е. от сухого состояния до давления  $\sim 0,7$  атм, кривые, построенные в билогарифмическом масштабе, практически сливаются в единую прямую для грунтов с самыми различными водно-физическими свойствами, а ниже  $0,7$  атм они расходятся, стремясь каждая к своему значению  $K_\phi$ . На рис. 4 приведены данные для образцов пород Нечерноземной зоны РСФСР, каолина, аскангины, а также данные работы [7].

В настоящей работе мы не стремились детализировать отдельные особенности изменения изучаемых параметров, а старались представить их в общем, характерном виде, которому как ориентиру в общих чертах должны следовать изменения гидрофизических характеристик и для других грунтов. В связи с этим мы рекомендуем полученные результаты как методику для ориентировочных оценок параметров влагопереноса во всем диапазоне влажности грунта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Зависимость водопроницаемости почво-грунтов от содержания в них воздуха. – ДАН СССР, 1949, № 2, с. 34–45.
2. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л. Гидрометеоиздат, 1969. 307 с.
3. Laliberte G.E. A mathematical function for describing capillary pressure-desaturation data. – Bull. of Scienc. Hydrol. BIASH, 1969, N 2, p. 131–138.

4. Полубаринова-Кочина П.Н., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н. Математические методы в вопросах орошения. М.: Наука, 1969. 414 с.
5. Bruce R.R., Klute A. The measurement of soil moisture diffusivity. — Soil Science Soc. of American proc., 1956, vol. 20, N 4.
6. Gardner W.R., Mklieh F.L. Unsaturated conductivity and diffusivity measurement by a constant flux method. — Soil Science Soc. of American proc., 1962, vol. 93, N 489.
7. Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М.: Мир, 1971. 451 с.

УДК 624.131:551.340

Н.А. Платов, Б.Т. Трофимов, И.Г. Коробанова  
(ПНИИСС, Москва)

## АКТИВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СОЛИФЛЮКЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Открытие геологами месторождений газа и нефти на севере Западно-Сибирской плиты вызвало интенсивное народнохозяйственное освоение этой территории. Освоение месторождений потребовало применения современной, мощной техники, способной быстро и эффективно решать вопросы, связанные с добычей полезных ископаемых, с транспортировкой их на расстояние, а также вопросы, связанные с обеспечением строительства различных промышленных и гражданских объектов, объем которых в последнее время резко возрос. Это, естественно, повлекло за собой изменения в природной геологической среде наиболее интенсивно осваиваемых территорий, выразившиеся в первую очередь в активизации разнообразных мерзлотных геологических процессов и явлений.

Настоящие исследования связаны с изучением состава, состояния и свойств грунтов, подвергшихся солифлюкционному смещению в результате непосредственной хозяйственной деятельности человека. Они проводились в центральной части п-ова Ямал — районе оз. Нейто (истоки р. Сеяхи). Изучаемая территория относится к зоне практически сплошного распространения низкотемпературных ( $<-7^{\circ}\text{C}$ ) многолетнемерзлых пород большой мощности ( $>300\text{ м}$ ). Многолетнемерзлые грунты развиты повсеместно с поверхности, причем глубина сезонного протаивания не превышает  $0,6-0,8\text{ м}$ . Участок представляет собой слабо-всхолмленную равнину и относится к области разновысоких, в значительной степени расчлененных, средне- и верхнечетвертичных морских равнин. Крутизна склонов в долинах рек и ручьев изменяется от  $2-3^{\circ}$  до  $10-12^{\circ}$ , причем процессы солифлюкции наблюдаются в принципе на склонах любой крутизны (выше  $2-3^{\circ}$ ), но наиболее интенсивно они проявляются на выпукло-вогнутых склонах, имеющих крутизну более  $5^{\circ}$  и

южную, юго-восточную и юго-западную экспозицию. На склонах северной экспозиции процессы солифлюкции в естественных условиях проявляются реже, однако они могут быть вызваны человеком в результате нарушения естественного геодинамического равновесия. Хорошо известно, что процесс солифлюкционного смещения зависит главным образом от следующих факторов: крутизны склона, состава отложений деятельного слоя, характера растительности, мощности сезоннопротаивающего слоя, его влажности, плотности и т. д. Значительная роль в развитии и активизации данного процесса принадлежит хозяйственной деятельности человека.

Обследование левого берега р. Сеяхи (в месте ее истока из оз. Нейто) на протяжении около 2–3 км показало, что на этом участке в естественных условиях процессы солифлюкции не развиваются. Однако в ряде мест прослеживаются современные солифлюкционные смещения довольно значительной площади, спровоцированные деятельностью человека. Движение тяжелого гусеничного транспорта, необходимого для обеспечения разведочных работ, вызвало в ряде мест подрезку склонов (рис. 1), нарушение растительного покрова и, как следствие этого, уменьшило потенциальную устойчивость склонов. Все это наряду с вибрационным воздействием движущегося транспорта на структурно-неустойчивые практически водонасыщенные глинистые грунты привело к интенсификации развития процесса солифлюкции.

Медленное вязкопластическое течение переувлажненных глинистых отложений вниз по склону приводит к образованию сплыков, натеков, террасовидных уступов, широких шлейфов на перегибах склонов. Солифлюкционные отложения образуют небольшие по размеру запруды (рис. 2) в нижней выложененной части склонов, где движение солифлюкционных масс прекращается.

Изучение строения отложений, склонных к солифлюкции, на левом берегу р. Сеяхи показало, что разрез их сверху вниз следующий:

1. Торфяно-моховый слой (мощностью 3–5 см), скрепленный угнетенной кустарниковой растительностью, представленной багульником и полярной ивой. Высота кустарникового яруса не превышает 0,25–0,3 м.

2. Суглинок серый, мягкотекущий до текучепластичного, прослеживаются макропоры и вертикальные (морозобойные) трещины, пронизан корнями растений, обладает тиксотропными свойствами (разжижается при механическом воздействии), встречены гнезда оглеения. На контакте с нижележащими породами прослеживаются гнезда и карманы песчаного материала, находящегося в водонасыщенном состоянии. Мощность 45–65 см.

3. Суглинок сизовато-серой окраски, мягкотекущий консистенции, точечно и пятнисто ожелезнен, наблюдается комковатая текстура, встречены мелкий гравий и галька. Глубина пропитания достигает 0,8 м, ниже суглинок находится в многолетнемерзлом состоянии.

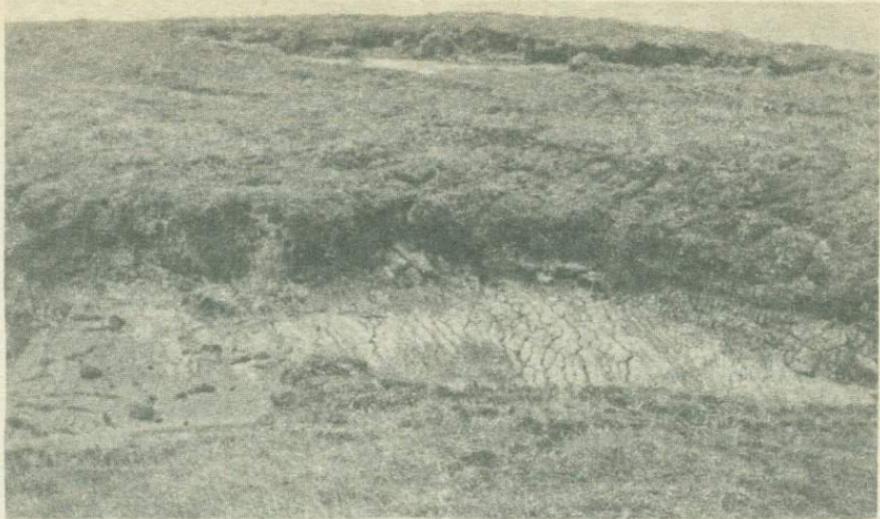


Рис. 1. Характер солифлюкционного смещения на левом берегу р. Сеяхи (на переднем плане видна подрезка склона гусеничным транспортом)

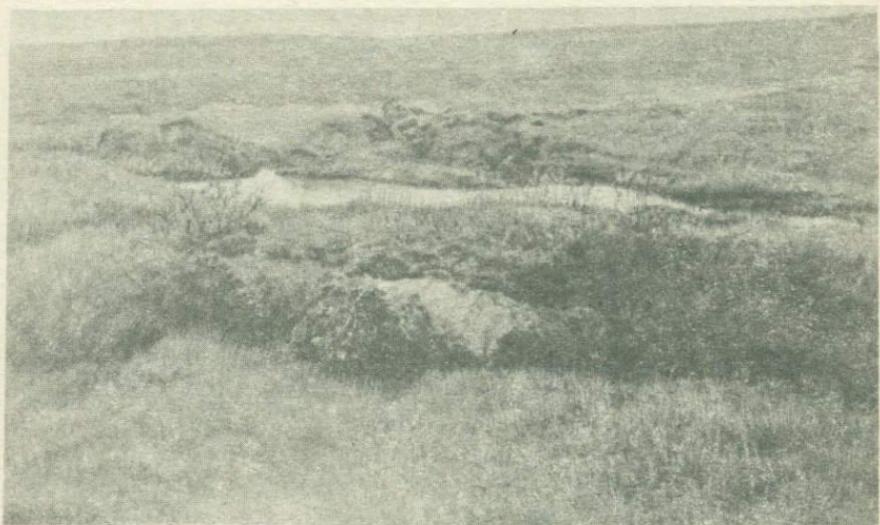


Рис. 2. Запруда, образованная солифлюкционными отложениями в нижней части склона

нии и обладает в верхней части ( $0,2$  м) массивной криогенной текстурой.

Поверхность солифлюкционного смещения наблюдается, как правило, на контакте между слоем 2 и 3, в некоторых местах смещение происходит по поверхности многолетнемерзлых грунтов.

Грунты, склонные к солифлюкции (верхний горизонт) по результатам гранулометрического анализа содержат глинистой фракции (мень-

ше 0,005 мм) более 50%, причем содержание коллоидных частиц достигает 17,7%. Содержание пылеватой фракции (0,05–0,005 мм) в этих грунтах составляет 22%. Песчаные фракции представлены мелким и тонким песком и соответственно составляют 17,7 и 5,5%. Сравнение результатов гранулометрического и микроагрегатного анализов показало, что выход глинистой фракции (менее 0,005 мм) при микроагрегатном анализе снижается примерно в 1,5 раза. Причем коэффициент агрегированности этих же грунтов для фракции менее 0,001 мм составляет 5,4. В связи с этим можно сказать, что данные грунты, по классификации И. М. Горьковой, имеют коагуляционный тип структурных связей.

Эти грунты относятся к суглинкам с числом пластичности 14. Подстилающие грунты (нижний горизонт) относятся к суглинкам с числом пластичности 16. Содержание частиц менее 0,005 мм достигает в них 43%, причем на долю фракции менее 0,001 мм приходится 18,4%. Количество пылеватых частиц обычно не превышает 20%. По сравнению с верхним горизонтом несколько увеличивается содержание мелкого и тонкого песка, соответственно до 19,7 и 15,5%. Коэффициент агрегированности для частиц менее 0,005 мм составляет 3,6, а для частиц менее 0,001 мм – 1,9, что характеризует эти грунты как грунты с пластифицированно-коагуляционными структурными связями.

Химический состав воднорастворимых солей изучался при помощи водных и солянокислых вытяжек. Установлено, что содержание легко-растворимых солей в исследованных грунтах сравнительно невелико.

В водных вытяжках грунтов верхнего горизонта преобладают анионы  $\text{Cl}^-$ , присутствуют анионы  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Среди катионов преобладают  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . Реакция среды поровых растворов щелочная рН 7,8. По результатам солянокислых вытяжек отмечается значительное содержание полупорочных окислов, присутствуют окиси железа и алюминия. В подстилающих грунтах наблюдается повышенное содержание катионов  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  и анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ . Содержание гумуса (в %), определенное по методу И. В. Тюрина, приведено ниже:

Глубина 0,3–0,4 м	– 1,41
Глубина 0,7–0,8 м	– 3,02.

Как видно, в грунтах, склонных к солифлюкции, содержание гумуса меньше, чем в подстилающих грунтах, по-видимому, вследствие выноса его поверхностными водами.

Минеральный состав исследованных грунтов (верхний и нижний горизонты) имеет однотипный облик. Песчано-алевритовый материал имеет полимиктовый состав с преобладанием зерен кварца различной формы, присутствуют полевые шпаты, обломки эфузивных пород. Отмечены неустойчивые к выветриванию минералы – хлорит и апатит. Рудные минералы – в основном пирит и гидроокислы железа. Глини-

стая составляющая представлена преимущественно гидрослюдой и крупными непрозрачными изометрическими зернами тонкодисперсного кварца. Иногда наблюдаются скопления гидроокислов железа, в незначительных количествах присутствуют каолинит и органическое вещество.

Физические свойства. Естественная влажность суглинков верхнего горизонта колеблется в пределах 32–43%. Она равна или выше влажности на границе текучести, а в некоторых случаях соответствует величине полной влагоемкости (40%). Это говорит о значительном содержании рыхлосвязанной и свободной воды в грунтах. Величина влажности на границе раскатывания равна 18,3%, число пластичности составляет 14. Суглинки являются слабо- и среднеуплотненными — объемный вес скелета грунта варьирует от 1,32 до 1,48 гс/см<sup>3</sup> (среднее значение 1,38 гс/см<sup>3</sup>), пористость колеблется от 46 до 52% (в среднем 49%) и соответственно коэффициент пористости изменяется в интервале 0,824–1,077 (в среднем 0,955). Степень водонасыщенности равна ~1,0.

Структурно-механические свойства. Прочность грунтов определялась при помощи конического пластометра Ребиндера с углом раскрытия конуса в 30° в естественном состоянии и после двухминутной вибрации. Прочность суглинков естественного сложения, склонных к солифлюкции, равна 0,097 МПа. После водонасыщения (40%) прочность по конусу снижается до 0,063 МПа. После вибрирования суглинков с естественной влажностью (33%) структурная прочность снижается до 0,084 МПа, затем постепенно восстанавливается и через сутки превышает первоначальную величину (0,12 МПа). В водонасыщенном состоянии структурная прочность при вибрационном воздействии падает до 0,041 МПа, спустя сутки прочность возрастает и достигает 0,053 МПа. Кинетика изменения прочности во времени показана на рис. 3. Величина прочности по конусу подстилающих грунтов в естественном сложении несколько больше и составляет 0,12–0,14 МПа.

Таким образом, грунты, склонные к солифлюкции, обладают наибольшей прочностью при влажности, меньшей, чем на границе текучести. При водонасыщении прочность структурных связей исследуемых грунтов резко падает, особенно это заметно после вибрационного воздействия. Изучив состав этих грунтов, структурные связи и прочность, мы приходим к выводу, что при оттаивании грунты до глубины 0,5–0,6 м в весенне-летний период приобретают значительное количество рыхлосвязанной и свободной воды, которая ослабляет литогенетически упрочненные коагуляционные структурные связи, а подстилающие грунты (с глубины 0,5–0,6 м), будучи еще в мерзлом состоянии, являются хорошей поверхностью скольжения даже при крутизне склона 1–2°. Второй фактор — давление расширяющейся при замерзании воды — вызывает нарушение коагуляционных связей и распад пространственного структурного каркаса грунтов до глубины 0,5–0,6 м. На склонах замерзшая свободная вода после оттаивания в летний период приобретает

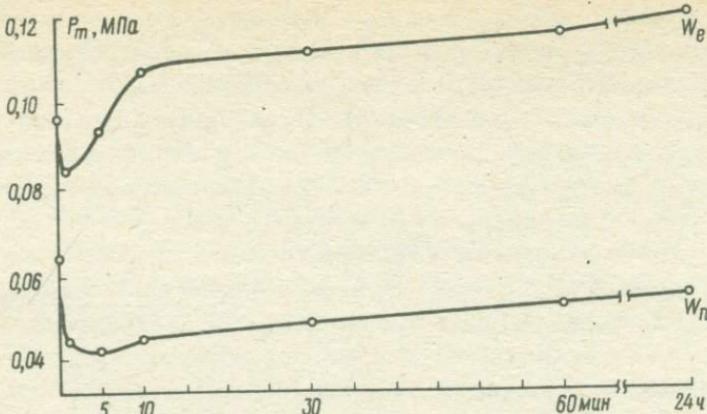


Рис. 3. Кинетика изменения прочности суглинков верхнего горизонта после вибрации

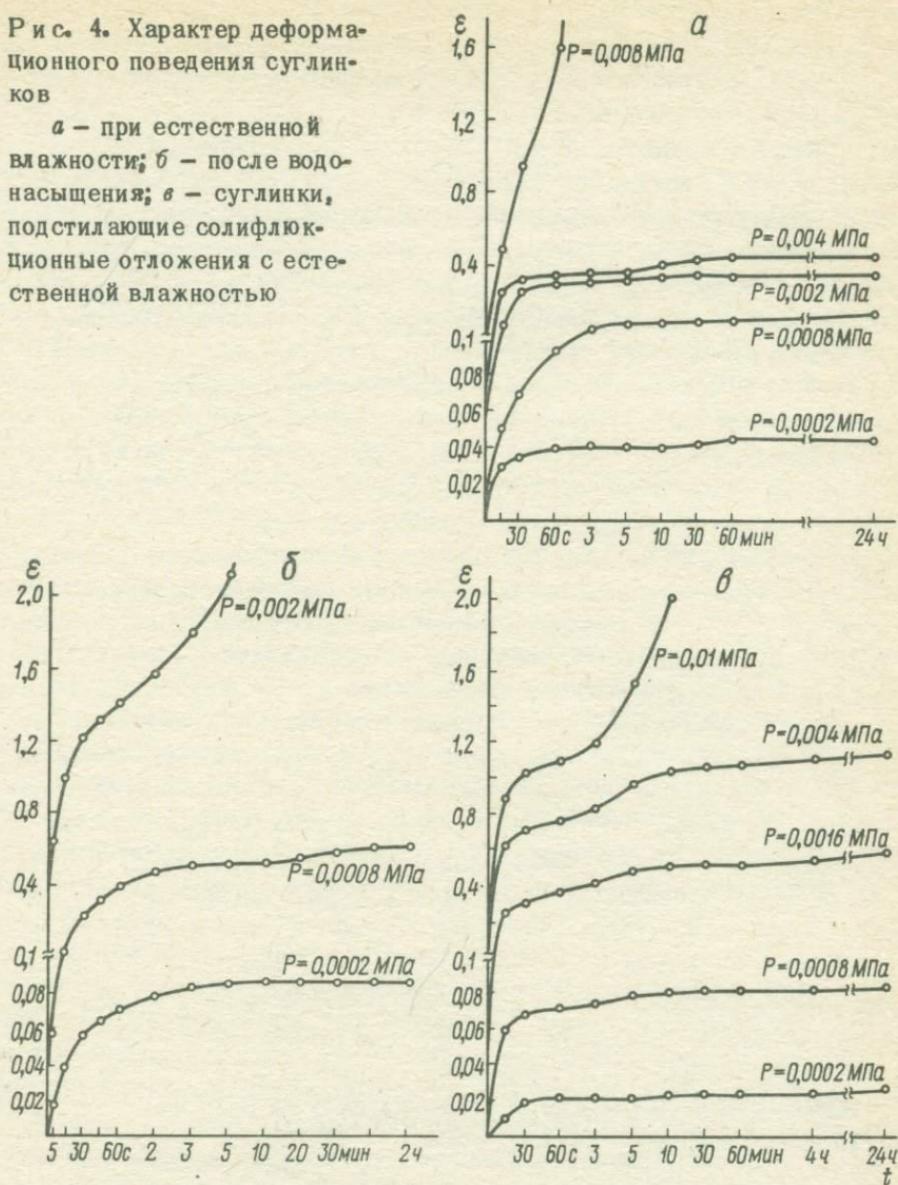
наибольшую подвижность и вытекает из грунтов через непромерзшие участки фронтальных уступов. Под фронтальными уступами солифлюкционных террас часто образуются запруды.

Структурно-механические свойства грунтов исследовались на сдвиговом приборе И. М. Литвинова, приспособленного для изучения "чистого" сдвига, без вертикальной нагрузки, т. е. по методу получения кривых кинетики развития деформации, под действием постоянных напряжений, возрастающих от опыта к опыту. Структурно-механические свойства характеризовались следующими независимыми друг от друга константами: модулями сдвига (условно-мгновенного модуля упругости  $E_1 = P/\epsilon_0$ , соответствующего быстрой эластической деформации, развивающейся после приложения напряжения сдвига  $P$ ; модуля эластичности  $E_2 = P/\epsilon_{\max}$ , соответствующего медленной эластической деформации; равновесного модуля  $E = P/\epsilon_{\max} - \epsilon_0$ , соответствующего полному развитию эластической деформации); условного предела текучести  $P_{k-1}$ , совпадающего с истинным пределом упругости; предела прочности  $P_m$ , условно соответствующего границе практически предельно разрушенной структуры; эластичности  $\lambda = E_1/(E_1 + E_2)$ ; вязкости  $\eta_0 = (P - P_{k-1})/d\epsilon/dr$ , наибольшей предельной вязкости, т. е. условно-постоянной вязкости практически ненарушенной структуры. Характер деформационного поведения исследованных грунтов показан на рис. 4.

Суглинки, склонные к солифлюкции, имеют следующие характеристики структурно-механических свойств. Условный предел текучести равен  $4,9 \cdot 10^4$  дин/см<sup>2</sup>. Величина условно-мгновенного модуля изменяется в пределах  $(1,6-4,5) \cdot 10^6$  дин/см<sup>2</sup>, модуль эластичности колеблется от  $1,7 \cdot 10^6$  до  $4,4 \cdot 10^6$  дин/см<sup>2</sup>, вязкость в среднем равна  $1,5 \cdot 10^{12}$  П, предел прочности  $2,0 \cdot 10^6$  дин/см<sup>2</sup>. На рис. 4, а показано развитие деформации суглинков верхнего горизонта во времени при естественной

Рис. 4. Характер деформационного поведения суглинков

*a* — при естественной влажности; *b* — после водонасыщения; *в* — суглинки, подстилающие солифлюкционные отложения с естественной влажностью



влажности. Характер кривых говорит о том, что в области малых нагрузок в течение 30–60 мин происходит разрушение структуры и развитие ползучести. При нарастании напряжений ( $0,002$ – $0,004$  МПа) начинается упрочнение грунта и затухание деформации ползучести. При дополнительном увлажнении (40%) суглинков в области малых нагрузок ( $0,0002$  МПа) происходит упрочнение структуры и развитие затухающей ползучести (см. рис. 4,*б*), а с увеличением напряжения до  $0,0008$  МПа структура грунта начинает разрушаться и развивается деформация ползучести с постоянной вязкостью  $4,3 \cdot 10^8$  П (стадия пластично-вяз-

кого течения), далее при нагрузке 0,002 МПа в интервале 5 мин со все возрастающей скоростью мы наблюдаем прогрессирующую ползучесть — эта стадия заканчивается полным разрушением структуры.

Деформационное поведение подстилающих суглинков, залегающих с глубины 0,6 м, однотипно (см. рис. 4, б). Этим грунтам характерна высокая эластичность. В области малых нагрузок (0,0002—0,0008 МПа) происходит упрочнение структуры в течение 30—60 с и развитие затухающей деформации. С увеличением напряжения сдвига (до 0,004 МПа) структура начинает разрушаться и в течение 3—4 ч развивается стадия установившейся ползучести примерно с постоянной скоростью и вязкостью  $5,4 \cdot 10^{-12}$  П (среднее значение). В интервале напряжений 0,008—0,01 МПа сначала мы наблюдаем деформации ползучести с постоянной скоростью, но примерно через один час прослеживается деформация со все возрастающей скоростью, т. е. она переходит в стадию прогрессирующего течения. При напряжениях сдвига более 0,01 МПа происходит полное разрушение структуры суглинков.

Высокая эластичность, течение с постоянной вязкостью, переходящей в прогрессирующую стадию, позволяют определить характер деформационного поведения как эластично-вязкого, что свойственно грунтам с пластифицированно-коагуляционными структурными связями, слабой и средней степени уплотнения и литификации.

Таким образом, изучение состава, состояния и физико-механических свойств грунтов показало, что они являются структурно-неустойчивыми грунтами, которые потенциально склонны к солифлюкции. Однако в естественных условиях смещение таких грунтов не происходит, и лишь при нарушении геодинамического равновесия солифлюкция начинает интенсивно развиваться.

УДК 624.131.439.7

В.Н. Кутергин  
(ПНИИС, Москва)

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ПРИ ВИБРАЦИИ

Развитие промышленности, транспорта и техники предполагает широкое применение технических средств, работающих в динамическом режиме, причем из года в год следует ожидать неуклонного роста масштабов этого процесса. Промышленные, энергетические объекты, транспортные средства, являясь источниками распространяющихся волн, служат, по выражению Д.Д. Барканы [2], своего рода источниками загрязнения окружающей среды. Для инженерной геологии особую важность приобретает вопрос о влиянии динамических воздействий на геологическую среду, под которой понимаются горные породы и почвы,

слагающие верхнюю часть литосферы и находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека [6]. При определенных условиях динамические воздействия могут привести к значительным осадкам, полной или частичной потере прочности грунтов. Эти условия определяются рядом внутренних, присущих грунту факторов (состояние, состав и строение грунтов), и внешних – параметров воздействия. Задачей настоящих исследований явилась оценка степени изменения прочности глинистого грунта при вибрации, а также изучение влияния на степень разупрочнения ряда внешних и внутренних факторов, а именно ускорения и частоты колебаний, а также влажности грунта.

Вопрос о снижении прочности при вибрации имеет особую важность для слабых грунтов, ибо дополнительное динамическое воздействие может привести к потере ими прочности вплоть до разжижения. Именно поэтому вопрос об изменении прочности при вибрации актуален для грунтов северной половины Западной Сибири, где определенные природные условия обусловили формирование сильнообводненных, структурно-неустойчивых грунтов и где в связи с освоением природных богатств края существуют широкие перспективы применения машин, механизмов, сооружений, действующих в динамическом режиме.

На основе проведенной инженерно-геологической типизации четвертичных отложений некоторых районов севера Западной Сибири для лабораторных экспериментальных исследований были отобраны образцы покровного суглинка ( $\text{edQ}_{3-4}$ ), обладающего при определенных условиях выраженным плывунными свойствами.

Для оценки устойчивости песчаных грунтов при динамическом воздействии существует показатель критического ускорения ( $a_{\text{крит}}$ ) как мера перехода грунта в разжиженное состояние, фиксируемого по максимальному повышению порового давления в грунте. Существуют также методы, позволяющие получить снижение расчетных прочностных характеристик грунта при вибрации (вибростабилометрия, вибросдвиг, виброскашивание). Нами был использован метод вдавливания при вибрации конусного штампа с углом раскрытия в  $30^\circ$ , позволяющий отметить момент разжижения грунта, оценить степень изменения прочности и на одном образце получить изменение прочности грунта при различных, возрастающих ступенями ускорениях колебаний. Этот метод также наиболее rationalен при изучении влияния различных факторов на степень разупрочнения грунтов. Моделирование вибрационных воздействий производилось при помощи виброЭлектродинамического стенда ВЭДС-100Б, позволяющего с большой точностью задавать, поддерживать постоянными и менять в широком диапазоне параметры вибрации. Глубина погружения конуса при вибрации регистрировалась при помощи индукционного датчика ДП-ЗСМ и комплекта виброизмерительной аппаратуры ВИ-6-6ТН. Величина и характер погружения конуса регистрировались автоматически на ленте самописца. Каждый опыт представ-

лял собой измерение прочности грунта в статических условиях и затем измерение прочности при приложении при постоянной частоте ступенями возрастающих ускорений колебаний. По величинам прочности в статических условиях и при действии вибрации рассчитывалось их отношение (коэффициент разупрочнения,  $K_p$ ), которое позволяет оценить степень изменения прочности грунтов. Исследования проводились на пастах, замешанных на дистиллированной воде, в состоянии полного водонасыщения ( $G > 0,8$ ).

При вовлечении грунта в знакопеременное относительно статического положения колебательное движение частицы грунта начинают двигаться с некоторым ускорением, определяемым величиной частоты и амплитуды колебаний. Ускоренное движение грунта вызывает появление соответствующих инерционных сил, которые стремятся вывести частицы грунта из положения равновесия. Величины ускорения и соответственно действующих инерционных сил, достаточных для выведения частиц из положения равновесия, будут определяться величинами сил, обуславливающих прочность грунта. Ускорение, при котором интенсивность связанного с ним силового воздействия нарушает устойчивость грунта, предложено называть критическим ускорением [1, 5]. Ю. А. Велли, изучая процесс снижения прочности глинистых грунтов при вибрации, выделил два пороговых ускорения [3]: первое, при котором начинается процесс снижения прочности, — ускорение предела структурной прочности при динамическом воздействии, второе — ускорение связности.

Проведенные нами исследования показали сложный характер зависимости снижения прочности от ускорения вибрации. На рис. 1 приведены характерные кривые изменения прочности грунта с различной влажностью при увеличении ускорения колебаний. В целом отмечается закономерное снижение прочности с увеличением интенсивности воздействия. В зависимости от влажности отмечается одно или два пороговых значения ускорения. При влажности глинистого грунта в области значений, близких к пределу раскатывания, пороговое ускорение, свидетельствующее о начале снижения прочности, достигает значения  $0,6 g$ . Для образцов с влажностью в интервале  $W_p < W < W_t$  величина первого критического ускорения лежит в интервале от 0 до  $0,2 g$ . Ввиду того что минимальное начальное ускорение, задаваемое вибростендом, составляет  $0,1 g$ , точную величину первого критического ускорения определить не удалось. При дальнейшем увеличении интенсивности воздействия снижение прочности увеличивается до некоторой величины, и при достижении второго критического ускорения прочность грунта резко падает, что свидетельствует о полной потере связности и его разжижении. В целом для грунтов с влажностью, не превышающей границу текучести, в процессе снижения прочности можно выделить три стадии: 1-я — величина ускорения не превышает первого критического, проч-

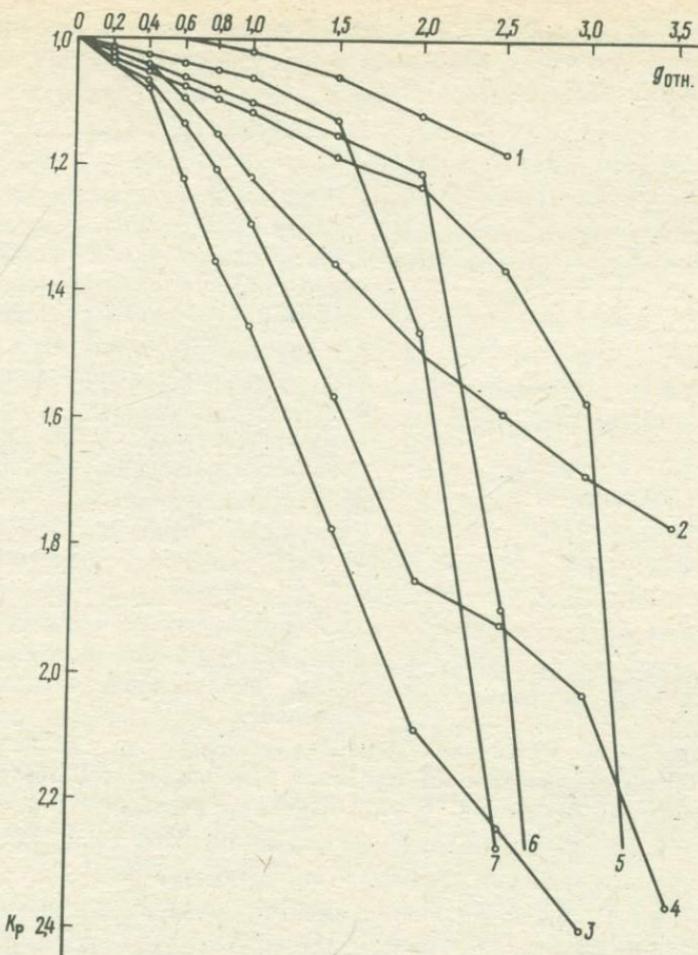
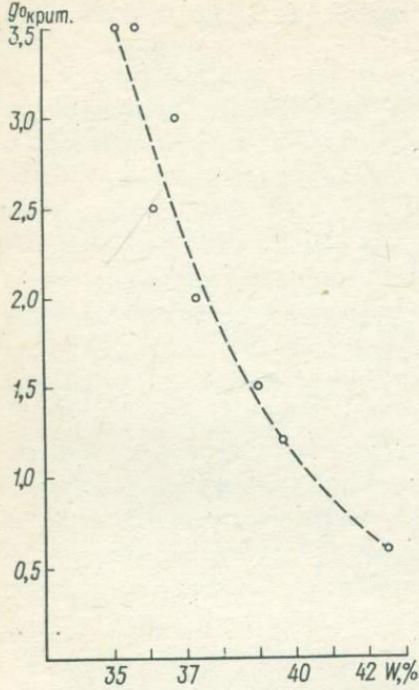


Рис. 1. Характерные кривые разупрочнения глинистого грунта различной влажности при вибрации ( $f = 10$  Гц,  $W_T = 31,2\%$ ,  $W_p = 22,5\%$ )

1 —  $W = 21,6\%$ ; 2 —  $23,5\%$ ; 3 —  $29,3\%$ ; 4 —  $30,8\%$ ; 5 —  $36,1\%$ ; 6 —  $37,3\%$ ; 7 —  $W = 39\%$

ность грунта не изменяется; 2-я — ускорение превышает первое критическое, снижение прочности грунта происходит до определенного значения; 3-я — ускорение превышает величину второго критического ускорения — прочность грунта резко снижается, грунт теряет связность и течет подобно вязкой жидкости. У паст с влажностью, значительно превышающей верхний предел пластичности, ввиду наличия лишь слабых коагуляционных связей на второй стадии изменение прочности незначительно и регистрируется лишь величина второго критического ускорения. Изменение второго критического ускорения (при  $f = 10$  Гц) в зависимости от влажности представлено на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость второго критического ускорения вибрации от влажности глинистого грунта



При изучении влияния частоты колебаний было уделено внимание резонансному режиму, ибо при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний резкое увеличение амплитуды и связанное с этим увеличение ускорения колебаний могут привести к значительному снижению прочности уже при небольших значениях ускорений задаваемых колебаний. Методические опыты по определению частоты собственных колебаний системы штамп—образец грунта (различные фракции песка, порошки и пасты суглинка) показали, что она уменьшается при увеличении дисперсности, увеличении влажности и ускорения задаваемых колебаний.

Изучение влияния частоты (в диапазоне 5–100 Гц) на прочность паст суглинка проводилось при вертикальном направлении колебаний. В этом случае не учитывались инерционные силы, действующие на конусный штамп, поэтому речь будет идти об эффективном значении прочности при вибрации. В каждой серии испытаний образцы при постоянной влажности подвергались колебаниям с различной частотой. Для каждой частоты была получена кривая изменения прочности с увеличением ускорения колебаний до  $g_{\text{отн}} = 1,5$ . Такие же серии экспериментов были проведены с образцами при других влажностях. Кривые зависимости величин разупрочнения грунта от его влажности при различных частотах колебаний и постоянном ускорении приведены на рис. 3. Наибольшее разупрочнение грунта при постоянной влажности отмечается при определенных частотах колебаний. Отмечается тенденция к увеличению частот колебаний, соответствующих наибольшему разупрочнению, при уменьшении влажности грунта. Если наибольшее разупрочнение грунта при влажности на границе раскатывания происходит при частоте колебаний 60–80 Гц, то величина частоты, соответствующая максимальному снижению прочности, на границе текучести составляет 20–30 Гц. Таким образом, увеличение степени разупрочнения при данной влажности с повышением частоты происходит до определенных значений частот, при превышении которых величина снижения прочности уменьшается.

Для исследования влияния влажности в широком диапазоне на степень разупрочнения грунта проводились испытания при горизонтальной вибрации при постоянной частоте 10 Гц. Полученные кривые изменения прочности глинистых паст при вибрации в зависимости от их влажности при различных ускорениях колебаний приведены на рис. 14. Эти кривые характеризуются двумя экстремумами. Первое, наибольшее значение разупрочнения глинистой пасты наблюдается в интервале проявления грунтом пластических свойств — между значениями влажности на пределе раскатывания и текучести.

Показатель разупрочнения ( $K_p$ ) характеризует степень снижения прочности, и его величина определяется либо значением начальной прочности грунта (чем больше начальная прочность, тем больше при достаточной интенсивности воздействия величина разупрочнения), либо величиной прочности грунта при вибрации. Очевидно, последняя при данном ускорении колебаний (не превышающем второго критического), начиная с определенного значения влажности, может достигать постоянного минимального значения. Тогда степень разупрочнения будет определяться величиной начальной прочности грунта. Чем выше начальная прочность образца, тем больше степень его разупрочнения, но следует подчеркнуть, что данная закономерность при постоянном ускорении сохраняется лишь до определенного значения влажности. При влажности ниже этого значения при данной интенсивности колебаний исходная прочность грунта изменяется меньше, ибо ускорение недостаточно для того, чтобы нарушить полностью связность грунта. При увеличении ускорения колебаний разупрочнение наблюдается при все более низкой влажности. Исследованиями Б. М. Гуменского установлено [4], что в связных грунтах при вибрации часть рыхлосвязанной воды может перейти в свободную. Таким образом, наряду с действующими на частицы грунта при вибрации инерционными силами перемещение частиц облегчается при увеличении толщины прослоек свободной воды в результате трансформации рыхлосвязанной воды в свободную. Количество переходящей в свободное состояние воды определяется для грунта данной влажности интенсивностью колебаний. Это объясняет тот факт, что при увеличении ускорения колебаний разупрочнение наблюдается у грунтов меньшей влажности.

При влажности выше границы текучести содержание свободной воды настолько велико, что увеличение ее содержания за счет рыхлосвязанной становится относительно малым — снижение прочности грунта незначительно. При достаточно высокой влажности и определенном ускорении колебаний ее содержание превышает предел связности — грунт начинает течь подобно жидкости, обладающей вязкостью, зависящей от степени концентрации грунтовых частиц. Регистрируемая данным методом вязкость постоянна при увеличивающихся значениях влажности и уменьшающейся степени концентрации частиц, что имеет место

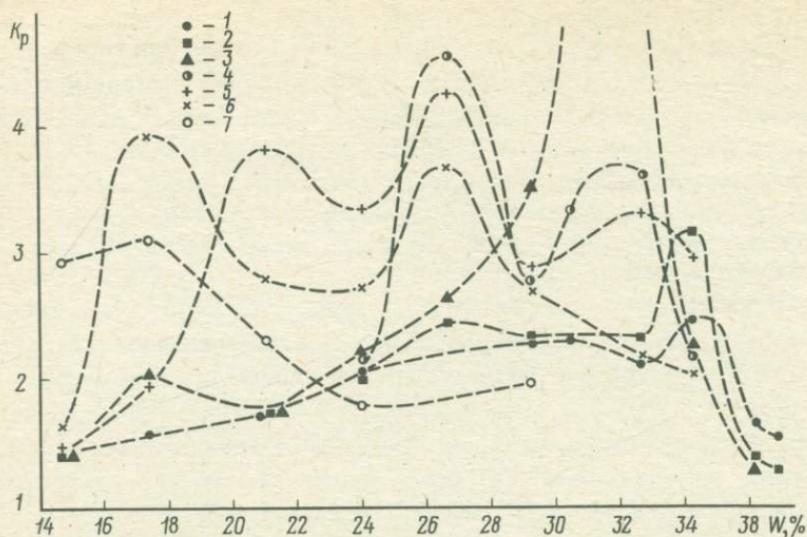


Рис. 3. Зависимость разупрочнения глинистого грунта от его влажности при различных частотах колебаний и постоянном ускорении ( $g_{\text{отн}} = 1,5$ )

1 – 5 Гц; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 60; 6 – 80; 7 – 100 Гц

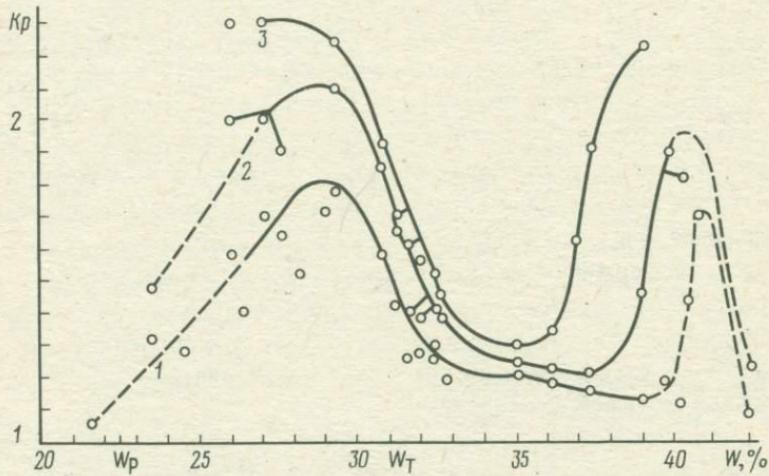


Рис. 4. Зависимость разупрочнения глинистого грунта при вибрации от влажности при различных ускорениях колебаний

1 –  $g_{\text{отн}} = 1,5$ ; 2 – 2,0; 3 – 2,5

только в силу ограниченной чувствительности метода при высоких влажностях.

Второй экстремум свидетельствует о полной потере прочности грунта при вибрации при определенной влажности. С увеличением ускорения колебаний величина влажности, при которой начинают проявляться плавунные свойства грунта, закономерно снижается. При данном ускорении структурные связи в грунте нарушаются полностью и прослойки свободной воды между частицами грунта утолщаются настолько, что грунт превращается в систему, где каждая частица, или агрегат частиц, или микроблок частиц оказывается обособленным от других структурных элементов.

Очевидно, при еще больших, все возрастающих ускорениях колебаний наблюдаемая на рис. 4 "яма" между двумя экстремальными пиками исчезнет и кривая будет характеризоваться наибольшим разупрочнением грунта при невысокой влажности и значительном ускорении. При таких условиях возможен резкий переход грунта в "плавунное" состояние, подобно высоковлажным грунтам или воздушно-сухому песку. Это состояние может наступить при хрупком разрушении жестких структурных связей в подобном грунте при достаточной интенсивности колебаний, распаде грунта по трещинам на отдельные блоки, способные к перемещению относительно друг друга.

Изучение изменения прочности глинистого грунта при вибрации показало сложный характер этого процесса и его обусловленность рядом различных факторов. При сохранении постоянными ряда факторов и наличии одной зависимой переменной в разупрочнении грунта наблюдаются следующие особенности.

1. При увеличении ускорения колебаний прочность грунта закономерно снижается. Отмечаются три стадии: неизменной исходной прочности, частичного разупрочнения, разжижения. Они разделяются двумя критическими ускорениями.

2. При увеличении частоты колебаний отмечается тенденция к снижению прочности до наименьшего значения при достижении определенных частот. При дальнейшем их увеличении степень разупрочнения уменьшается.

3. При изменении влажности наблюдаются две характерные области снижения прочности грунта: разупрочнения и полной потери прочности при определенных параметрах воздействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. М.: Стройвоенмориздат, 1948. 411 с.
2. Баркан Д.Д., Рашидов Т.Р. Состояние и развитие динамики оснований, фундаментов и подземных сооружений в течение последних пяти лет. — В кн.: Материалы III Всесоюз. конф. по динамике основ., фунд. и подз. сооружений. Ташкент: ФАН, 1975, с. 126—131.

3. Велли Ю. А. К вопросу о сейсмической устойчивости намывных ядерных плотин. — В кн.: Вопросы механики грунтов. Л., М.: 1958, вып. 128, с. 187—126.
4. Гуменский Б. М. Основы физикохимии глинистых грунтов и их использование в строительстве. Л.; М.: Стройиздат, 1965. 255 с.
5. Маслов Н. Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. М.: Госэнергоиздат, 1959. 328 с.
6. Сергеев Е. М. Инженерная геология — наука о геологической среде. — Инженерная геология, 1979, № 1, с. 3—19.

УДК 624.131.385

М.В. Аверочкина  
(ЦНИИ МПС, Москва)

## ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ГРУНТА НА ЕГО РАЗУПРОЧНЕНИЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

В грунтах, испытывающих воздействие кратковременных ударных нагрузок, происходит снижение значений прочностных характеристик с увеличением числа циклов динамических воздействий или ударов. Эта зависимость имеет затухающий характер. Например, в дорожном земляном полотне грунт испытывает подобное воздействие от колесных пар транспортных средств.

Одновременно с низкочастотными возникают вибрационные колебания с частотами порядка 40—70 Гц. Проведенные нами опыты показали, что и в этом случае зависимость прочности грунта от числа циклов вибонагружений также имеет характер затухающей кривой. При каком-то предельном числе вибонагружений определенной интенсивности снижения прочности практически больше не происходит. Чем больше это число, которое можно принять за показатель вибростойкости грунта, тем более грунт противостоит динамическому воздействию. Настоящая статья ставит своей целью показать значение состояния грунта для его вибростойкости.

Одним из наиболее важных свойств грунта, определяющих его вибростойкость, является влажность. Режим влажности, создающийся при строительстве и поддерживаемый в течение эксплуатации сооружения, обусловливает в дальнейшем прочность и устойчивость грунтов, испытывающих действие динамических нагрузок. Для оценки влияния влажности на степень снижения прочности грунта при циклическомложении вибрационных нагрузок были выполнены специальные лабораторные испытания сопротивления сдвигу грунта при вибрации. Методика испытаний имитировала поведение под динамической нагрузкой (поезда) ограниченного образца грунта внутри массива, причем интенсивность нагрузки соответствовала жестким условиям, без возможности восста-

повления прочности после снятия нагрузки. Продолжительность действия вибраций, равная среднему времени прохождения поезда, принималась за один цикл вибронагружения. Частота вибрации виброплатформы сдвигового прибора составляла 53 Гц, амплитуда колебаний — 0,05—0,07 мм. Один цикл вибронагружения означал вибрацию образца в течение 1 мин, затем отдых в 1 мин и далее срез образца во время вибрации. Максимальное число вибронагружений, исходя из особенностей прибора, принималось 10—12. Образцы двух видов грунтов — пылеватого суглинка (с пределом текучести 30% и числом пластичности 19) и супеси (с пределом текучести 20% и числом пластичности 14) — готовились при различных значениях исходной плотности и влажности. Кроме того, испытания образцов проводились в двух состояниях: сразу после их оттаивания (образцы промораживали при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  без подтока влаги) и без предварительного промораживания.

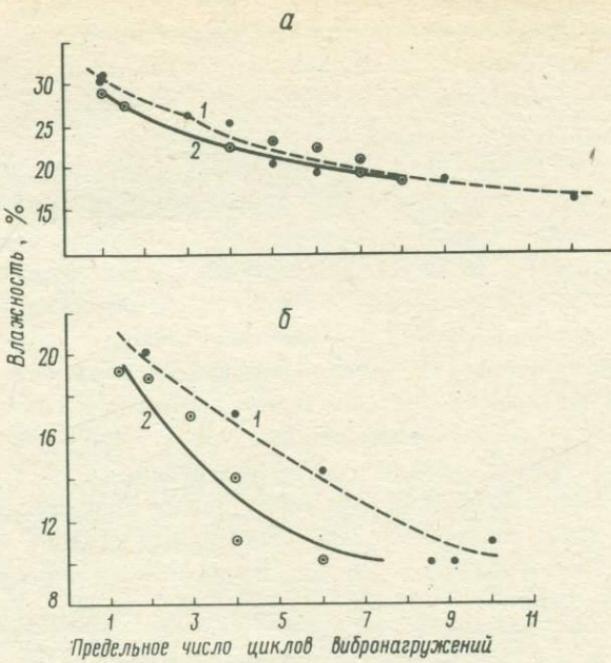
По данным сдвиговых испытаний строились графики зависимости сцепления грунта от числа циклов вибрации для каждого значения влажности-плотности образцов. По этим зависимостям определялось число циклов вибраций, после превышения которого прочность грунта больше не снижалась и которое принималось за предельное число циклов вибронагружений. Результаты опытов с двумя разновидностями грунтов в виде зависимости предельного числа вибронагружений от влажности показаны на рисунке.

Учитывая определенную условность лабораторных опытов, можно тем не менее отметить следующее:

- предельное количество циклов вибронагружения увеличивается с уменьшением исходной влажности;
- оттаивающий грунт имеет меньшую (особенно видно в опытах с супесью) вибропрочность при одинаковой исходной влажности с непроморажившимся грунтом;
- кривые зависимости влажность—предельное число циклов вибронагружений имеют затухающий характер; при достижении значений влажности, соответствующих примерно пределу пластичности, происходит менее интенсивное увеличение предельного числа циклов вибраций с уменьшением исходной влажности грунта.

Испытания показали, что сохранение грунтов устойчивыми в отношении динамической нагрузки возможно при принятии эффективных мер по их осушению или по укреплению. Так, при обработке суглинистого грунта с начальной влажностью 25,5% вяжущим (негашеной известью) в количестве 8% от веса сухого грунта снижение прочности до минимального значения было получено при 12 циклах вибраций, т. е. в 3 раза большими, чем без добавки вяжущего.

При исследовании динамического нагружения грунта заслуживает внимания еще один фактор. После прекращения вибрационного воздействия на грунт происходит постепенное нарастание и восстановление



Зависимость предельного числа циклов вибронагружений от влажности грунта

*a* — пылеватый суглинок; *б* — супесь; 1 — без промораживания; 2 — после оттаивания

его прочности. Скорость этого процесса также зависит от вида и состояния грунта. Опыты показали, что с увеличением начальной плотности (до вибрации) время восстановления прочности увеличивается. Это объясняется тем, что вибрации, вызывая ослабление структурных связей в грунте, приводят к большей величине относительного разупрочнения для более плотных грунтов, чем для малоплотных и сильно увлажненных. Соответственно и время восстановления прочности больше у более плотных образцов.

Ниже приведены значения сопротивления сдвигу суглинка, которое определялось спустя 3 ч после действия вибрационной нагрузки с частотой 50 Гц, амплитудой 0,04 мм и продолжительностью 1 мин:

Условия испытания	Сопротивление сдвигу по отношению к исходному (%), при плотности грунта, Гс/см <sup>3</sup>			
	1,50	1,55	1,60	1,65
Без промораживания	95	94	90	82
После оттаивания	80	69	62	—

Наиболее интенсивно нарастание прочности происходит в течение 1–3 ч после прекращения вибрации, в дальнейшем этот процесс замедляется. Время полного восстановления прочности в наших опытах для суглинистого грунта составляло около 24 ч. Как видно из приведенных результатов, предварительное промораживание—оттаивание образцов грунта замедляет процесс восстановления прочности, так как промерзание также вызывает нарушение структурных связей в грунте. Опыты с супесчаным грунтом, в котором структурные связи слабее, чем в суглинистом, через 3 ч после действия вибраций показали полное восстановление прочности даже при максимальной начальной плотности.

Таким образом, представленные результаты исследований показывают, что поведение грунтов при действии на них вибрационной нагрузки зависит в большой степени от их природных свойств. Результаты исследований используются при разработке мероприятий по снижению отрицательного влияния вибраций на несущую способность грунтов, например осушение, обработка вяжущими, снижение интенсивности вибраций включением в конструкцию амортизирующих элементов.

УДК 624.131.414.3

В.М. Павилонский  
(ВНИИ ВОДГЕО, Москва)

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ВО ВРЕМЕНИ ДЕФОРМАЦИЙ НАБУХАНИЯ ПО ВЫСОТЕ СЛОЯ УПЛОТНЕННОГО ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Тонкие до  $0,5 \div 0,25$  м слои уплотненных глинистых грунтов, так называемые экраны, широко используются для снижения фильтрационных утечек из искусственных водоемов. К сожалению, под действием воды (водных растворов различных веществ) может происходить разуплотнение экрана вследствие набухания грунта и снижение его эффективности. Набухание глинистого грунта является весьма сложным процессом, зависящим от ряда факторов (состава и свойств грунта, вида замачивающей жидкости и др.), влияние которых изучено еще недостаточно. Это обстоятельство является одной из причин отсутствия аналитических методов для определения величины набухания и необходимости использования для этой цели экспериментальных методов.

До настоящего времени величину набухания определяли с помощью приборов различных конструкций (А. М. Васильева, ПНГ, ПНЗ-2 и др.). Эти приборы позволяют исследовать только тонкие (10–20 мм) образцы грунта, причем замачивающая жидкость подводится к верхней и нижней поверхности образца. Полученные с их помощью данные позволяют со значительным приближением оценить полное набухание грунтового

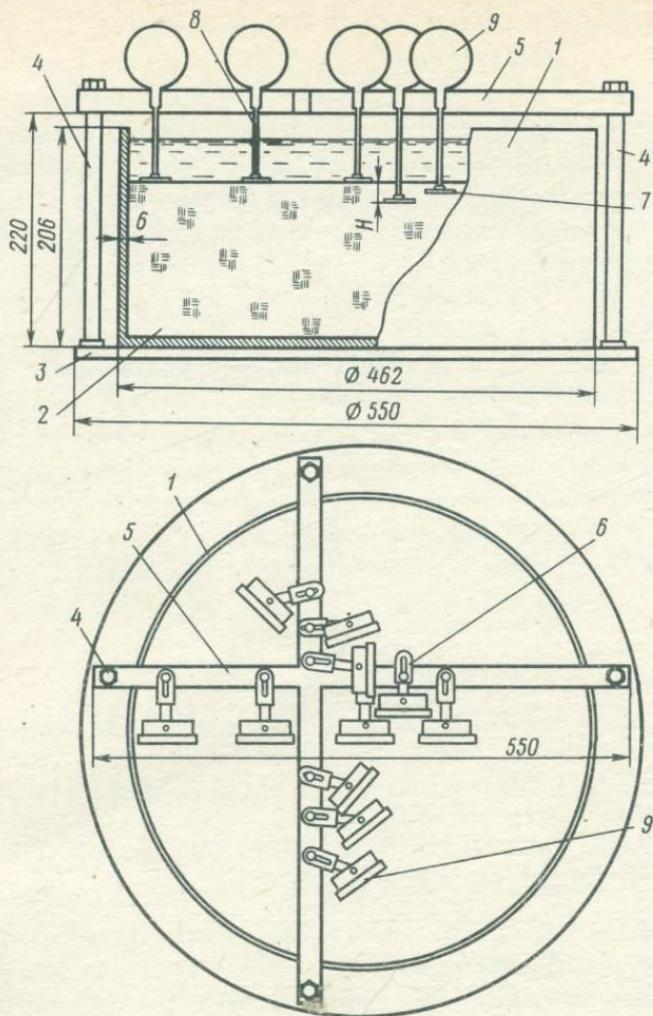


Рис. 1. Устройство для определения набухания фрагмента грунтового экрана

1 — цилиндрический короб; 2 — грунт; 3 — опорная плита; 4 — стойки;  
5 — крестовина; 6 — зажимы для индикаторов; 7 — перфорированные  
диски; 8 — стержни; 9 — индикаторы часового типа

экрана, но установить, как оно изменяется во времени в различных по высоте слоях экрана, не представляется возможным. Этих недостатков лишено разработанное автором устройство для определения набухания глинистого грунта. Использование этого устройства позволяет повысить точность и надежность определения набухания слоя грунта в условиях, близких к натурным. Поставленная цель достигается одновременным измерением величины набухания фрагмента грунтового экрана

толщиной 150–250 мм в различных точках по его высоте при помощи установленных в заранее намеченных местах тонких перфорированных дисков, соединенных стержнями с индикаторами часового типа, закрепленными над экраном, при наличии поверх грунта слоя замачивающей жидкости (вода, раствор электролитов).

Устройство представляет собой цилиндрический короб диаметром 450–600 мм и высотой до 250–300 мм, в котором размещается фрагмент уплотненного грунтового экрана толщиной 150–250 мм. Короб установлен на опорной плите, к которой на четырех стойках присоединена съемная крестовина для крепления индикаторов часового типа (цена деления 0,01 мм). С индикаторами при помощи стержней разной длины жестко соединены тонкие перфорированные диски, расположенные как на поверхности, так и в глубине экрана. Поверх исследуемого фрагмента экрана отсыпается слой песка и заливается замачивающая жидкость, которая начинает проникать в грунт, что вызывает его набухание. Схема устройства приведена на рис. Г.

Большим преимуществом устройства является то, что оно позволяет, во-первых, измерять величину набухания грунтового экрана и, во-вторых, исследовать развитие во времени процесса набухания грунта от поверхности вглубь экрана. Использование устройства для решения ряда практических задач, связанных с использованием экранов из глинистых грунтов, показало его эффективность и высокие достоинства.

В качестве примера использования устройства приведем результаты, полученные в долговременных исследованиях набухания суглинистого экрана. Суглинок обладает следующими физико-механическими свойствами: плотность 2,73 гс/см<sup>3</sup>, граница текучести 35%, граница скатывания 21%, число пластичности 14, максимальная молекулярная влагоемкость (по Лебедеву) 14%, гигроскопическая влажность 4,5%; содержание частиц диаметром 0,5+0,25 мм – 10,09%, 0,25+0,1 мм – 16,8%, 0,1+0,05 мм – 12,2%, 0,05+0,01 мм – 25,92%, 0,01+0,005 мм – 12,12%, 0,005+0,001 мм – 15,47%, < 0,001 мм – 7,4%.

Размеры исследованного фрагмента экрана: диаметр 453 мм, высота 154 мм. Измерения величины набухания производились на поверхности экрана и в точках, расположенных на глубине 20, 30, 50, 75, 100, 125 мм от нее. Результаты измерения величины набухания в ряде точек по высоте экрана и на его поверхности представлены на рис. 2. Набухание отдельных слоев показано на рис. 3.

Исследования позволили выявить некоторые закономерности развития во времени деформаций набухания экрана из глинистого грунта.

1. Значительная продолжительность процесса набухания экрана. При толщине слоя 154 мм его набухание полностью не завершилось спустя 54 600 ч (более 6 лет) после начала исследований.

2. Наличие фазы отставания в начале процесса набухания по высоте экрана: на поверхности набухание началось спустя 15 мин после

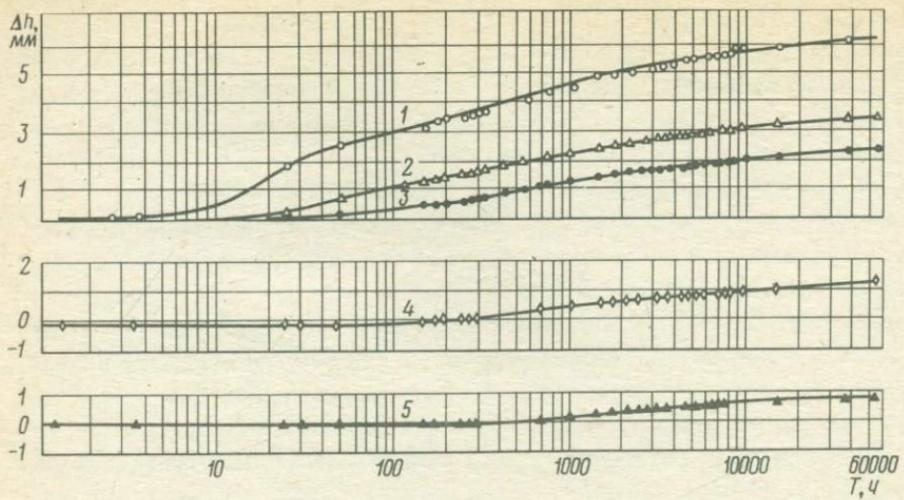


Рис. 2. Графики изменения величины набухания во времени  $\Delta h = f(T)$  для точек, расположенных

1 – на поверхности и 2, 3, 4, 5 – на глубине соответственно 20, 30, 50 и 75 мм от поверхности грунтового экрана

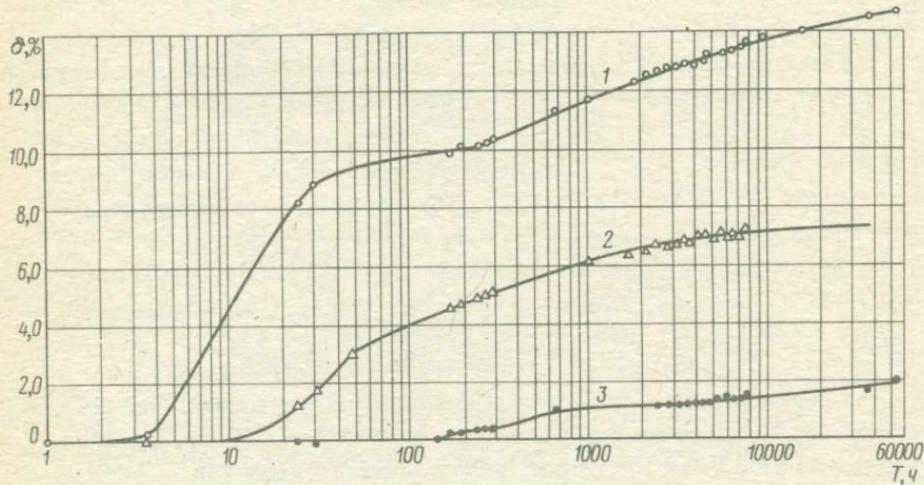


Рис. 3. Графики изменения относительного набухания во времени  $\delta = f(T)$  для различных слоев, расположенных на глубине 0–20 (1), 20–50 (2), 50–75 (3) мм от поверхности

того, как поверх экрана была залита вода, а на глубине 10, 30, 75 и 125 мм от поверхности оно началось соответственно спустя 2 ч, 1, 6 и 54 сут. При этом в слое экрана, расположенному на глубине 50 мм и ниже от поверхности, после замачивания водой сначала отмечалась небольшая осадка, которая затем сменилась набуханием.

3. Существенная неравномерность набухания по высоте экрана. Набухание верхнего (0–20 мм от поверхности) и подстилающего его (20+50 мм от поверхности) слоев составляло соответственно 46,3 и 34,3% от полного набухания всего экрана, а набухание нижнего слоя (75+154 мм) – только 9% от полного.

4. Высокая интенсивность процесса набухания поверхностных слоев (до глубины равной примерно 1/3 высоты экрана) в первые дни после замачивания грунта водой. Через неделю после начала опыта набухание первого (0+20 мм от поверхности) и второго (20+50 мм от поверхности) слоев составило соответственно 87 и 63% от их полного набухания в конце опыта.

5. В результате набухания водопроницаемость грунтового экрана возросла в 8 раз по сравнению с исходной.

УДК 624.131.414.3

А.Р. Горлова

(НИИ оснований и фундаментов, Москва)

## ИЗУЧЕНИЕ УСАДКИ ГЛИНЫ

## ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИИ

Усадка глинистых грунтов явилась причиной деформаций многих зданий и сооружений. Так, на Волгоградском нефтеперерабатывающем заводе произошел значительный наклон некоторых газовыводящих труб. Верх одной из труб отклонился от вертикали на 108 мм; при высоте трубы 43 м керн составил 0,025 при допустимом СНиП II-15-74 значении 0,004. Наклон произошел в результате нагрева основания трубы со стороны печи, от которой отходят подземные борова с горючими газами (температура их достигает 300°). Температура в грунте возле борова достигает 100–110°C, а влажность – 5,4% (естественная влажность для грунтов данной площадки равна 30%).

В связи с подобными явлениями, а также из-за многочисленных деформаций зданий в районах с чередующимися сезонными набуханием и усадкой грунтов встало задача более детального изучения явления усадки. В СНиП II-15-74 выдвигается требование об определении усадки для набухающих грунтов при давлении  $P$  (действующее или проектное давление). Определение это вызывает значительные трудности, так как стандартные компрессионные приборы не приспособлены

для проведения испытаний на усадку, и получить достоверные данные без модернизации приборов нельзя.

В НИИ оснований и фундаментов под руководством Е. А. Сорочана проведены исследования по изучению влияния температуры и давления на усадку глин. Опыты проводились на глинах с разным минералогическим составом и различным обменным комплексом. Были использованы мономинеральные глины — аскангель, кембрийская, каолин и полиминеральные — хвалинская и сарматская.

Опыты по изучению влияния температуры высушивания на усадку проводились на образцах с различной начальной влажностью. Использовались приборы ПНГ, помещенные в термостаты при температурах от 20 до 100°. Для каждого образца температура в течение опыта оставалась постоянной. В процессе высушивания определялась влажность образца (взвешиванием и расчетом) и его объем (по показаниям индикатора и на основе конечного объема).

В результате исследований установлено, что если во время опыта температура не меняется и исходная влажность грунта больше влажности максимальной молекулярной влагоемкости, то величина конечной объемной усадки образцов, высущенных при температуре 80—100°, всегда меньше конечной усадки образцов, высущенных при 20°. Если же исходная влажность меньше влажности максимальной молекулярной влагоемкости, то с увеличением температуры высушивания усадка увеличивается. Были проведены также испытания образцов при двух ступенях температур. Так, образцы хвалинской глины с нарушенной структурой (район г. Волгограда) с естественной влажностью 30—39% вначале высушивались в колышах от компрессионных приборов при температуре 18—20°. При влажности 10—15% объем образцов перестал уменьшаться, объемная усадка получилась равной 17, 3—25, 7%. После этого образцы досушивались в термостате при 105°. Это вызывало, как правило, уменьшение объема, усадка увеличилась на несколько процентов (от 0 до 2,9).

Полученные результаты объясняются тем, что с повышением температуры увеличивается ионная поверхностная активность частиц глины, т. е. активность обменных катионов, что подтверждается и данными по измерению поверхностной проводимости глины при разных температурах<sup>1</sup>. В результате этого увеличивается удельная поверхность грунта, происходит усиленная диспергация частиц, а это приводит к увеличению числа контактов между частицами. В грунте образуются новые структурные связи, препятствующие дальнейшему сближению частиц. Этот процесс в наибольшей мере проявляется при зна-

<sup>1</sup> Р. И. Злочевская, В. А. Королев. Температурный фактор при формировании физико-механических и физико-химических свойств водонасыщенных глинистых грунтов. — В кн.: Связанная вода в дисперсных системах. М.: Изд-во МГУ, 1976, вып. 4, с. 34—59.

чительной влажности, когда частицы имеют мощные водные оболочки с большим количеством обменных катионов. Когда же значительная часть воды испарилась, оболочки стали намного тоньше — сильнее проявляют себя силы молекулярного притяжения.

Следовательно, с возрастанием температуры высушивания величина усадки уменьшается, если исходная влажность грунта больше влажности, соответствующей примерно влажности максимальной молекулярной влагоемкости. При меньшей начальной влажности с возрастанием температуры усадка несколько увеличивается. В количественном выражении уменьшение или увеличение усадки в зависимости от температуры может составлять несколько процентов (до 7–8) от первоначального объема.

С повышением температуры значительно увеличивается скорость усадки. Сила поверхностного натяжения воды уменьшается, это приводит к возрастанию скорости испарения воды. Поэтому время достижения предела усадки при температуре 80° сокращается по сравнению с температурой 20° в 15–20 раз. Этим объясняются деформации сооружений, в основании которых имеются тепловые очаги. Здесь из-за высоких температур усадка в грунте успевает проявиться полностью в короткий срок. Слои грунта опускаются, нередко неравномерно в плане.

Опыты по изучению фактора давления проводились в компрессионных приборах конструкции Гидропроекта с использованием сменных деталей. Методика была следующей: образцы хвалынской глины помещались в приборы и сжимались все одинаковым давлением 0,2 или 0,3 МПа. После прекращения осадок грунты замачивались дистиллированной водой и выдерживались до полного завершения набухания. Таким образом были получены параллельные образцы с одинаковой плотностью и влажностью. Из этого исходного состояния образцы подвергались испытаниям на усадку, т. е. высушивались при разных давлениях от 0 до 0,3 МПа. При подсыхании грунта стандартное днище и поршень прибора заменялись на специально изготовленные детали с большими отверстиями для возможности испарения воды и ускорения высушивания. Методика была проверена при испытаниях хвалынских глин (Волгоград), где линейная усадка образцов, определенная в лаборатории, равнялась в среднем 14,5%, а усадка, определенная в натуре, равна 11% (коэффициент условий работы  $m = 0,75$ ).

Данные, полученные в результате опытов (осредненные по 5–6 параллельным образцам), представлены ниже. Значения вертикальной, горизонтальной и объемной усадки получены на основе измерения конечных высот и диаметров высохших образцов.

Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Горизонтальная усадка	Вертикальная усадка	Объемная усадка
Образцы с нарушенной структурой (объемный вес 1,7 гс/см <sup>3</sup> )			
0	5,7	6,7	17,2
1	3,8	11,3	18,0
2	3,6	9,9	16,1
3	2,7	13,0	17,6

Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Горизонтальная усадка	Вертикальная усадка	Объемная усадка
Образцы с ненарушенной структурой (объемный вес 2,0 гс/см <sup>3</sup> )			
0	4,2	10,7	17,3
1	2,6	12,4	15,7
2	1,3	10,2	11,7
3	1,1	7,4	8,8
Образцы с ненарушенной структурой (объемный вес 1,85 гс/см <sup>3</sup> )			
0	4,7	15,7	23,6
2	3,2	18,8	24,3

Видно, что величина объемной усадки либо не зависит от давления, приложенного к грунту (в исследованных пределах), либо, при большой плотности образцов, уменьшается с увеличением давления. Это объясняется тем, что в плотных образцах часть свободной воды, находящейся в грунте, под давлением переходит в связанное состояние и не может испариться. Расхождение в 0,5–1% между результатами опыта может получиться за счет неоднородности грунта и недостаточного количества испытаний. Таким образом, с увеличением давления на грунт величина объемной усадки либо остается неизменной, либо уменьшается.

УДК 624.131.439.6

В.Е. Курмес

(ЦНИИПромзернопроект, Москва)

## ПРОГНОЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

### ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

### ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ МНОГОКРАТНЫХ НАГРУЗКАХ

К длительным многократно повторным относятся нагрузки, передаваемые на грунты оснований: фундаментами емкостных периодически опорожняемых сооружений, таких, как резервуары, силосные корпуса, бункеры, водонапорные башни, химико-технологические колонны; фундаментами зданий и сооружений, воспринимающих подвижную нагрузку, таких, как крановые эстакады, мостовые опоры, пролеты с крановым оборудованием и др. Рассматриваемые повторные нагрузки существенно отличаются от динамических большей длительностью цикла, меньшей скоростью приложения, а также постоянной нагрузкой от собственного веса конструкций, соизмеримой с повторной.

Несмотря на широкое распространение подобных воздействий в строительной практике, влияние многократно повторного характера приложения части полной нагрузки на основание при прогнозе осадок названных сооружений не учитывается. Немногочисленные публикации, относящиеся к испытаниям с длительностью цикла, не превышающей

несколько секунд, противоречивы и не позволяют не только количественно оценить влияние повторности воздействий, но и определить, будет ли осадка сооружений при таком характере нагрузки на основание в данных инженерно-геологических условиях большей или меньшей по сравнению с действием статической нагрузки той же величины.

Для изучения влияния длительных многократно повторных нагрузок на деформационные изменения грунтов с целью разработки метода прогноза осадок элеваторных и других вышеназванных сооружений в лаборатории оснований ЦНИИПромзernerопроекта были проведены специальные исследования на компрессионных приборах.

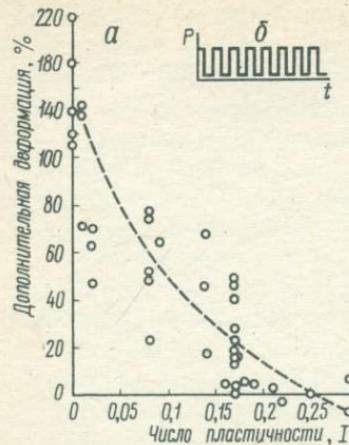
Были изучены зависимости деформационных изменений грунтов при повторных нагружениях от факторов, характеризующих грунты: вид грунта, структурные и текстурные особенности, плотность, влажность — и повторные воздействия: величина повторной и постоянно действующей нагрузок, длительность цикла, скорость нагружения, число нагрузок. Основной объем исследований проведен на грунтах с ненарушенной структурой, отобранных с разных площадок строительства элеваторных сооружений. Выборка охватывала песчаные и глинистые грунты разного генезиса в большом диапазоне изменения влажности, плотности и консистенции, а также глинистые грунты с особыми свойствами — просадочные, набухающие и илы.

Всего было подвергнуто повторным нагружениям более 400 образцов грунта. Длительность цикла изменялась от секунд до суток; величина нагрузки — до 1,5 МПа; величина относительной повторной нагрузки ( $\rho$ ), равной отношению повторной нагрузки к сумме постоянной и повторной, — от 0,1 до 1; число нагрузок — до 1500.

Проведенные исследования позволили обнаружить и сформулировать ряд закономерностей деформационного поведения грунтов при длительных повторных нагрузках. Исследования показали, что деформационные изменения глинистых грунтов при повторных нагрузках зависят от совокупности большого числа внутренних и внешних факторов, характеризующих грунты и повторные воздействия, и могут носить характер как дополнительного уплотнения, так и недоуплотнения по сравнению с действием статической нагрузки, а также разуплотнения предварительно уплотненных образцов грунта.

Чувствительность грунтов к повторным нагружениям, которая оценивалась значением коэффициента влияния повторности нагрузки ( $K_{\text{пп}}$ ), равного отношению дополнительной деформации при повторных нагружениях к деформации от статической нагрузки той же величины, в общем случае уменьшается от песков к глинам, т.е. с ростом дисперсности грунта. При этом, как видно на рисунке, она не определяется однозначно гранулометрическим составом (числом пластичности), а зависит также от других структурных и текстурных особенностей грунта и параметров повторных нагрузок.

Изучение микроструктуры образцов грунта с наиболее характерным деформационным поведением при повторных нагружениях (юрская глина, покровный суглинок, песок, супесь, ил глинистый и суглинистый) по снимкам, сделанным на электронном сканирующем микроскопе



Коэффициент влияния повторности нагрузки ( $K_{\text{пп}}$ ) образцов грунта разного вида ( $T$  цикла = 2 мин; число циклов = 100;  $\rho = 1,0$ )

*a* — значения  $K_{\text{пп}}$ ; *б* — схема испытаний

(около 100 снимков), позволило сделать вывод о том, что наибольшей чувствительностью к повторным нагрузкам обладают грунты с рыхлой скелетной микроструктурой со смешанными коагуляционно-кристаллизационными структурными связями невысокой прочности. Из исследованных грунтов к ним в первую

очередь относятся макропористые глинистые грунты — лёссы, лессовидные и покровные суглинки и супеси, а также пески, супеси, илы супесчаные.

Грунты с ориентированной микроструктурой, ламинарной или турбулентной, природной или приобретенной в процессе предварительного уплотнения, с коагуляционными структурными связями, обусловливающими вязко-упругий (упруго-вязко-эластичный) характер диформирования при повторных нагружениях, обычно испытывают недоуплотнение и разуплотнение, а также тиксотропное разупрочнение, приводящее к существенному дополнительному уплотнению при последующем действии статической нагрузки той же величины. Такое деформационное поведение было характерно для водонасыщенных образцов юрской глины, аллювиальной верхнечетвертичной глины и суглинка, ила глинистого и суглинистого.

Выполненные исследования, а также результаты исследований динамических воздействий позволили сделать вывод о том, что дополнительная деформация при повторных нагружениях происходит главным образом в результате перекомпоновки структурных элементов при их многократных возвратно-поступательных перемещениях, чему способствуют знакопеременные напряжения в контактах, приводящие к ослаблению и усталостному разрушению структурных связей. Недоуплотнение и разуплотнение грунта обусловлено запаздыванием деформаций в случаях преобладающего их вязко-упругого характера по отношению к изменению напряжений при нагружениях и разгрузках.

В большинстве случаев, когда величина полной нагрузки превышает структурную прочность грунта, градиент напора, возникающий в поровой воде от давления фундамента, больше начального градиента напора и повторные нагружения сменяются действием статической нагрузки, повторные воздействия вызывают большие деформации грунта по сравнению с действием статической нагрузки той же величины.

Результаты исследований позволили решить вопрос о нижней границе сжимаемой толщи, до которой распространяется влияние повтор-

ных нагрузений, являющийся ключевым для разработки метода прогноза осадок рассматриваемых сооружений. Исследования показали, что повторные нагрузки могут вызвать дополнительную деформацию грунтов только в случаях, когда их величина составляет не менее 20% от полной нагрузки, действующей на основание. Таким образом, нижняя граница, до которой распространяется влияние повторных нагрузок, может быть определена из соотношения  $P_{\text{ппн}}'' = 0,2 (P_z'' + P_{6z}'')$ , где  $P_{\text{ппн}}''$  — давление от повторной нагрузки;  $P_z''$  — давление от загруженного сооружения;  $P_{6z}''$  — природное (бытовое) давление на глубине  $z''$  ( $z''$  — глубина от подошвы фундамента до нижней границы влияния повторных нагрузок).

Расчет дополнительной осадки производится для всех слоев сжимаемой толщи, на которую распространяется влияние повторности воздействий. Для каждого слоя дополнительная осадка находится умножением осадки, определенной общепринятыми методами от действия статической нагрузки для данного слоя, на коэффициент влияния повторности нагрузки ( $K_{\text{ппн}}$ ), который определяется по результатам специальных испытаний.

Расчеты, выполненные по данному методу для типовых решений сборных железобетонных силосных корпусов, показали, что дополнительная деформация грунтов основания за счет повторности нагрузки (за 100 циклов) может составлять 20–30% от величины осадки, определенной по СНиП II-15-74. Для силосных корпусов увеличенной высоты, металлических емкостей, а также других сооружений, для которых характерен больший удельный вес повторной нагрузки и большее число эксплуатационных циклов, дополнительная деформация может быть существенно больше.

ИЗМЕНЕНИЕ И ПРОГНОЗ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ  
РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕНЕЗА

УДК 624.131.23

Н.И. Кригер, Н.Е. Котельникова  
(ПНИИИС, Москва)

ТЕХНОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕССОВЫХ ПОРОД  
С ИНЖЕНЕРНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Под инженерной геохимией или геохимическим грунтоведением мы будем понимать решение задач инженерной геологии с помощью методов химии и физической химии. Эти методы давно используются геологическими науками, в результате чего развиваются такие направления исследований, как физико-химическая петрология, физико-химическая механика грунтов и т.д. Мы особо выделяем геохимическое направление в грунтоведении, желая обратить внимание на значение химических и геохимических методов в решении инженерно-геологических задач.

Различные геохимические процессы — выщелачивание воднорастворимых солей, карстование, переход ангидритов в гипсы (с чем связаны деформации пород), подземные пожары и целый ряд других — имеют большое инженерное значение. Породы и составляющие их минералы и компоненты могут обладать разной механической устойчивостью в зависимости от геохимических факторов. Среди минералов и компонентов, составляющих породу, особенно важно выделять наиболее неустойчивые, существующие геологически непродолжительное время и приспособливающиеся к окружающей среде эфемеры (эфемерные минералы и компоненты). Геологическое и минералогическое понятие об эфемерах близко к строгому (в термодинамическом отношении) понятию Д.С. Коржинского [4] о вполне подвижных компонентах, но тождества здесь нет, так как понятия об устойчивости, миграционной способности и длительности существования минерала и компонентов, с одной стороны, и термодинамической подвижности компонентов — с другой, не тождественны.

Дифференцированность миграционной способности компонентов в породах определяет различную устойчивость пород в зависимости от воздействия окружающей среды и техногенеза. Р. Кейль назвал переменно-прочными породы, свойства которых меняются при указанных воздействиях. Инженерная геохимия в ряде случаев позволяет объяснить переменность прочности пород и прогнозировать поведение пород в изменяющейся обстановке.

Примером переменно-прочной породы является лесс, свойства которого сильно изменяются под воздействием техногенеза. Мы с инженерно-геохимической точки зрения рассмотрим просадки, послепросадочные деформации и псевдокарстовые процессы. Все эти процессы без вмешательства техногенеза протекают весьма медленно, главным образом в связи с геологическими изменениями климата. При воздействии техногенеза — промышленном, городском, гидротехническом и другом строительстве, при обработке земель и т.д., техногенные процессы в лессе протекают с большой скоростью.

Геохимия просадочного процесса является сложной и до сих пор слабо изученной. Мы изучали ее при замачивании лесовых пород в котлованах и на больших полигонах (22 и 48 га). Исследования показали, что выщелачивание водорастворимых соединений из лесовых пород наиболее интенсивно происходит в течение первых 2–3 недель с начала замачивания. В это же время происходит и большая часть просадочных деформаций. Однако количество легкорастворимых соединений в лессе составляет лишь 0,5–1,5% от веса породы, и оно не может объяснить значительные просадки. При выщелачивании из лесса выносятся прежде всего ионы с низкими энергетическими коэффициентами (по А.Е.Ферсману [6]) —  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , в меньшей степени  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Между тем в обеспечении прочности лесса основную роль играют коллоиды,  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CaSO}_4$ . Иногда наблюдается корреляция между просадочными свойствами породы и количеством плотного остатка в водных вытяжках, но такая корреляция может не иметь места. Таким образом, выщелачивание легкорастворимых соединений может играть лишь роль вспомогательного фактора при просадке, являющейся следствием недоуплотненности породы.

Просадочные свойства лесса находятся в ясно выраженной зависимости от количества  $\text{CaCO}_3$  (рис. 1): при его количестве менее 8% породы являются выщелоченными, обладающими высокой влажностью, уже потерявшими просадочные свойства; при большем количестве  $\text{CaCO}_3$  (более 28%) лесовые породы имеют прочные структурные связи, сохраняющиеся при увлажнении. Оптимальное количество  $\text{CaCO}_3$ , при котором порода склонна к просадке, составляет 12–15%.

Медленное уплотнение замачиваемого лесса после быстро протекающей просадки обычно называется послепросадочной деформацией. Многие исследователи [3, 5] объясняют эту деформацию вымыванием водорастворимых соединений и возникающими отсюда дополнительными возможностями сжатия. Другие исследователи отмечают [1, 2, 7], что при послепросадочной деформации происходит распад агрегатов, величины деформации не соответствуют количеству выносимых водорастворимых веществ и что послепросадочная деформация связана со структурно-текстурными изменениями породы.

При наших исследованиях (60 лабораторных экспериментов длительностью до 50 сут) за границу между просадкой и послепросадочной деформацией принят момент времени, когда скорость уменьшения коэффициента пористости снизилась до 0,0001–0,0006 в сутки.

Взаимоотношение между размером деформаций при фильтрации и количеством выносимых водорастворимых соединений является очень



Рис. 1. Зависимость относительной просадочности от содержания  $\text{CaCO}_3$

1 — Алма-Ата; 2 — Яван; 3 — Чебоксары

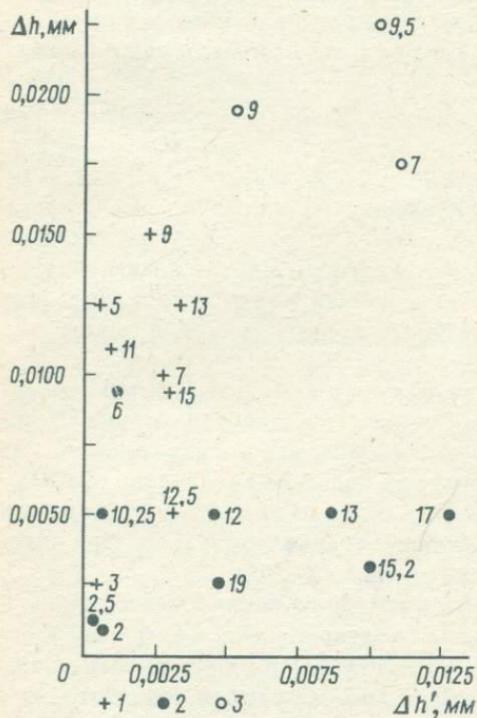


Рис. 2. Соотношение после-просадочной деформации  $\Delta h$  и количества выщелочных воднорастворимых соединений (дано в виде мощности  $\Delta h'$  фиктивного солевого прослоя) в лессовых породах (высота образца 25 мм)

1 — Боролдай близ Алма-Аты, ш. 1; 2 — Кок-Тюбе, Алма-Ата, ш. 7; 3 — Нарынсу, Яванская долина, ш. 3М, 1М. Цифры у знаков — глубина, м

сложным (рис. 2). В 80% всех изученных случаев линейная деформация превосходит мощность вычисленного фиктивного солевого прослоя, эквивалентного количеству вымытых солей, т. е. объемная деформация больше объема вымытых солей. Таким образом, послепросадочная деформация в большинстве случаев вызывается разрушением структуры и текстуры породы.

Изменение состава фильтрата во времени позволяет судить о процессах, происходящих в породе при фильтрации. В наших опытах обычно, в каждый данный момент фильтрат содержал воднорастворимые веще-

ства в количестве около 0,003–0,20 г на 100 г сухой породы. По временами эти цифры достигали 0,37 г на 100 г породы (рис. 3). Подобные возрастания концентрации солей в фильтрате можно объяснить распадом агрегатов, делающим доступным для растворения новые порции солей. В случаях, когда в первых поступлениях фильтрата количество плотного остатка увеличивается, с течением времени обычно наблюдается резкое его снижение. По данным 42 опытов состав фильтра в процессе фильтрации изменялся сравнительно мало. В растворе фильтратов обычно преобладают катионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ .

Состав водных вытяжек из лесовых пород обычно отличается от состава фильтратов. При получении водных вытяжек порода подвергается большему разрушению, вымывается большее количество солей (0,01–1,20 г на 100 г породы), в раствор переходят менее растворимые соли. Обычно в составе водных вытяжек преобладают анионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$ . Анализы 32 вытяжек, выполненных до и после компрессионных испытаний с фильтрацией, показали, что в 53% случаев плотный остаток в вытяжке после опыта уменьшается, в других случаях он может оставаться постоянным или даже несколько возрастать. Состав водных вытяжек после опыта с фильтрацией в 47% случаев практически не изменился, в 23% случаев уменьшилось содержание  $\text{Na}^+$ , в отдельных случаях уменьшилось или даже несколько увеличилось содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ .

Имеющиеся факты – наблюдаемое в полевых опытах отсутствие резкой границы между просадкой и послепросадочной деформацией, устанавливаемое лабораторными опытами отсутствие зависимости между объемной деформацией и объемом вымытых солей, колебание состава плотного остатка в фильтрате во времени – показывают, что изученная послепросадочная деформация является результатом разрушения структуры и текстуры породы и должна рассматриваться как поздняя стадия просадки. Не исключена возможность, что в условиях непрерывной фильтрации воды через лесовые породы могут происходить деформации, связанные с выщелачиванием гипса, но этот случай является мало распространенным, поскольку количество гипса в лесовой породе обычно не превышает 2–4%.

Псевдокарстовые явления в лесовых породах возникают в результате выноса вещества механическим (тонкие частицы) и отчасти химическим (воднорастворимые соединения) способами. Образование псевдокарстовых пустот в лессе является быстроразвивающимся процессом, в ходе которого могут растворяться только легкорастворимые соединения. Поскольку количество последних незначительно, то их вынос не может создать пещеры и провалы. В образовании подземных пустот основная роль принадлежит механической суффозии.

В развитии лесового псевдокарста играют большую роль физико-геохимические процессы. Лесовой псевдокарт развивается в лесовых породах, имеющих низкую (обычно  $W < 10\%$ ) влажность. В подобных лесовых породах количество воднорастворимых солей может быть наибольшим. Эти соли входят в состав водо-солевого цемента, благодаря чему растворение солей ослабляет структурные связи в породе.

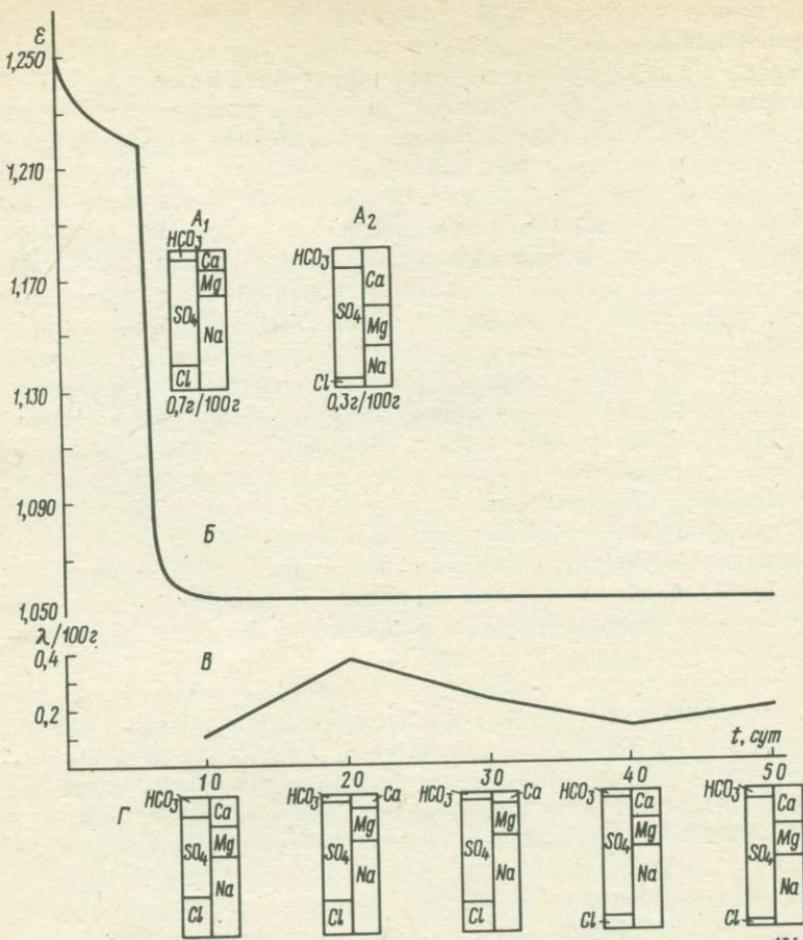


Рис. 3. Деформация и химическая супфузия в образцах лесса (Кок-Тюбе, Алма-Ата, ш. 7, гл. 12 м)

$A_1$  и  $A_2$  — состав водных вытяжек соответственно до и после опыта;  $B$  — зависимость коэффициента пористости  $\epsilon$  от времени  $t$ ;  $B$  — зависимость плотного остатка фильтрата  $\lambda$  от времени  $t$ ;  $\Gamma$  — состав фильтрата соответственно через 10, 20, 30, 40, 50 сут от начала опыта

При замачивании породы минерализация порового раствора меняется, водные оболочки вокруг зерен породы утолщаются и оказывают расклинивающее действие в породе. В результате облегчается отрыв частиц от общей массы породы и вынос их при механической супфузии.

В заключение отметим общее направление техногенных преобразований лесса. Просадки и послепросадочная деформация, вызывая уплотнение пород, приводят к уменьшению запасов потенциальной энергии в породе и росту энтропии. При псевдокарстовом процессе затраты внеш-

ней энергии идут на создание пустот в породе. В нависающих сводах пустот возрастают запасы внутренней (потенциальной) энергии, но самопроизвольный процесс обрушения сводов вновь приводит к уменьшению запасов потенциальной энергии и возрастанию энтропии. Таким образом, во всех случаях результатом техногенного воздействия на грунты является рост энтропии.

## ЛИТЕРАТУРА

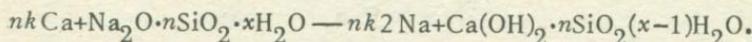
1. Васькович К.А. О деформации лесовых грунтов при длительной фильтрации через них воды. — В кн.: Материалы Всесоюз. совещ. по методике инж.-геол. и гидрогеол. обоснования ирригационных систем на лесовых территориях. Киев, 1966, с. 461—473.
2. Глазь А.А. Прибор и метод одновременного определения компрессионных и фильтрационных свойств лессовидных пород как оснований гидротехнических сооружений. — В кн.: Инженерно-геологические свойства горных пород и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 262—270.
3. Кириллов А.А., Фролов Н.Н. Гидротехнические сооружения на оросительных системах в лесовых просадочных грунтах. М.: Сельхозгиз, 1963. 271 с.
4. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенеза минералов. М.: Наука, 1973. 288 с.
5. Рубинштейн А.А. Основные положения проектирования ирригационных сооружений на лесовых грунтах. — В кн.: Тр. совещ. по строительству на лесовых грунтах. Киев, 1960, с. 59—88.
6. Ферсман А.Е. Геохимия. М.: Наука, 1958. 588 с.
7. Хуртин А.П. Деформации лесовых пород слагающих территории ирригационных систем в условиях фильтрационного режима: Автореф. дис. канд. наук. Л., 1978. 19 с.

УДК 624.131.23

Т.Т. Абрамова, С.Д. Воронкевич  
(МГУ)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ РАБОТ ПО ЗАКРЕПЛЕНИЮ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ФОРМАМИДСИЛИКАТНЫМИ РАСТВОРАМИ

Среди физико-химических способов закрепления лесовых грунтов наиболее широко применяется метод силикатизации. Силикатизация лесовых грунтов основана на инъекции раствора силиката натрия и выделении геля кремневой кислоты, цементирующей лесс. В результате исследований физико-химических процессов, происходящих при силикатизации лесовых грунтов, установлено, что основные реакции происходят на поверхности коллоидного обменного комплекса лесовых грунтов и определяются величиной обменной емкости этих грунтов в щелочной среде [2]. Реакция силикатизации лесовых грунтов идет по схеме



Однако, как показали исследования НИИ оснований и фундаментов, значительное количество силикатного раствора при этом не участвует в процессе закрепления грунта, снижая тем самым его эффективность [2].

Задачей исследования было повысить эффективность метода силикатизации, используя гелеобразующий формамидсиликатный раствор. Для его приготовления в водный раствор силиката натрия вводились формамид или кубовый остаток (отход) от производства формамида, которые не оказывают непосредственного воздействия на силикат натрия. В щелочной среде формамид гидролизуется до муравьиной кислоты, а затем до формиата натрия и аммиака. В результате реакции взаимодействия продуктов гидролиза формамида с силикатом натрия последний обедняется щелочью и коагулирует. Продолжительность гелеобразования (от 20 мин до 6 ч) и прочность полученных гелей зависят от концентрации компонентов, их объемного соотношения и температуры [1]. Составы исследуемых рецептур представлены в таблице.

Опыты по закреплению производились на лессе среднесуглинистом крупнопылеватом, Душанбе (по С.С. Морозову). Особенностью исследуемых лесовых пород является высокое содержание пылеватых фракций (84,16%). Преобладание крупной пыли (50,76%) над мелкой (33,40%) в лесовом грунте создает благоприятные условия для просадочных явлений. Количество глинистой фракции (<0,001 мм), составляет 14,66%. Минералогический состав глинистой фракции представлен гидрослюдой, хлоритом, монтмориллонитом и каолинитом.

В водной вытяжке преобладают  $\text{HCO}_3^-$  (11,04 мг-экв),  $\text{SO}_4^{2-}$  (9,7 мг-экв) и  $\text{Mg}^{2+}$  (0,46 мг-экв). Емкость обмена грунта соответствует 4,5 мг-экв/100 г и возрастает в щелочном растворе до 18,2 мг-экв/100 г (по методу В.Е. Соколовича [3]). Физико-механические характеристики грунта до закрепления следующие: плотность 2,68 г/см<sup>3</sup>, объемная масса скелета 1,38 г/см<sup>3</sup>, пористость 48,5%, число пластичности 9,1, коэффициент фильтрации  $\sim 0,01$  м/сут. Характерной особенностью грунта является его низкая водопрочность.

Для оценки эффективности предлагаемого способа в лабораторных условиях были проведены две серии опытов: в первой серии закрепление лесовых грунтов нарушенной структуры осуществлялось раствором силиката натрия плотностью 1,13 г/см<sup>3</sup>, а во второй – формамидсиликатными растворами.

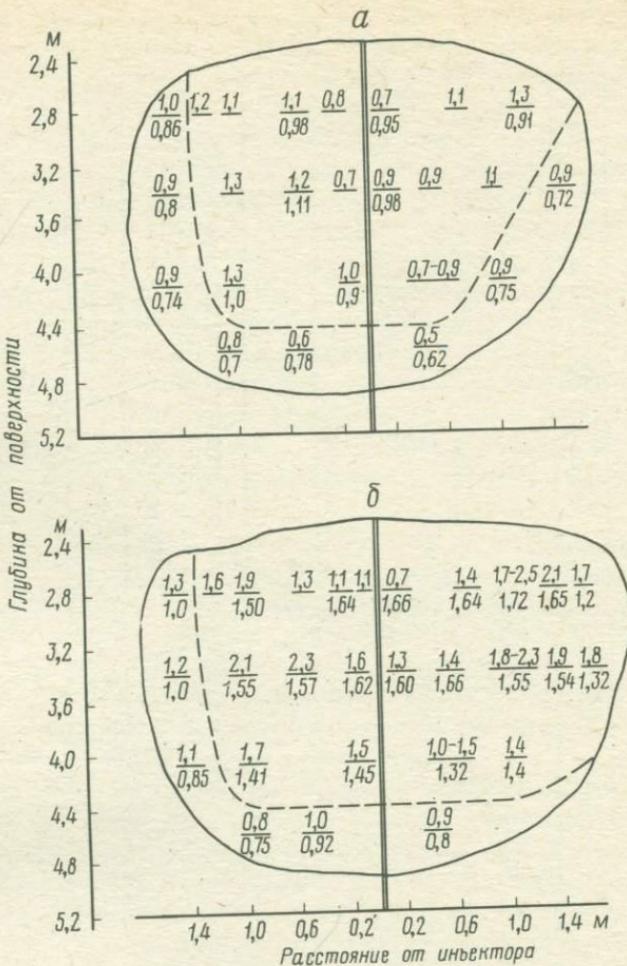
Прочность лесового грунта после воздействия силиката натрия (см. таблицу) составляет 0,1–0,3 МПа на следующие сутки, достигая 0,5 МПа при хранении в воздушно-влажной среде ( $W = 100\%$ ) до 1 мес. Однако приобретенная прочность (0,3 МПа) резко падает до 0 при хранении образцов в воде больше 1 мес. Прочность лесового грунта, закрепленного формамидсиликатными растворами, через сутки воздушно-влажного и водного хранения достигает 0,8–1,65 МПа в зависимости от состава рецептуры. Прочность закрепленных образцов при длительном хранении в воде почти не изменяется по сравнению с закрепленными образцами силикатного раствора. Результаты по водопрочности

Результаты лабораторных исследований

Состав инъекционного раствора	Прочность лессового грунта после закрепления, МПа				
	в воздушно-влажной среде				
	1 сут	7 сут	1 мес	3 мес	6 мес
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> ( <i>t</i> = 18–20°C)	0,1–0,3	0,2–0,5	0,5	–	–
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> , формамид 80% (100:30, <i>t</i> = 18–20°C)	1,0–1,65	1,0–2,2	1,1–1,75	1,1–1,6	1,1–2,1
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> , кубовый остаток (100:34, <i>t</i> = 18–20°C)	0,8–1,2	0,8–1,3	1,3	0,9–1,4	0,9–1,4

Таблица (окончание)

Состав инъекционного раствора	Прочность лессового грунта после закрепления, МПа				
	в водной среде				
	1 сут	7 сут	1 мес	3 мес	6 мес
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> ( <i>t</i> = 18–20°C)	0,05–0	0	0	0	–
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> , формамид 80% (100:30, <i>t</i> = 18–20°C)	1,0–1,6	–	1,1–1,7	1,1–1,5	1,0–1,5
Силикат Na = 1,13 гс/см <sup>3</sup> , кубовый остаток (100:34, <i>t</i> = 18–20°C)	0,8	0,75	0,8	0,9	0,7



1- $\frac{0,9}{0,8}$   
2-  
3-



Результаты опытных работ по закреплению лесовых грунтов (Душанбе, масштаб 1:40)

*a* — краевая зона вертикального разреза закрепленного массива;  
*b* — центральная зона; *c* — горизонтальный разрез закрепленного массива гл. 3,2-3,6 м; 1 — сверху величины прочности, МПа; снизу — содержание  $\text{SiO}_2$  общ., %; 2 — центральная часть; 3 — граница закрепленного массива

подтверждаются данными по выщелачиванию кремневой кислоты. Количество подвижной  $\text{SiO}_2$  за первые сутки (max) составляет 1,16–1,20 г на 100 г грунта при закреплении лессового грунта раствором силиката натрия. Выщелачивание подвижной  $\text{SiO}_2$  за одни сутки (max) из образцов лессового грунта, обработанного формамидсиликатным раствором, на порядок меньше.

Емкость обмена лессового грунта в формамидсиликатном растворе повышается на 20–30% по сравнению с воздействием раствора силиката натрия. Это объясняется присутствием аммиака, который выделяется в результате образования геля из формамидсиликатного раствора. Полевые работы по закреплению лессовых грунтов производились на опытном участке Академгородка Душанбе АН ТаджССР. Сложность инъекционного закрепления вышеописанных лессовых грунтов определяется их низкой проницаемостью. Глубина инъекционных скважин составляла 3–4 м. Форма закрепленного массива имела вид вытянутого эллипса. Образцы отбирались вдоль большой оси эллипса. На рисунке приведены значения прочности лессового грунта после закрепления по всей глубине закрепленного массива. Длина массива нижней границы закрепления меньше верхней почти в 2 раза.

Прочность образцов из закрепленного массива, отобранных вдоль большой оси, с глубиной уменьшается в 1,5–2 раза, тогда как прочность их при отборе перпендикулярно большой оси в центральной зоне выше, чем в краевой. При длительном хранении закрепленных лессовых грунтов в воздушно-влажной и водной средах прочность практически не меняется. Значительное изменение водопрочности лессовых грунтов приводит к устраниению просадочных свойств.

Повышение эффективности действия формамидсиликатных растворов связано с тем, что в результате взаимодействия лессового грунта с растворами образуется гель кремневой кислоты, которыйочно цементирует лессовый грунт. Кроме того, можно предположить, что при взаимодействии аммиака с грунтом имеет место дополнительное вытеснение катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , что приводит к образованию гидрата окиси кальция (магния). На образовавшейся твердой фазе гидрата окиси кальция адсорбируется кремневая кислота. Полученные результаты показали, что эффективность метода силикатизации лессовых грунтов с применением формамидсиликатного раствора повышается, так как его воздействие приводит к повышению их прочности, а также водопрочности, что практически устраняет их просадочность и размываемость в условиях увлажнения.

Результаты проведенных работ, включая полевое опробование, позволяют рекомендовать инъекционный формамидсиликатный раствор в качестве способа упрочнения лессовых грунтов для усиления оснований зданий и сооружений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Т.Т., Тейшова И.П. Влияние некоторых литологических особенностей песков на их закрепление формосиликатным раствором. — В кн.: Материалы III науч. конф. аспирантов и молодых ученых. М.: Изд-во МГУ, 1976, с. 72–79.
2. Соколович В.Е. Теоретические основы силикатизации песчаных и лессовых грунтов: Автoref. дис. ... канд. техн. наук, М., 1965. 28 с.
3. Соколович В.Е., Губкин В.А., Овчаренко А.Г. Новые способы закрепления лесовых грунтов. Днепропетровск, 1975. 142 с.

УДК 624.131.23

Т.Т. Абрамова, В.И. Дивисилова  
(МГУ)

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ СИЛИКАТА НАТРИЯ

При взаимодействии раствора силиката натрия с лесовыми грунтами происходит мгновенная реакция между обменным катионом кальция лесового грунта и щелочной составляющей силиката натрия. На образовавшейся твердой фазе гидрата окиси кальция адсорбируется кремневая кислота, в результате чего создается микрослой цементирующих новообразований (гидросиликатов кальция), закрепляющих лесовые грунты [4]. Большинство исследователей рассматривают процесс силикатизации как чисто химический, происходящий между силикатом натрия, обменным комплексом и неглинистыми минералами, такими, как гипс, кальцит и др. Роль глинистых минералов в процессе силикатизации изучена в работах В.Г. Гусева, В.М. Алексеева и Г.А. Липсона [1, 2]. Процессы различных видов поглощения (физического, физико-химического и механического) протекают с наибольшей интенсивностью в минералах монтмориллонитовой группы, обладающих трехслойным строением пакетов и высокой удельной поверхностью. Кроме того, на поверхности минералов появляются новообразования, предположительно гидроалюмосиликатного типа, гидросиликатов кальция (в случае Са-монтмориллонита) и высококремнеземистых гидрогранатов; происходит снижение дисперсности с изменением морфологии частиц.

Однако вопросы, связанные с влиянием отдельных фракций лессовых грунтов на закрепление растворами силиката натрия, до настоящего времени остаются дискуссионными. Кроме того, большинство исследований проведено на лесовых грунтах европейской части СССР, в связи с чем не вполне выяснена возможность перенесения полученных результатов на лесовые грунты других районов. Целью данной работы было выяснение влияния роли пылеватой и глинистой ( $<0,001$  мм) фракций, а также обменных катионов на прочность лесовых грунтов азинти-

ской части СССР при воздействии на них силиката натрия плотностью 1,13 гс<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>.

Для исследований были взяты 4 разновидности лесовых грунтов из районов Казахской и Таджикской ССР, а также южной части Сибири. Характеристика состава и основных свойств исследуемых лесовых грунтов представлена в таблице. Лесовые грунты нарушенного сложения закреплялись силикатом натрия в фильтрационных трубках с учетом естественной пористости. Через сутки после закрепления образцы грунта ставились на хранение в воздушно-влажную и водную среды.

Прочность всех закрепленных лесовых грунтов мало отличается при хранении их в воздушно-влажных условиях и колеблется от 0,3–0,7 МПа на 7 сут, причем наибольшую прочность имеет средний, лессовидный, суглинок (4). Можно полагать, что в воздушно-влажной среде прочность образцов связана в основном с микроагрегатным (а не гранулометрическим) составом образцов, который у всех изученных грунтов мало отличается (см. таблицу).

Однако было установлено, что по водопрочности закрепленные грунты существенно отличаются между собой, что, видимо, связано с качественным составом их цемента. Наименьшей водопрочностью обладают закрепленные лессы (1, 2), наибольшей – лессовидные суглинки тяжелого и среднего состава (3, 4). При хранении закрепленных лессов в воде большинство образцов (70%) полностью разрушается уже через 1 сут, тогда как водопрочность лессовидных суглинков лишь незначительно снижается.

Следует указать, что эффективность закрепления лесовых грунтов при силикатизации устанавливалась по величине содержания катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в водных вытяжках. При этом считалось, что хорошее закрепление достигается при содержании катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  0,6 мг-экв на 100 г грунта [3]. Содержание  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{Ca}^{2+}$  нет) в лессе г. Душанбе (1) составляет 0,46 мг-экв на 100 г грунта, что подтверждает малую эффективность его закрепления раствором силиката натрия. Однако лесс из Вахшской долины (2) имеет сумму катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  из водной вытяжки грунта 4,81 мг-экв на 100 г грунта (соответственно 3,37 и 1,44), но не обладает водопрочностью после закрепления, что противоречит соответствующей теории.

Известно, что для применения однорастворного способа силикатизации определяющим фактором является емкость обмена лесовой почвы в щелочной среде, которая должна быть не менее 10 мг-экв на 100 г грунта. Все исследуемые лесовые грунты имеют емкость обмена в щелочной среде больше 17 мг-экв. на 100 г грунта. Тем не менее два образца (лессы 1 и 2) не обладают водопрочностью после закрепления. Можно предположить, что причина отличия закрепленных грунтов по водопрочности связана в основном с количественным и качественным составом глинистой фракции. Для лессовидных суглинков количество глинистой фракции составляет 33,0–18,54%. Минеральный состав глинистой фракции лессовидных суглинков отличается от лессов меньшим содержанием гидрослюды в результате увеличения количества монтмориллонита и смешанослойных минералов. А это в свою очередь приводит к увеличению адсорбирующей поверхности глинистой

Характеристика прочности образцов закрепленных лесовых грунтов в зависимости от их вещественного состава

№ п/п	Тип образца	Дисперсность, %		Пористость, %	Емкость обмена, мг-экв		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , %	$\text{CaCO}_3$ , %	$\text{Al}_2\text{O}_3$ в 1 н. $\text{NaCl}$ , %
		количество пылеватой фракции, 0,05–0,001 мм	количество глинистой фракции, <0,001 мм		нейтральная среда	щелочная среда			
1	Лесс среднесуглинистый крупнопылеватый, г. Душанбе	84,16 87,93	14,66 2,04	48,5	4,5	13,2	0,0	10,03	0,0115
	без глинистых частиц глинистая фракция				29,04			1,52	
2	Лесс среднесуглинистый крупнопылеватый, Вахшская долина	85,84 75,54	6,00 0,8	52,8	4,05	17,4	1,5	15,2	0,0045
3	Тяжелый лессовидный суглинок, Тенизская впадина	49,0 57,0	33,0 3,0	43	37	32	0,13	8,5	0,0032
4	Средний лессовидный суглинок, Чебакова-Балахтинская впадина	80,06 78,96	18,54 0	45	7,5	22,87		7,5	0,0065
	без глинистых частиц глинистая фракция				36,10			7,4	

Примечание. В числителе – данные гранулометрического анализа, в знаменателе – микроагрегатного анализа.  
 $(\text{Na}^+)$  – образцы исходного лесового грунта без карбонатов, насыщенные  $\text{Na}^+$ ;  $(\text{Ca}^{++})$  – образцы исходного лесового грунта без карбонатов, насыщенные  $\text{Ca}^{++}$ .

Таблица (окончание)

№ п/п	Минеральный состав, %	Прочность закрепленных образцов, МПа					
		хранение в воздушно-влажном состоянии, сут			хранение в воде, сут		
		1	7	30	1	7	30
1	Гидрослюдя-65 монтмориллонит+смешанослойные – 15–20 хлорит – 10 каолинит – 10	0,2–0,3	0,3–0,4	–	0–0,1	0–0,05	0
			0,1–0,3 ( $\text{Na}^+$ ) 0,5 ( $\text{Ca}^{++}$ ) 0,1–0,3 0,1–0,2				
2	Гидрослюдя-60–65 монтмориллонит+смешанослойные – 10–15 хлорит – 15 каолинит – 10	0,2–0,3	0,4–0,5 0,5 ( $\text{Ca}^{++}$ )	0,4–0,5	0–0,1	0	0
3	Гидрослюдя-40–45 монтмориллонит+смешанослойные – 35–40 хлорит – 5–7 каолинит – 10–13	0,3–0,4	0,5	–	0,3–0,4	0,3	0,3
4	Гидрослюдя-50 монтмориллонит+смешанослойные – 25 хлорит – 15 каолинит – 10	0,4–0,6	0,5–0,7 0,2–0,24 ( $\text{Na}^+$ ) 0,5–0,7 ( $\text{Ca}^{++}$ ) –1,0 0,14–0,35	1,2	0,4–0,6	0,3–0,5	0,3
			0,15–0,24				

фракции в водной среде и, следовательно, роста твердой фазы гидроксики кальция и геля кремневой кислоты, связывающих частицы необратимо между агрегатами и внутри их.

Кроме того, известно, что под действием щелочного компонента силиката натрия происходит разрушение алюмосиликатного ядра глинистых минералов в лесовых грунтах с выходом из кристаллической решетки катиона алюминия, который взаимодействует с силикатным раствором. Образовавшийся гель незначительно влияет на повышение прочности закрепленного грунта, но он служит защитным слоем для цементирующих новообразований от выщелачивающего воздействия на них агрессивной среды [5]. Следовательно, можно полагать, что и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  влияет на водопрочность исследуемых грунтов. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в 1 н. растворе  $\text{NaOH}$  в целом пропорционально количеству глинистой фракции в грунте. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в щелочной вытяжке лесов (1, 2) в 2–7 раз меньше, чем в лессовидных суглинках (3, 4), что, видимо, также приводит к их неводостойкости. Таким образом, по полученным данным, можно сказать, что прочность закрепленных образцов лесовых грунтов при хранении в воде зависит от количества и качества минерального состава глинистой фракции.

Для того чтобы выяснить роль глинистой фракции при закреплении исследуемых грунтов, нами готовились образцы из лесса (1) и лессовидного суглинка (4) без глинистых частиц и отдельно выделялась глинистая фракция из них. Эти образцы подвергались закреплению раствором силиката натрия. Для установления критерия эффективности закрепления исследуемых грунтов определялась прочность образцов на одноосное сжатие через 7 сут воздушно-влажного хранения закрепленных образцов, предполагалось, что за это время все основные реакции лесового грунта с силикатом натрия на 70% закончились.

Прочность закрепленных лесовых грунтов без глинистых частиц и отдельно глинистой фракции по сравнению с прочностью исходного грунта снижается в 2 раза. Таким образом, однородность состава грунта по дисперсности ухудшает его инженерно-геологические свойства. Видимо, структурно-текстурные особенности лесовых грунтов в их естественном состоянии (наличие скелета более крупных частиц, покрытых глинистыми пленками, и др.) положительно влияют на закрепление.

Для выяснения влияния карбонатов и обменных катионов на процесс взаимодействия данных грунтов с силикатом натрия первоначально проводилось разрушение карбонатов кальция 1 н. раствором соляной кислоты с последующим отмыванием их дистиллированной водой до потери реакции на  $\text{Cl}^-$ . После удаления карбонатов обменный комплекс грунтов в Н-форме замещался на ионы натрия или ионы кальция путем титрования их растворами (без  $\text{CO}_2$ )  $\text{NaOH}$  (1 н.) или  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (насыщенный). Затем грунт высушивался и закреплялся.

После закрепления прочность лесовых грунтов (1, 2, 4) без карбонатов, содержащих обменный кальций, так же как и после закрепления этих грунтов в естественном состоянии на 7 сут, составляет 0,5–0,7 МПа, т.е. практически не изменялась. В то же время прочность

этих же грунтов без карбонатов, но содержащих обменный натрий, снижается по сравнению с закрепленными грунтами в естественном состоянии почти в 2 раза. Это дает повод предположить, что карбонаты в изучаемых условиях за данный отрезок времени мало влияют на прочность закрепления лессовых грунтов. Полученные результаты подтверждают исследования В.Е. Соколовича, что основные реакции взаимодействия щелочного раствора силиката натрия происходят с катионом кальция обменного комплекса лескового грунта. Прочность закрепления лессовых грунтов при этом зависит от цементирующих новообразований.

Таким образом, при закреплении лессовых грунтов необходимо учитывать не только количественный, но и качественный состав глинистой фракции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.М., Липсон Г.А. Исследования процесса силикатизации лессовых пород. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 6, с. 22—25.
2. Гусев В.Г. Влияние силиката натрия на физико-химические свойства и структурообразование глинистых минералов: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Киев, 1971. 21 с.
3. Соколович В.Е. О прогнозе эффективности силикатизации лессовых грунтов. — В кн.: Материалы совещ. по закреплению и уплотнению грунтов. Тбилиси, 1964, с. 37—39.
4. Соколович В.Е. Теоретические основы силикатизации песчаных и лессовых грунтов. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1965. 28 с.
5. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1977. 128 с.

УДК 624.131.23

В.И. Сергеев, В.А. Королев, Т.Г. Шимко  
(МГУ)

#### ПРОСАДКА ЛЕССОВОГО ГРУНТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО СИЛИКАТИЗАЦИИ

В настоящее время различные химические инъекционные методы закрепления лессовых грунтов являются одним из эффективных способов устранения просадочных свойств этих пород. Среди них самое широкое распространение получили различные способы силикатизации лессовых грунтов, которые не только устраниют просадочность, но также повышают прочность грунтов и снижают их водопроницаемость. Силикатизация является пока самым эффективным средством при ликвидации аварийного состояния различных сооружений, получивших деформации в результате просадок в основаниях фундаментов.

Однако в процессе силикатизации лессовых грунтов, как известно, возникает ряд явлений, осложняющих данный процесс и снижающих эффективность данного способа. В случае лессовых пород снижение эффективности силикатизации обусловливается прежде всего сорбцией

(поглощением поверхностью грунтовых частиц того или иного количества химических компонентов инъекционного раствора), а при закреплении влажных пород – гидродисперсией (постепенным разбавлением периферийной части закачиваемого раствора водой, содержащейся в грунте). В результате самого процесса силикатизации лесовых грунтов, при котором в грунт закачивается большой объем водного раствора жидкого стекла, может возникнуть дополнительная просадка толши. При этом причиной, обуславливающей явление просадки, является непосредственно поступающий в грунт инъекционный раствор, приготовленный на водной основе.

Известно, что упрочнение структурных связей и нарастание прочности грунта в целом при силикатизации происходят во времени. Основная реакция при силикатизации лесовых грунтов осуществляется на поверхности твердой фазы гидрата окиси кальция, образовавшейся в результате реакции обмена иона натрия силикатного раствора на поглощенный катион кальция лесового грунта [1]. При этом на частицах грунта, стенках пор и капилляров образуется цементирующая пленка геля кремневой кислоты, которая вначале имеет толщину несколько микрон. Кроме того, отвердение силикатного раствора может происходить за счет алюминия, выходящего из разрушенного алюмосиликатного ядра глинистых минералов [2]. Для перехода всего раствора, имеющегося в грунте, в гелеобразное состояние требуется время от 1 до 3 сут. Согласно [3], в дальнейшем упрочнение цементирующей пленки непрерывно и интенсивно возрастает в течение 15 сут и практически заканчивается через 30 сут. Поскольку закономерности силикатизации тесно связаны с коллоидным поглощенным комплексом лесовых грунтов и, согласно [3, 4], определяются величиной поглощения этих грунтов в щелочной среде, то, очевидно, упрочнение структурных связей между частицами при силикатизации также определяется этими факторами.

С другой стороны, при взаимодействии естественного лесового грунта с водой разрушение структурных связей между частицами происходит за относительно короткий промежуток времени, обуславливая просадку. Скорость просадочных деформаций, в зависимости от структурных типов лесовых грунтов и их химико-минералогического состава, меняется от практически мгновенной (провальная просадка) до длительной, изменяющейся в течение 1–5 сут после замачивания. Детальное исследование этого вопроса, проведенное В.П. Анальевым [5], показало, что деформации просадки в образцах лесовых пород с преобладающим содержанием в тонкодисперсной фракции негидрофильных глинистых минералов (гидрослюдя, каолинит и др.) происходят относительно быстро и закачиваются полностью за 2–3 сут. Если же в породе среди глинистых минералов преобладает монтмориллонит, то происходит замедление процесса просадки. Таким образом, соотношение скоростей упрочнения и разрушения структурных связей, зависящих от структуры и химико-минералогического состава грунта, и определяет величину возможных просадок грунта в процессе его силикатизации.

Величину просадки, возникающей в процессе инъекционных работ, позволяют выявить и охарактеризовать режимные наблюдения за осад-

ками укрепляемых оснований, проводимые в периоды до начала силикатизации, во время инъекционных работ и в последующий период. Такие исследования были проведены на полиграфическом комбинате в Душанбе при закреплении основания фундамента газетной агрегатной установки (ГАУ). Здесь в результате некачественного предпостроечного уплотнения грунтовой подушки, а также нарушений в системах сбора и отвода поверхностных вод, утечек из водопроводящих инженерных коммуникаций произошло неравномерное увлажнение грунтов в основании сооружения, что привело к возникновению явлений просадочности и деформации сооружения. Указанные причины обусловили необходимость закрепления грунтов в основании здания.

Рассматриваемый участок слагают верхнечетвертичные аллювиально-пролювиальные отложения, представленные толщей лессовидных суглинков с прослойями лессовидных супесей мощностью от 0,5 до 6 м. Общая мощность лессовидных отложений более 50 м, снизу они подстилаются крупнообломочными породами, к которым приурочены грунтовые воды. Согласно петрографическим исследованиям пылеватая фракция рассматриваемых лессовых пород состоит из зерен кварца, полевых шпатов, кальцита, рудных минералов. Карбонатность пород составляет 17–18%, емкость обмена в 1 н. NaOH – 15,5 мг-экв/100 г. Сухой остаток по результатам анализа водной вытяжки составляет 0,2–0,8 г/100 г навески, pH изменяется в пределах 8,5–8,9. Естественная влажность суглинков изменяется в пределах 7,8–26% и более в случае замачивания техническими водами. Пористость колеблется от 42 до 51%, степень влажности 0,4–0,6, число пластичности равно 8–10.

Фундамент ГАУ представляет собой монолитную железобетонную плиту шириной 4,5 м, длиной 20 м. Проект предусматривал расположение инъекционных скважин с шагом 1,5 м по периметру фундамента – вертикально и под углом. Теоретический радиус распространения раствора 0,8 м. Способ закрепления – газовая силикатизация, плотность жидкого стекла 1,13 гс/см<sup>3</sup>. Для нормальной работы газетного агрегата недопустимы даже незначительные неравномерные осадки, поэтому с момента его пуска за осадками фундамента велись постоянные наблюдения, которые продолжались и в момент проведения инъекционных работ (по утвержденному графику – 2 раза в месяц) и после них. На рис. 1 представлен график развития во времени осадки ГАУ, где выделяются три участка: I – соответствует развитию деформации грунта в результате его просадки до закрепления, II – приурочен к периоду инъекционных работ и III – соответствует периоду стабилизации деформаций после силикатизации. Как видно из графика, скорость деформации неодинакова для рассматриваемых периодов I–III. На первом отрезке времени средняя скорость осадки фундамента ГАУ составляла 0,4 мм/сут. После начала инъекционных работ и в процессе силикатизации основания фундамента ГАУ скорость осадки резко увеличилась и составляла в среднем 0,73 мм/сут (II участок, см. рис. 1). К концу силикатизации скорость просадки постепенно уменьшилась и на третьем участке составляла в среднем 0,29–0,25 мм/сут. Таким образом, режимные наблюдения показывают, что в процессе силикатизации лессовидных суглинков в ос-

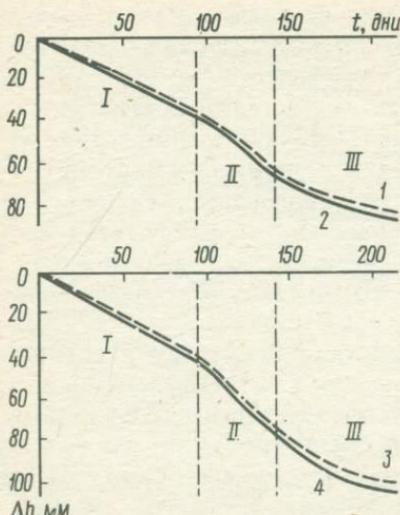


Рис. 1

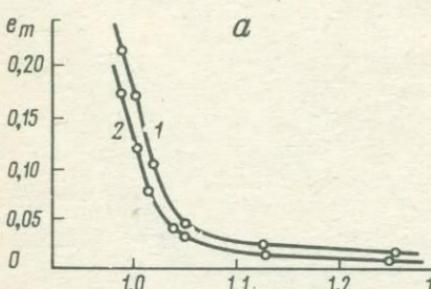


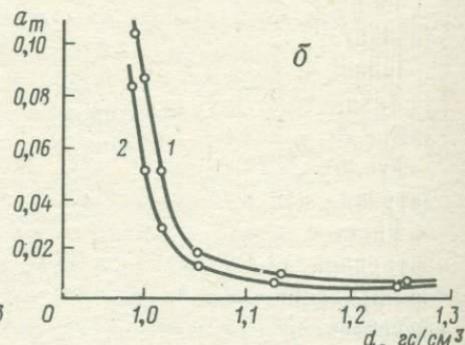
Рис. 2

Рис. 1. Развитие осадки фундамента ГАУ во времени

I — до закрепления; II — в период закрепления, III — после закрепления; 1—4 — номера марок

Рис. 2. Зависимость коэффициента макропористости (*a*) и коэффициента относительной просадочности (*b*) грунтов от плотности раствора силиката натрия *d*.

1 — образцы из района Душанбе;  
2 — образцы из района Алма-Аты



новании фундамента ГАУ просадка грунта увеличивается при инъекции раствора, что выражается в увеличении скорости осадки фундамента на данном отрезке времени, т.е. в период инъекционных работ.

С целью исследования природы просадочности, возникающей в процессе силикатизации лесовых грунтов, нами были проведены лабораторные исследования этого явления. Для исследований были взяты образцы лессовидных суглинков с описанной выше территорией полиграфического комбината в Душанбе, а также лессовидные суглинки из района Алма-Аты, имеющие одинаковый аллювиально-пролювиальный генезис и относящиеся ко II типу просадочности. Характеристика некоторых физических и физико-механических свойств исследуемых грунтов представлена ниже.

Поскольку в результате сорбции и гидродисперсии в периферийной части инъекционного раствора происходит снижение концентрации силиката натрия в растворе, это может привести к тому, что конденсационно-кристаллизационные связи лесового грунта при его контакте с таким как бы разбавленным раствором частично или полностью разрушаются. В связи с этим в первой серии опытов были проведены исследования

просадочности указанных грунтов при замачивании их растворами жидкого стекла различной концентрации в диапазоне плотностей раствора  $1,0 - 1,25 \text{ гс}/\text{см}^3$ . Опыты проводились в компрессионных приборах конструкции Литвинова при высоте образцов 2 см и площади  $50 \text{ см}^2$ . Замачивание раствором жидкого стекла осуществлялось под действием гидродинамического напора снизу вверх при нагрузке, равной 0,2 МПа. Зависимость коэффициентов относительной просадочности ( $a_m$ ) и макропористости ( $e_m$ ) от концентрации раствора силиката натрия показана на рис. 2, из которого видно, что по мере снижения концентрации взаимодействующего раствора (уменьшении плотности) происходит закономерное увеличение просадочных деформаций (рост величин  $a_m$  и  $e_m$ ), которые достигают своего наибольшего значения при замачивании образца водой. С другой стороны, при плотности раствора более  $1,13 \text{ гс}/\text{см}^3$  относительная просадочность существенно уменьшается, хотя и составляет в пределах плотности раствора  $1,13 - 1,25 \text{ гс}/\text{см}^3$  величину порядка  $0,009 - 0,0025$ . Важно отметить, что даже при замачивании высококонцентрированным раствором жидкого стекла с плотностью  $1,25 \text{ гс}/\text{см}^3$  коэффициент относительной просадочности не уменьшается до нуля, а составляет для исследуемых грунтов величины  $0,0025 - 0,004$ .

Место отбора образца	Алма-Ата	Душанбе
Глубина, м	3,7	3,0
Гранулометрический состав, %		
> 0,05	6,81	1,2
0,05 - 0,001	71,19	80,0
< 0,001	22,0	18,8
Влажность $W$ , %	18,4	7,8
Объемная масса, $\text{гс}/\text{см}^3$	1,44	1,67
Пористость $n$ , %	54,5	42,2
Число пластичности, $M_p$	8,9	9,0
Начальное давление просадки, МПа	0,03	0,055
Коэффициент относительной просадки при 0,2 МПа	0,0085	0,011
Коэффициент макропористости	0,174	0,211

Во второй серии опытов на грунтах из района Душанбе исследовалась кинетика развития просадочности во времени, начиная с момента взаимодействия грунта с растворами силиката натрия. Определение коэффициента относительной просадочности проводилось при замачивании под нагрузкой 0,2 МПа. Результаты исследований представлены на рис. 3. Из графиков видно, что при замачивании данного грунта водой около 90% просадки происходят в первые 5-10 мин, после чего скорость деформации снижается. С увеличением концентрации силиката натрия, взаимодействующего с грунтом, снижается скорость развития деформаций просадки вследствие увеличения прочности структурных связей в лессовом грунте. Изучение кинетики развития просадки во времени от момента замачивания также показало, что в зависимости от концентрации раствора силиката натрия меняется и время начала просадки. При этом снижение концентрации раствора сокращает время начала

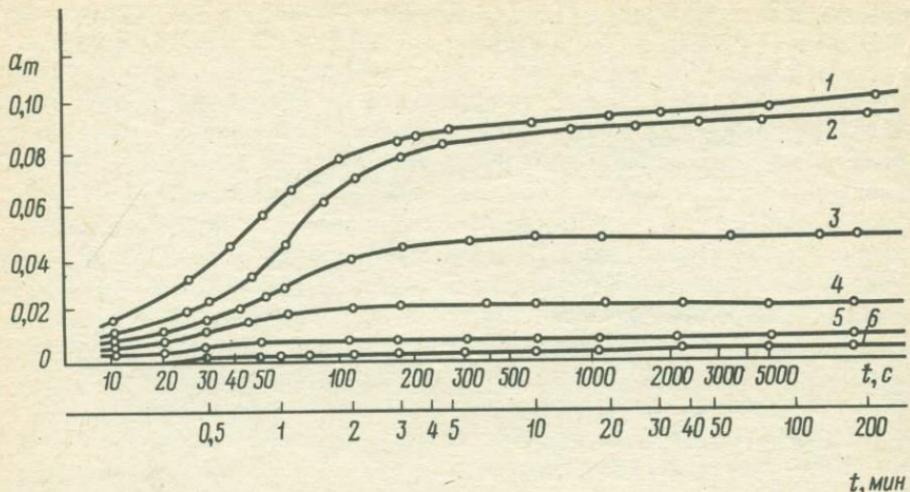


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной просадочности от времени

1 – при замачивании образца водой; растворами жидкого стекла различной плотности: 2 –  $1,005 \text{ гс}/\text{см}^3$ , 3 –  $1,015 \text{ гс}/\text{см}^3$ , 4 –  $1,050 \text{ гс}/\text{см}^3$ , 5 –  $1,13 \text{ гс}/\text{см}^3$ , 6 –  $1,25 \text{ гс}/\text{см}^3$

проявления просадки, так как снижение концентрации, а следовательно, плотности и вязкости раствора силиката натрия при прочих равных условиях способствует увеличению скорости распространения раствора в образце лесового грунта. Исследование просадочности закрепленных образцов (взаимодействующих с силикатом натрия в течение 1 сут) показало, что при их замачивании водой просадка не наблюдается, т. е. формирование просадочности при силикатизации происходит лишь в начальные моменты процесса инъекции раствора.

Вопрос о дополнительной просадке лесового грунта в ходе силикатизации, естественно, не исчерпывается результатом тех исследований, которые здесь представлены. Необходимо принять во внимание тот факт, что эффективность силикатизации зависит от емкости обмена грунта [3, 4]. При высокой величине поглощения в щелочной среде цементирующая пленка, образующаяся на зернах грунта, исключает контакт силикатного раствора с грунтом и препятствует разрушению структурных связей в процессе закрепления. Другая картина может наблюдаться при силикатизации грунта с невысокой емкостью обмена. В производственной практике в таком случае обычно не применяют способа просто силикатизации, а используют различные добавки, увеличивающие обменную способность грунта (например KCl, соединения Al и т.д.), или применяют газовую силикатизацию. При закреплении грунта способом газовой силикатизации вслед за инъекцией жидкого стекла в грунт инъецируется углекислый газ. По СНиПу перерыв между закачкой силиката натрия и последующей инъекцией углекислого газа

допускается до 30 мин. При этом грунт не способен при взаимодействии с силикатом образовать цементирующую пленку, которая предохраняла бы его структурные связи от разрушения. А, как показали наши исследования, просадочность проявляется почти полностью уже в первые 5–10 мин взаимодействия лессового грунта с поступающим раствором. В таком случае можно ожидать активных просадок грунта в ходе инъекционных работ.

На основании выполненных лабораторных исследований и полевых наблюдений можно сделать следующие выводы.

1. Одним из явлений, осложняющих силикатизацию лессовых грунтов, может быть просадочность, возникающая в результате взаимодействия грунта с инъекционным раствором, в связи с чем применение того или иного способа силикатизации на данных грунтах требует специальных исследований величины возможных дополнительных просадок грунта.

2. Формирование просадки при силикатизации происходит в начальные моменты инъекции, в первые 5–10 мин взаимодействия лессового грунта с поступающим раствором, после чего грунт становится практически непросадочным. Образование просадочных деформаций обусловливается тем, что в периферийной части инъецируемого раствора понижена концентрация силиката натрия в результате явлений сорбции или дисперсии. Чем более понижена концентрация раствора, тем сильнее формируется просадка грунта.

3. Учет просадочности, возникающей в процессе силикатизации лессовых грунтов, особенно важен при укреплении оснований существующих аварийных сооружений, так как дополнительные просадки грунта в этом случае могут еще более увеличить деформацию сооружений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аскалонов В.В. Силикатизация лессовых грунтов. М.: Госстройиздат, 1959. 334 с.
2. Одинцова Г.А. К вопросу о силикатизации лессовых грунтов. – В кн.: Тр. НИИОПС. М., 1977, вып. 66, с. 94–98.
3. Соколович В.Е., Губкин В.Н., Овчаренко А.Г. Новые способы закрепления лессовых грунтов. Днепропетровск: Кн. изд-во, 1975. 180 с.
4. Соколович В.Е. Теоретические основы силикатизации песчаных и лессовых грунтов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1965. 30 с.
5. Ананьев В.П. Минералогический состав и свойства лессовых пород. Ростов н/Д: Кн. изд-во, 1964. 143 с.

Я.М. Орлов, Т.И. Клещева  
(Ростовгипрошахт)

## ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКОВ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ОБВОДНЕНИИ

Практика строительства и эксплуатации шахт, заводов и жилых домов на глинистых слабопроницаемых грунтах в пределах восточного Донбасса (Ростовская область) имеет ряд примеров резкого подъема уровня грунтовых вод, происходящего в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Например, в процессе застройки произошло поднятие уровня грунтовых вод и обводнение ими грунтов оснований на промплощадке шахты "Майская" п.о. "Ростовуголь", на территориях пос. Майского (г. Шахты), юго-западного района г. Гукова и послевоенной многоэтажной застройки г. Новочеркасска и др.

Как показывают результаты наблюдений, обводнение грунтов оснований в процессе освоения территорий, сложенных слабопроницаемыми грунтами, является неизбежным фактором, обусловленным нарушением поверхности стока в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений. При обводнении глинистых грунтов происходит изменение их строительных свойств, что необходимо учитывать при строительстве на них. Прогноз возможного изменения инженерно-геологических свойств лессовидных пород в связи с их обводнением в условиях природного залегания представляет очень важную задачу инженерно-геологических изысканий для строительства тех или иных сооружений и в особенности сооружений с глубоким заложением фундаментов, таких, как башенные копры угольных шахт, дымовые трубы, обогатительные фабрики, высотные дома и другие сооружения.

С учетом потребностей прогноза нами детально изучены особенности геолого-литологического разреза покровных лессовидных отложений четвертичного возраста до глубины 15–20 м и их инженерно-геологические свойства как застроенных территорий, находящихся длительное время (20–25 лет) в состоянии подтопления, так и незастроенных, разведанных для перспективного строительства. При этом был обобщен значительный объем инженерно-геологических материалов, охватывающих районы городов Гукова, Новошахтинска, Шахт и Новочеркасска Ростовской области и прилегающие к ним участки.

С поверхности и до глубины 10–20 м территория сложена толщей глинистых пород, представленных покровными лессовидными суглинками склонов и водоразделов золово-делювиального происхождения четвертичного возраста, которые служат естественным основанием подавляющего большинства промышленных и гражданских зданий и сооружений, находящихся в безаварийной эксплуатации несколько десятков лет. Лессовидные суглинки залегают обычно на водоупорных "скифских" глинах или непосредственно на скальных породах карбона, выраженных преимущественно глинистыми и песчано-глинистыми сланцами и песчаниками с отдельными прослойками углей.

Рис. 1. Литологический разрез района г. Гуково Ростовской обл.

1 — суглинки желто-бурые золово-делювиальные четвертичные; 2 — суглинки коричневато-бурые четвертичные; 3 — глины "скифские"; 4 — кривая изменения коэффициента пористости желто-бурых суглинков с глубиной; 5 — то же коричневато-бурых суглинков; 6 — уровень грунтовых вод

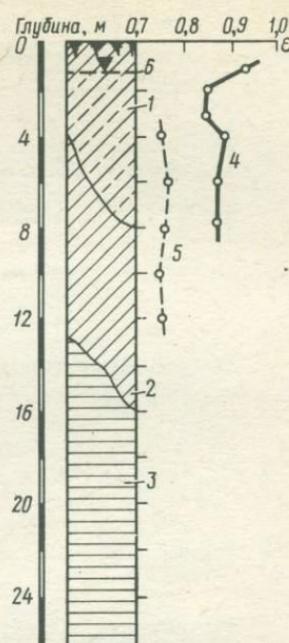
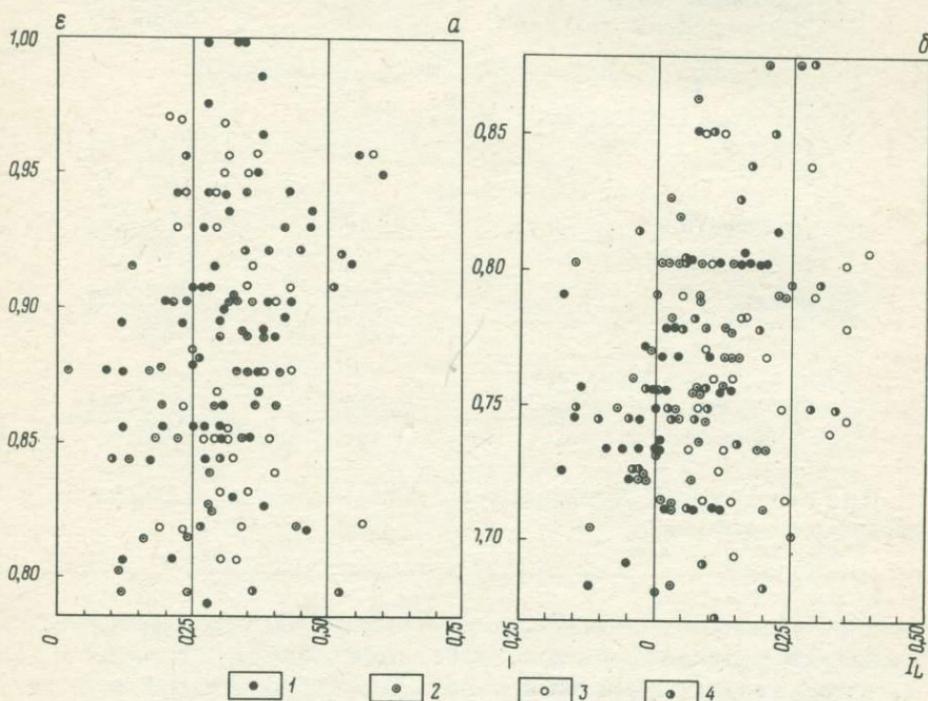


Рис. 2. График рассеяния значений показателя консистенции водонасыщенных лессовидных суглинков желто-бурового (а) и коричневато-бурового (б) цвета района Ростовской области

1 — Гуково; 2 — Новошахтинск; 3 — Шахты;  
4 — промплощадки шахты "Обуховская № 1",  
разведенной на перспективу



Физические характеристики покровных лессовидных суглинков эолово-делявиального происхождения четвертичного возраста

№/п	Район, объект	Количество образцов	Природная влажность,
			доли единицы

Суглинки желто-бурые водонасыщенные

Застроенные территории

1	Гуково	48	<u>0,242–0,349</u> 0,279
2	Новошахтинск	44	<u>0,240–0,309</u> 0,273
3	Шахты	39	<u>0,234–0,314</u> 0,269

Незастроенные территории

1	Промплощадка шахты "Обуховская № 1"	13	<u>0,239–0,298</u> 0,280
---	--	----	-----------------------------

Суглинки коричневато-бурые водонасыщенные

Застроенные территории

1	Гуково	40	<u>0,220–0,282</u> 0,247
2	Новошахтинск	56	<u>0,216–0,297</u> 0,249
3	Шахты	23	<u>0,219–0,272</u> 0,249

Незастроенные территории

1	Промплощадка шахты "Обуховская № 1"	31	<u>0,216–0,293</u> 0,253
---	--	----	-----------------------------

Примечание. В числителе – граничные значения, в знаменателе – среднеарифметические.

В результате обобщения фактического материала инженерно-геологических изысканий было установлено, что в границах описываемой территории толща лессовидных отложений имеет повсеместно однотипный разрез как на застроенных территориях, находящихся в состоянии подтопления, так и на незастроенных, разведенных на перспективу. Примерный типовой разрез лессовидных отложений показан на рис. 1. Как видно из рис. 1, в вертикальном разрезе в толще лессовидных

Удельный вес, гс / см <sup>3</sup>	Объемный вес, гс/см <sup>3</sup>		Коэффициент пористости
	при природной влажности	сухого грунта	

Суглинки желто-бурые водонасыщенные

<u>2,71–2,74</u> 2,72	<u>1,69–1,94</u> 1,83	<u>1,34–1,50</u> 1,43	<u>0,807–1,045</u> 0,908
<u>2,71–2,74</u> 2,73	<u>1,79–1,92</u> 1,85	<u>1,40–1,52</u> 1,45	<u>0,795–0,986</u> 0,882
<u>2,71–2,74</u> 2,73	<u>1,64–1,90</u> 1,84	<u>1,33–1,51</u> 1,45	<u>0,807–1,060</u> 0,886

Суглинки коричневато-бурые водонасыщенные

<u>2,71–2,74</u> 2,73	<u>1,85–2,00</u> 1,94	<u>1,45–1,62</u> 1,55	<u>0,683–0,890</u> 0,761
<u>2,71–2,74</u> 2,74	<u>1,83–2,02</u> 1,92	<u>1,42–1,63</u> 1,54	<u>0,702–0,930</u> 0,778
<u>2,71–2,74</u> 2,72	<u>1,88–1,98</u> 1,93	<u>1,43–1,60</u> 1,55	<u>0,694–0,807</u> 0,759

<u>2,71–2,74</u> 2,73	<u>1,86–2,00</u> 1,93	<u>1,46–1,65</u> 1,54	<u>0,671–0,890</u> 0,772
--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------------

суглинков по цвету выделяются обычно два слоя – верхний слой, представленный желто-бурой разностью, и нижний слой, представленный коричневато-бурой разностью. В местах их совместного залегания контакт между ними носит довольно четкий характер и легко устанавливается визуально при проходке разведочных выработок. Обе разности глинистых грунтов отличаются между собой и по показателям физических свойств (см. таблицу).

Таблица (окончание)

№ п/п	Район, объект	Количество образцов	Пластиность	
			верхний предел	доля единицы
			доля единицы	
Суглинки желто-бурые водонасыщенные				
1	Застроенные территории Гуково	48	<u>0,357–0,360</u> 0,399	
2	Новошахтинск	44	<u>0,357–0,472</u> 0,408	
3	Шахты	39	<u>0,336–0,463</u> 0,394	
1	Незастроенные территории Промплощадка шахты "Обуховская № 1"	13	<u>0,326–0,401</u> 0,372	
Суглинки коричневато-бурые водонасыщенные				
1	Застроенные территории Гуково	40	<u>0,373–0,500</u> 0,434	
2	Новошахтинск	56	<u>0,360–0,531</u> 0,434	
3	Шахты	23	<u>0,364–0,437</u> 0,390	
1	Незастроенные территории Промплощадка шахты "Обуховская № 1"	31	<u>0,367–0,506</u> 0,416	

Плотность желто-бурых суглинков колеблется от 1,33 до 1,52 и в среднем равна 1,45–1,47 гс/см<sup>3</sup>. По данным массовых определений нормативное значение коэффициента пористости для этих грунтов выше 0,800 и для различных участков колеблется от 0,872 до 0,908. При степени влажности 0,8–0,95 желто-бурые суглинки имеют средневзвешенную природную влажность порядка 0,27–0,28 в долях единицы. Показатель консистенции их при этом изменяется в основном в пределах от 0,25 до 0,50 и редко достигает больших значений (рис. 2, а). Желто-бурые суглинки природной влажности обладают просадочными свойствами при замачивании под действием дополнительной нагрузки.

№ п/п	Район, объект	Количество образцов	Пластиность		Коэффициент консистенции	Степень водона- сыщения
			нижний предел	число пласти- чности		
			доля единицы			
Суглинки желто-бурые водонасыщенные						
1			<u>0,190–0,274</u> 0,244	<u>0,137–0,220</u> 0,175	<u>0,09–0,60</u> 0,31	<u>0,8–1,0</u> 0,85
2			<u>0,188–0,250</u> 0,221	<u>0,114–0,231</u> 0,187	<u>0,02–0,56</u> 0,28	<u>0,8–1,0</u> 0,85
3			<u>0,178–0,243</u> 0,210	<u>0,128–0,237</u> 0,184	<u>0,16–0,58</u> 0,32	<u>0,8–0,9</u> 0,8
1			<u>0,180–0,241</u> 0,209	<u>0,133–0,182</u> 0,163	<u>0,10–0,52</u> 0,44	<u>0,8–0,9</u> 0,9
Суглинки коричневато-бурые водонасыщенные						
1			<u>0,217–0,284</u> 0,242	<u>0,140–0,238</u> 0,192	<u>-0,17–0,23</u> 0,03	<u>0,8–1,0</u> 0,9
2			<u>0,177–0,270</u> 0,232	<u>0,113–0,301</u> 0,202	<u>-0,15–0,26</u> 0,08	<u>0,8–1,0</u> 0,9
3			<u>0,174–0,243</u> 0,214	<u>0,150–0,224</u> 0,176	<u>0,06–0,39</u> 0,198	<u>0,8–1,0</u> 0,9
1			<u>0,195–0,269</u> 0,234	<u>0,150–0,261</u> 0,185	<u>-0,15–0,33</u> 0,11	<u>0,8–1,0</u> 0,9

Коричневато-бурые разности лессовидных суглинков в сравнении с желто-бурыми характеризуются более плотным сложением. По данным массовых определений нормативное значение плотности коричневато-бурых суглинков колеблется в пределах 1,54–1,56 гс/см<sup>2</sup>. Среднее значение коэффициента пористости всегда меньше 0,800 и колеблется в пределах от 0,759 до 0,778. Обладая пониженной пористостью, эти грунты проявляют слабую просадочность. Другие показатели, характеризующие физические свойства коричневато-бурых суглинков, залегающих ниже уровня грунтовых вод, приведены в таблице.

В условиях полного водонасыщения коричневато-бурые суглинки

имеют природную влажность, изменяющуюся в среднем в пределах от 0,247 до 0,253 в долях единицы. Как видно из данных обобщений, эти грунты в условиях природного залегания характеризуются преимущественно полутвердой ( $0 < I_L < 0,25$ ) и тугопластичной ( $0,25 < I_L < 0,5$ ) консистенцией (рис. 2, б).

При прогнозируемом подъеме уровня грунтовых вод в процессе застройки той или иной территории, сложенной покровными лессовидными суглинками четвертичного возраста, последние окажутся обводненными в результате насыщения их грунтовой водой вновь образующегося техногенного водоносного горизонта. Таким образом произойдет в той или иной мере изменение физико-механических свойств грунтов. Эти изменения должны заведомо учитываться при выборе расчетных значений характеристик грунтов при проектировании зданий и сооружений на подтапливаемых территориях.

В соответствии с требованиями нормативных документов при возможном замачивании глинистых грунтов оснований во всех расчетах значения угла внутреннего трения, удельного сцепления и модуля деформации должны приниматься применительно к случаю, когда степень влажности  $\geq 0,8$ . Кроме того, указанные показатели должны приниматься в зависимости от консистенции грунтов, которую они приобретут при насыщении водой.

Согласно п. 3.16 СНиП II-15-74, допускается в ряде случаев по физическим характеристикам, полученным на основе непосредственных определений, принимать нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик по таблицам, приведенным в том же СНиП.

Следовательно, в тех случаях, когда при изысканиях выполнено определение только физических характеристик грунтов при природной влажности в достаточном количестве, нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов могут приниматься по таблицам СНиП II-15-74 с учетом прогнозируемой консистенции, которую приобретут грунты оснований на той или иной площадке при подтоплении.

Исходя из данных обобщений инженерно-геологических материалов, лессовидные суглинки желто-бурого цвета при прогнозируемом насыщении их водой, как правило, будут иметь тугопластичную консистенцию ( $0,25 < I_L \leq 0,5$ ). Только в редких случаях они могут иметь мягкопластичную консистенцию. Однако такие случаи, как показали данные обобщений (см. рис. 2, а), весьма редки, а поэтому в расчет не должны приниматься. Учитывая сказанное, нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик для этих грунтов, в случае их определения по таблицам СНиП II-15-74, должны приниматься при показателе консистенции, равном 0,5.

Суглинки коричневато-бурового цвета при насыщении их водой ( $G = 0,8 - 0,9$ ) имеют полутвердую консистенцию ( $0 < I_L \leq 0,25$ ), при которой коричневато-бурые суглинки независимо от возможного водонасыщения будут характеризоваться, согласно табл. 2-3, прил. 2 СНиП II-15-74, теми же значениями прочностных и деформационных характеристик, которые присущи им до обводнения их грунтовыми водами.

Таким образом, при проектировании оснований, сложенных суглинками коричневато-бурового цвета четвертичного возраста в тех случаях, когда для этих грунтов уже определены непосредственным путем их физические характеристики, прочностные и деформационные характеристики могут приниматься по соответствующим таблицам СНиП II-15-74, как для грунтов полутвердой консистенции, независимо от прогнозируемого обводнения их. Принимая во внимание, что прочностные и деформационные характеристики коричневато-бурых суглинков при замачивании практически не снижаются, при устройстве свайных фундаментов прорезка их сваями может не производиться. В случае прорезки сваями вышележащих просадочных суглинков желто-бурового цвета нижние концы свай могут заглубляться не менее чем на 1 м в слой коричневато-бурых суглинков.

Расчетные сопротивления коричневато-бурых суглинков под нижним концом  $R$  и на боковой поверхности свай и модуль деформации  $E$  должны приниматься по значению показателя консистенции, который для этих грунтов не превышает 0,25 при степени влажности  $> 0,8$ .

УДК 624.131.23

Э.И. Ткачук

(Новочеркасский политехнический ин-т)

## О ПРОГНОЗЕ ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ВЛАЖНОСТИ

В процессе строительства и эксплуатации инженерных сооружений происходят изменения физико-механических свойств грунтов, которые в значительной мере обусловлены изменением влажности горных пород при подъеме уровня грунтовых вод. При этом просадочные свойства лессовых отложений реализуются лишь частично, в связи с чем возникает задача прогноза просадочности в изменившихся условиях.

Для оценки возможности решения поставленной задачи исследованы физические свойства и коэффициент относительной просадочности ( $\delta_{\text{пр}}$  при нагрузке 0,3 МПа) лессовых отложений на 14 объектах инженерно-геологических изысканий в Ростовской области, на Украине, в Ставропольском и Краснодарском краях. В число объектов входили как неосвоенные (в хозяйственном отношении), так и застроенные территории. По каждому из объектов получено от 27 до 275 определений показателей свойств.

Для качественной оценки влияния степени обводненности пород на закономерности изменения просадочности и физических свойств упомянутые участки разделены на 4 группы по типам режима физического состояния пород (в понимании В.Д. Ломтадзе [1970]): I – порода сухая, II – порода влажная, III – влажная или насыщенная водой, IV – порода ниже уровня грунтовых вод. Установлено не только известное различие просадочности пород выделенных групп ( $\delta_{\text{пр}} = 0,09; 0,03 + 0,07; 0,01 + 0,03; < 0,01$  соответственно), но также существенное изменение

параметров зависимостей просадочности от физических свойств. Например, для наиболее типичных участков — представителей I—IV типов физического состояния пород — влияние пористости  $n$  (%) на коэффициент относительной просадочности отображается соответственно следующими уравнениями:

$$\delta_{\text{пр}} = 0,0098n - 0,378; \quad \delta_{\text{пр}} = 0,0058n - 0,215;$$

$$\delta_{\text{пр}} = 9 \cdot 10^{0,05n-4} \approx 0,0021n - 0,070; \quad \delta_{\text{пр}} = -0,0001n + 0,008.$$

При этом на застроенных участках (г. Ростова-на-Дону)  $\delta_{\text{пр}} \approx 0,0013n - 0,047$ .

Существенно различаются также параметры уравнений коэффициентов относительной просадочности по иным показателям физических свойств пород, что потребовало количественного изучения закономерностей изменения этих параметров. Установлено, что коэффициенты  $b_{\delta-X}$  и свободные члены регрессии  $a_{\delta-X}$  значений  $\delta_{\text{пр}}$  по показателям свойств  $X$  зависят от влажности или степени влажности  $G$ . Например, коэффициенты приведенных выше уравнений  $b_{\delta-n} \approx 0,0125 - 0,0167$ ;  $a_{\delta-n} \approx 0,746 - 0,51$ .

С увеличением  $G$  уменьшаются также коэффициенты корреляции  $\delta_{\text{пр}}$  и  $n$  (от  $0,54 + 0,75$  при  $G=0,15+0,30$  до  $0,1+ -0,1$  при  $G=0,65+0,80$ ), однако остается существенной зависимость просадочности от влажности ( $r = -0,3+ -0,7$  при максимальном из приведенных значений  $G$ ). Это потребовало оценки параметров множественной регрессии коэффициентов относительной просадочности по пористости и влажности. Для упомянутых выше участков — представителей I—IV типов физического состояния пород получено соответственно

$$\delta_{\text{пр}} = 0,0098n - 0,05W - 0,380; \quad \delta_{\text{пр}} = 0,0090n - 0,31W - 0,30;$$

$$\delta_{\text{пр}} = 0,0024n - 0,33W - 0,026; \quad \delta_{\text{пр}} = 0,0001n - 0,07W + 0,016.$$

При этом на участке старой застройки территории г. Ростова-на-Дону  $\delta_{\text{пр}} = 0,0016n - 0,19W - 0,024$ , на ближайшем из незастроенных участков  $\delta_{\text{пр}} = 0,0034n - 0,37W - 0,071$ .

Параметры приведенных зависимостей, как и в предыдущем случае, существенно различны. При этом для ограниченных в пространстве геолого-генетических комплексов пород рассмотренные зависимости удовлетворительно отображаются прямой линией

$$\delta_{\text{пр}} = a_1 n + a_2 W + a_3 \tag{1}$$

(возможна также экспериментальная форма связи, особенно для пород II—III типов физического состояния). Изучение закономерностей изменения параметров уравнения (1) показало, что они также в наибольшей мере зависят от степени влажности или влажности.

В последнем случае

$$a_1 = 0,0153 - 0,078W; \tag{2}$$

$$a_2 = 4W - 0,85; \tag{3}$$

$$a_3 = 0,60 - 0,8241gW. \tag{4}$$

При этом с увеличением степени влажности существенно уменьшается относительная информативность пористости и увеличивается информативность влажности о просадочности, несколько уменьшаются коэффициенты множественной корреляции уравнения (1), уменьшается абсолютная и увеличивается относительная погрешность косвенной оценки просадочности по пористости и влажности.

В связи с ограниченным объемом выработки (14 объектов), использованной при изучении закономерностей изменения коэффициентов уравнения (1), параметры зависимостей (2)–(4) определены приближенно. Тем не менее эти зависимости тесные и достоверные. Так, уравнения (2)–(4) характеризуются коэффициентами корреляции, равными соответственно 0,80; -0,83 и 0,71. Несколько выше достоверность оценки параметров  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  по комплексу косвенных характеристик, включающему степень влажности, ее стандарт и коэффициент корреляции влажности и пористости (либо влажности и объемного веса): коэффициенты множественной корреляции увеличиваются соответственно до 0,89; 0,93 и 0,75.

Следует отметить также возможность прогноза статистических показателей, необходимых для получения параметров уравнения (1): средних значений относительной просадочности, среднеквадратичных отклонений и коэффициентов корреляции просадочности с пористостью и влажностью (либо с объемным весом). Коэффициенты множественной корреляции этих показателей с комплексом косвенных характеристик достигают 0,85–0,97. При этом существенную дополнительную информацию о некоторых прогнозируемых показателях предоставляют граница раскрытия, глубина и стандарт глубины опробования пород.

Полученные результаты позволяют отметить наличие реальных предпосылок прогноза просадочности лессовых пород при изменении их влажности в процессе строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

## ИЗМЕНЕНИЕ И ПРОГНОЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

УДК 624.131.551

Н.И. Кригер, А.Д. Кожевников  
(ПНИИС, Москва)

### ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ

Техногенез – мощная сила, преобразующая планету, и с течением времени роль этой силы непрерывно возрастает. Представляет интерес общее направление развития техногенеза, влияющее и на изменение грунтов. Техногенез приводит к образованию очень сложно построенной ноосфера (техносфера), маловероятной в изолированной системе. Однако с термодинамической точки зрения эта система не является изолированной, так как в основе техногенеза лежит переработка притекающей к Земле космической (главным образом солнечной) энергии в земные ее виды. Эта переработка идет с большими энергетическими потерями, а происходящий при этом рост энтропии прекрасно виден на процессах загрязнения среды.

Ниже рассмотрим некоторые техногенные процессы, имеющие значение в связи со строительством в сейсмоопасных районах. Техногенез может значительно влиять на сейсмический режим территории и изменять интенсивность сотрясений грунтов на участках застройки. Со строительством высотных плотин и созданием водохранилищ, откачками воды, нефти и газа (или же наоборот, закачками жидкостей) при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, проведением крупных промышленных взрывов связано возникновение возбужденных (техногенных) землетрясений.

Мировая сейсмология знает уже много случаев, когда возникновение или повышение сейсмической активности явилось следствием создания крупных водохранилищ. При этом некоторые землетрясения имели магнитуду более 6 и сопровождались разрушениями.

Примером возбужденной сейсмичности в СССР может быть усиление сейсмической активности в районе строительства Нуракской плотины в Таджикской ССР [1]. Здесь в процессе наполнения водохранилища резко возросло количество землетрясений. Гипоцентры были приурочены непосредственно к водохранилищу на глубине до 5 км. Имеются данные о возбужденной сейсмичности в связи со строительством и других крупных водохранилищ (Чарвакского, Чиркейского и т. д.). Примером земле-

трясений, возбужденных длительной (около 80 лет) разработкой нефтяных месторождений, служит Старогрозненское землетрясение в 1971 г. с эпицентром к северо-западу от г. Грозного. Справедливо ставится вопрос о возможности использования мощных взрывов с целью имитирования слабых землетрясений для снятия напряжений в земной коре и уменьшения возможности возникновения сильного землетрясения [1].

При сейсмическом районировании (на всех трех его стадиях – обзорном, детальном и микрорайонировании) необходим учет возможности возникновения возбужденных землетрясений, иногда даже в сейсмичных зонах.

Ниже приведем техногенные явления, имеющие большое значение для собственно сейсмического микрорайонирования.

1. Воздушение экзогенных процессов – оползней, обвалов, провалов, сейсмических селей и просадок. До сих пор они с инженерно-сейсмической точки зрения остаются слабо изученными. Для сейсмического микрорайонирования необходима разработка методов прогноза и картирования процессов, вызванных землетрясениями, в различных геоморфологических, инженерно-геодинамических и грунтовых условиях. За последнее время получил проработку вопрос о сейсмических просадках [2, 7]. Под термином "сейсмическая просадка" нами понимается дополнительное уплотнение грунта под действием сейсмической энергии после его техногенного увлажнения.

2. Подтопление территорий и связанное с ним изменение свойств грунтов. Особенно широкое распространение имеет самоподтопление застроенных площадок в области развития лесовых и других суглинистых грунтов, вызываемое потерями воды из подземных коммуникаций. При этом необходимо различать случаи явного и неявного подтопления. В первом случае происходит образование в грунтах техногенного горизонта (или значительное поднятие уровня существующего горизонта грунтовых вод). В результате этого явления может происходить значительное изменение инженерно-сейсмологической обстановки территории. Например, в районе г. Явана ТаджССР подтопление территории привело к увеличению сейсмической интенсивности до 2 баллов [2, 6, 8]. Во втором случае образование водоносного горизонта не происходит, а имеет место лишь некоторое повышение влажности грунтов. Изменение влажности в лесовых грунтах с 10 до 20% влечет за собой уменьшение прочности структурных связей и предрасположенность грунтов к сейсмическим просадкам. Приращение сейсмического балла в этом случае +1 [2].

3. Осушение территорий и опускание уровня грунтовых вод (УГВ) в связи с откачками воды для целей водоснабжения и мелиорации грунтов. Нашиими работами 1976–1978 гг. для территории г. Алма-Аты установлено, что при переслаиваний галечников с супесчано-суглинистыми отложениями техногенное водопонижение приводит к улучшению инженерно-сейсмологических условий [3]. Однако необходимо иметь в виду, что при водопонижении в некоторых литологических разностях (суглинках) может длительное время сохраняться повышенная влажность. Это может замедлить улучшение инженерно-сейсмологической обстановки.

#### 4. Неленаправленные методы укрепления грунтов – обжиг, силиканизация и другие, приводящие к улучшению инженерно-сейсмологической обстановки территории.

Техногенные изменения инженерно-сейсмических условий связаны с изменением водного режима грунтов и гидрологической обстановки. После застройки территории условия так сильно изменяются, что нередко требуется повторение сейсмического микрорайонирования.

Глубина УГВ, в том числе техногенного УГВ, при сейсмическом микрорайонировании учитывается путем введения поправки в приращение сейсмического балла  $\Delta J$  [9]. Подход к введению поправки должен быть различным в зависимости от равновесного или неравновесного состояния воды в водоносном горизонте, а также литологии водоносного горизонта. В песчаных горизонтах при наличии термодинамического равновесия, по-видимому, может быть использована поправка по С.В.Медведеву. В суглинистых и лессовых грунтах даже при отсутствии водоносного горизонта приращение балла зависит от влажности грунтов (консистенции). Для лессовых грунтов на основе сейсмических и сейсморазведочных данных нами составлена таблица приращения  $\Delta J$ . Приращение  $\Delta J$  при наличии водоносного горизонта в лессовых грунтах может быть подсчитано по эмпирической формуле [2]  $\Delta J = 2,2/100,2h$ , где  $h$  – глубина УГВ в метрах.

В настоящее время назрела необходимость при изучении сейсмических свойств грунтов использовать не только традиционные методы механики (динамики грунтов), но и методы физической химии. Такое направление исследований мы назвали сейсмическим грунтоведением [4]. Некоторые новые дисциплины – механохимия, молекулярная акустика – помогают развитию сейсмогрунтоведения.

Сейсмогрунтоведение охватывает широкий круг вопросов влияния физико-химических процессов (массоперенос, перенос энергии, расклинивание агрегатов грунтов тонкими водными пленками, нарушение термодинамического равновесия поровой воды) на сейсмические свойства грунтов, влияние прохождения сейсмической энергии на прочность структурных связей и состояние органических веществ в грунтах, на агрегатное состояние воды и т.д. [5]. Мы здесь приведем лишь два примера.

В майкопских глинах, начиная с некоторого порогового значения влажности, скорости волн  $V_p$  заметно падают. Подобное явление раньше изучено на примере лесса [5]. Падение скоростей при увеличении влажности объясняется расклиниванием агрегатов в грунте тонкими водными пленками, а также набуханием (разуплотнением) глин.

Второй пример дают окрестности г. Яvana, где в результате замачивания лессовых грунтов произошло поднятие УГВ. Однако интерпретация данных сейсморазведки методом КМПВ показала положение преломляющей границы на уровне, отвечающем первоначальному (до замачивания) положению УГВ. Это объясняется неравновесным состоянием техногенного водоносного горизонта. Сейсморазведка обнаружит новый УГВ лишь через некоторое время (в лессовых грунтах – через несколько лет), когда новый водоносный горизонт придет в состояние термодинамического равновесия с окружающей средой, т.е. установится

уровненный режим, растворяется и вытесняется из воды мелкие пузырьки воздуха и т.д.

Можно сделать вывод, что физико-химические процессы влияют на сейсмические свойства грунтов. Это обстоятельство важно для изучения влияния техногенеза на сейсмическую опасность, поскольку техногенез обычно нарушает термодинамическое равновесие природных процессов и вызывает развитие разнообразных физико-химических процессов в грунтах.

Мы лишь кратко остановились на основных вопросах, связанных с техногенным изменением свойств грунтов сейсмоопасных территорий. Очевидно, что карта сейсмического микрорайонирования должна быть прогнозной, учитывающей изменение инженерно-сейсмических условий в результате техногенеза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. — М.: Наука, 1977. 190 с.
2. Кожевников А.Д. Изменение сейсмических свойств лесовых грунтов при обводнении территорий (исследования для целей сейсмического микрорайонирования): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1977. 21 с.
3. Кригер Н.И., Адиков М.Т., Баулин Ю.И. и др. Инженерно-сейсмические условия территории г. Алма-Аты в связи с понижением уровня грунтовых вод. — В кн.: Тез. докл. Всесоюз. семинара "Сейсмическое микрорайонирование в инж. изыск. для стр-ва". М.: ПЭМ Госстроя СССР, 1979, с. 91–92.
4. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. Сейсмическое грунтоведение и вопросы сейсмического микрорайонирования. — В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Кишинев, 1979, с. 81–89.
5. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. О значении явлений переноса для формирования сейсмических свойств пород. — В кн.: Инженерно-геологические основы сейсмического микрорайонирования. Ташкент: ФАН, 1975, с. 64–75.
6. Кригер Н.И., Кожевников А.Д., Котельникова Н.Е. и др. Изменение влажностного режима и сейсмических свойств лесовых грунтов зоны аэрации на застроенных территориях. — В кн.: Подтопление застраиваемых территорий грунтовыми водами и их инженерная защита. Ташкент: ФАН, 1978, с. 50–53.
7. Кригер Н.И., Кожевников А.Д., Лаврусевич С.И. Сейсмические просадки. — В кн.: Инженерно-геологические основы сейсмического микрорайонирования. Ташкент: ФАН, 1975, с. 76–85.
8. Кригер Н.И., Миндель И.Г., Кожевников А.Д. Сейсмические свойства лесовых пород. — В кн.: Методика оценки сейсмической опасности территорий. М.: Стройиздат, 1978 (Тр. ПНИИС; вып. 57), с. 5–26.
9. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Стройиздат, 1962. 284 с.

А.Д. Жигалин, Г.Л. Кофф, Ю.Ф. Янченко  
(Институт литосферы АН СССР, Москва)

**РЕЖИМНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ГОРОДАХ  
КАК СПОСОБ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ  
В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕХНОГЕНЕЗА**

Выяснение условий, приводящих к изменению инженерно-геологических свойств, а также изучение характера этих изменений представляют несомненный интерес с точки зрения прогнозирования наиболее вероятных значений параметров инженерно-геологической среды в городах при перспективном планировании их развития. В обычных условиях свойства грунтового массива можно представить в виде непрерывно изменяющейся функции многих аргументов. Доминирующую роль среди этих аргументов играют геологическое строение, литологический состав, состояние грунтового массива, наличие и формы проявления различных энергетических полей, которые являются сложными функциями целого комплекса параметров.

Изменениям грунтовых массивов способствует непрерывное воздействие на них естественных процессов. Вследствие этого воздействия происходит постепенная трансформация параметров, в своей совокупности определяющих свойства массива. К числу таких процессов можно отнести региональные изменения климатических условий, действие выветривания, солнечную радиацию, воздействие естественных электромагнитных полей и т. п. К упомянутым естественным процессам добавляются, а в условиях городов приобретают решающее значение искусственно стимулируемые (техногенные) процессы, обусловленные урбанизацией и индустриализацией. По выражению академика А.В. Сидоренко, "антропогенные (в тексте "техногенные") геологические процессы по масштабам и интенсивности превосходят многие естественные геологические процессы и явления, а по времени они развиваются во много раз быстрее".

Техногенные процессы, благодаря высокой интенсивности и сосредоточенности, в пределах городских территорий оказывают влияние на течение естественных процессов, замедляя или ускоряя последние. К примеру, для Москвы с городами-спутниками — Химками, Балашихой, Люберцами и т. д. — объем грунта, подверженного воздействию города, составляет примерно 50 км<sup>3</sup>. В пределах этого объема грунта наблюдается совокупное воздействие теплофикационных сетей, горячих цехов, холодильных установок, расположенных в земле линий метрополитена, станций, коллекторов и т. п. ТЭЦ и горячие цеха предприятий вызывают под ними прогрев грунта и грунтовых вод до 50–60°С. Замораживание грунта при проходке линий метрополитена, при строительстве котлованов для фундаментов сооружений и подземных станций метрополитена в застроенных районах приводят к созданию локализованных объемов грунта с температурой от –15 до –20°С. Вследствие этого существенным образом меняются свойства самого грунта и нарушается естеств-

венное движение фильтрующейся воды, поскольку мерзлая толща непроницаема для нее. Следует иметь в виду, что при естественном режиме размораживания грунт в замороженном состоянии может сохраняться в течение ряда лет. Например, при строительстве морского дока замороженный грунт под слоем воды сохранялся в течение 12 лет.

Совокупное воздействие техногенных и естественных процессов приводит к тому, что все параметры (или большинство из них), определяющие свойства грунтового массива в пределах территории городских агломераций, необратимым образом изменяются. Таким образом, если провести исследования инженерно-геологических свойств грунтового массива в разное время, то можно получить существенно различные результаты. Степень различия будет тем значительнее, чем больше интервал времени, разделяющий циклы проведения наблюдений, и чем существеннее влияние естественных и техногенных процессов.

Комплексные эпизодические исследования инженерно-геологических свойств грунтового массива представляют собой своего рода "моментальные фотографии" ситуации, создавшейся ко времени проведения исследований. Однако остается неясным вопрос, каким образом, непрерывно или дискретно, плавно или резко, происходили изменения. Для того, чтобы иметь возможность ответить на эти вопросы, а также для надежного прогнозирования необходимо интервалы времени между циклами наблюдений сокращать, а число исследуемых параметров, определяющих свойства грунтового массива, увеличивать. Увеличение информативности, необходимое для обоснованного прогноза, влечет за собой существенное возрастание технических трудностей, а также затрат времени и средств на проведение исследований. Это неизбежно, поскольку комплексное изучение инженерно-геологических свойств грунтового массива предполагает проведение в большом объеме полевых испытаний и лабораторных исследований.

Разрешение этого противоречия возможно, если шире использовать геофизические методы. Многие из указанных выше факторов, определяющих свойства грунтового массива, отображаются геофизическими параметрами: величиной удельного электрического сопротивления, поляризуемостью, диэлектрической проницаемостью, скоростью прохождения сейсмических волн, радиоактивностью, температурой и т.д. Влажность пород, например, устойчиво связана с величиной удельного электрического сопротивления; степень водонасыщенности, крепость или, наоборот, разрушенность пород связаны с диэлектрической проницаемостью, поляризуемостью, скоростью прохождения сейсмических волн. Установлено, что изменение напряженного состояния, наблюдающееся во время микросдвигов внутри массива, может отображаться в виде изменения эманационного поля. С другой стороны, естественные и техногенные физические поля, например температурное, ионизирующее, поле блуждающих токов, сейсмическое, магнитное, оказывают воздействие на инженерно-геологическую среду, также вызывая ее изменения. Значительное повышение температуры в пределах ограниченных территорий (до 10–12°C, а в пиках до 50–60°C), вызванное технологическими особенностями производства, влияет на инженерно-геологические свойства грунтового массива в целом посредством

изменения отдельных факторов, определяющих этих свойства. Так, например, общее повышение температуры грунта неизбежно приводит к повышению температуры грунтовых вод, это может привести к увеличению их растворяющей способности и повышению содержания в них углерода и серы вблизи источников тепла, которые являются активными коррозионными агентами. Утечка радиоактивных веществ может привести к возникновению радиоактивной коррозии. Поля бляждающих токов представляют собой явление, вызывающее особое беспокойство с точки зрения городского хозяйства и состояния геологической среды на территории города.

Помимо прямого коррозионного воздействия на металлические конструкции и подземные коммуникации, эти токи способствуют возникновению существенных по величине осмотических явлений и электрофореза, вызывающих перераспределение влаги и солей внутри грунтовой толщи. Это, в свою очередь, может приводить к уменьшению или увеличению удельного электрического сопротивления вмещающих пород на 1–2 порядка, что изменяет степень прямой коррозионной опасности для металлических и железобетонных конструкций.

Наблюдения за подобного рода изменениями в окружающей геологической среде геофизическими средствами вполне осуществимы, хотя и не всегда просты с технической точки зрения. Следует к тому же учесть, что геофизические методы зачастую более мобильны и более производительны, чем инженерно-геологические, и могут применяться в ряде случаев на застроенной территории, в стесненных городских условиях. При этом степень информативности геофизических методов достаточно высока. Все это говорит в пользу применения геофизических методов при наблюдении за процессами изменения инженерно-геологических свойств грунтового массива. Организация широкой сети режимных геофизических наблюдений в городах с опорой на сеть пунктов режимных инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений позволит осуществлять планомерный и постоянный контроль за изменением во времени всех факторов, определяющих свойства и устойчивость грунтовых массивов.

Пропагандируя организацию и проведение режимных геофизических наблюдений на территории городов мы должны отметить те трудности, с которыми неизбежно придется встретиться. Наличие интенсивных электрических, сейсмических, магнитных и других промышленных помех существенно затрудняет и ограничивает возможности использования геофизических методов в городах. Уровень электрических помех, например, по данным наблюдений в Москве может достигать величины 1 мВ/м (в пиках до 10 мВ/м).

Однако даже в крупных городах и промышленных центрах можно найти участки, относительно "спокойные" с точки зрения проявления геофизических помех, где соотношение полезный сигнал–шум складывается в пользу полезного сигнала. В пределах Москвы, например, такими участками могут быть районы предполагаемой массовой застройки, а также районы, уже застроенные, но где отсутствуют крупные энергетические комплексы и нет электрифицированной железной дороги и трамвайных линий. На таких территориях вполне возможно ис-

пользование традиционных методов полевой и скважинной геофизики при небольших изменениях методики проведения наблюдений, вызванных теснотой застройки, асфальтовым покрытием. Не следует забывать также, что целый ряд геофизических методов — термометрия, эманационная съемка, полевые радиоактивные методы измерения плотности и влажности — свободны от воздействия на них промышленных помех и могут применяться в черте города. Скважинные геофизические наблюдения в меньшей степени, нежели наземные, зависят от промышленных помех и поэтому также могут быть широко использованы в общем комплексе инженерно-геологических изысканий.

Некоторые обнадеживающие результаты использования геофизических методов в крупных городах уже имеются. Так, например, в Москве в районах перспективного строительства, на акватории р. Москвы в пределах городской черты, а также на участках наиболее активного проявления карстово-суффозионных процессов в районе Хорошевского шоссе проводятся инженерно-геофизические исследования. Отрабатывается методика наземных и скважинных наблюдений при решении задач, связанных с изучением литологии разреза, поисками разрушенных и трещиноватых зон, опасных с точки зрения карстопроявления. Работы проводятся методами сейсмо- и электрометрии, сейсмоакустики, термометрии.

Использование геофизических методов при проведении длительных режимных наблюдений целесообразно сопровождать:

1) нахождением новых методических приемов, позволяющих осуществлять измерения в условиях города с использованием доступной серийной геофизической аппаратуры, применением помехозащищенных устройств и методов эманационной съемки, термометрии, электроразведки с низкочастотной аппаратурой и т. п.;

2) созданием новой аппаратуры, обладающей более высокой по сравнению с существующей помехозащищенностью и разрешаемостью;

3) разработкой качественно новых способов проведения геофизических наблюдений.

Режимные геофизические наблюдения должны сопровождаться типизацией геофизической среды в пределах городских территорий. Под этим подразумевается дифференциация территории города по характерным особенностям геолого-геофизического разреза, по степени проявления физических полей различного генезиса, по активности их влияния на инженерно-геологические свойства грунтовой массы и различного рода инженерно-геологические процессы. Проведение типизации по указанному принципу позволит установить распространение, уровень и спектр индустриальных помех в различных районах городской территории и тем самым решить вопрос о рациональном размещении сети режимных наблюдений и необходимом комплексе проводимых исследований.

При формировании сети режимных наблюдений особое внимание следует обращать на возможные источники физического загрязнения геологической среды (места генерации тепла, блюжающих токов, возможные места утечек радиоактивных веществ), на участки особо активного проявления инженерно-геологических процессов.

В состав комплекса должны входить в различных оптимальных сочетаниях электро- и сейсмометрические методы, эманационная съемка, наблюдения за изменением температуры, традиционные скважинные исследования. Для проведения скважинных исследований, помимо новых скважин, возможно использование существующей в городах сети наблюдательных скважин, если, конечно, обсадка этих скважин не является помехой при проведении наблюдений.

УДК 624.131.436.6

Г.С. Рабаев, Е.М. Тимофеев, Э.А. Лев  
(Госгорхимпроект, Москва)

## ПОДБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Известно, что отсыпка земляных насыпей при отрицательных температурах имеет ряд существенных недостатков. Смерзшиеся грунты при отсыпке не уплотняются до заданных параметров и при оттаивании дают дополнительные осадки; при этом в глинистом ядре существенно возрастает величина порового давления, что может повлечь за собой потерю несущей способности плотин, дамб и других насыпей. Для возведения земляных насыпей круглогодично при длительных во времени отрицательных температурах нами были проведены специальные лабораторные и полевые исследования, целью которых было: а) подбор оптимальной смеси элювиальных и делювиальных суглинков, обработка хлоридно-натриевыми солями и их рассолами (отходами обогатительных фабрик, калийных комбинатов); б) изучение влияния концентрации порового раствора как на прочностные характеристики укладываемых грунтов, так и на время и температуру их смерзания; в) проведение опытной отсыпки дамбы рассоловборника и плотины шламохранилища.

Сущность разработанного способа отсыпки глинистых грунтов в зимнее время заключается в следующем. При внесении в грунт водно-растворимых солей повышается концентрация порового раствора, что обусловливает агрегирование грунтовых частиц и изменение физико-механических свойств грунтов.

Протекающие при засолении и уплотнении грунта физико-химические процессы приводят к понижению температуры замерзания порового раствора и предохраняют грунт от смерзания при отрицательных температурах. Помимо этого, увеличение концентрации порового раствора снижает электро-кинетический потенциал грунтовых частиц и приводит к подавлению силового барьера, препятствующего их агрегации [2, 3].

На первой стадии лабораторных исследований была получена оптимальная смесь из слабых мягко- и текучепластичных делювиальных и твердых и полутвердых элювиальных суглинков и глин. Прочностные характеристики определялись на смесях грунтов нарушенной структуры с полученным весовым соотношением делювий : элювий – 1: 3.

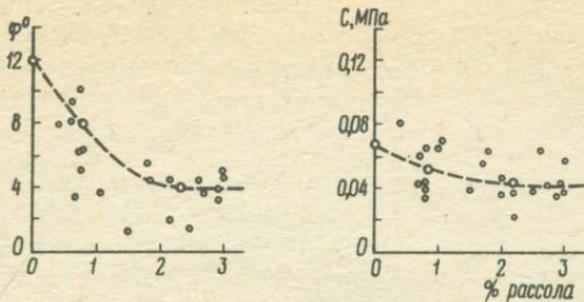


Рис. 1. Влияние содержания рассола на показатели сопротивления сдвигу

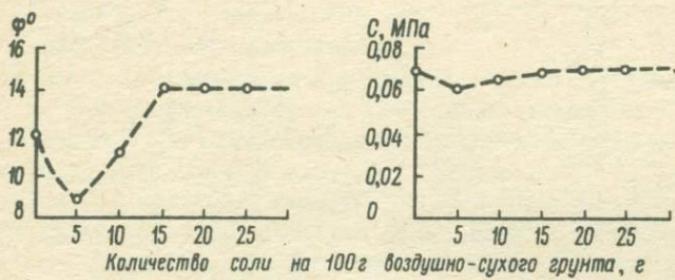


Рис. 2. Влияние содержания соли на показатели сопротивления сдвигу.

В первой серии опытов определялись механические свойства на образцах смеси с оптимальной влажностью ( $W_{\text{опт}} \pm 2\%$ ), далее те же свойства определялись на образцах с той же влажностью, но с добавками хлоридно-натриевых рассолов и твердых солей. Рассолы брались непосредственно из шламохранилищ калийных комбинатов ( $\text{NaCl} - 21,2\%$ ;  $\text{KCl} - 1,0\%$ ;  $\text{CaSO}_4 - 0,5\%$ ;  $\text{MgCl} - 0,6\%$ ) с общей концентрацией солей 290–320 г/л и добавлялись в количестве от 0,4 до 3% от веса грунта. Соли добавлялись из расчета 5, 10, 15, 20, 25 г на 1000 г воздушно-сухого грунта.

Все испытания велись по схеме ускоренного неконсолидированного сдвига при вертикальных нагрузках до 0,5 МПа. Средние значения влияния содержания рассола (по 24 определениям) на прочностные характеристики приведены на рис. 1, где видно, что при средней оптимальной влажности 21,8% и объемной массе скелета  $1,68 \cdot \text{гс}/\text{см}^3$  суглинки имеют угол внутреннего трения  $\phi = 12^\circ$  и сцепление  $C = 0,067 \text{ МПа}$ .

При добавлении рассола менее 1% угол внутреннего трения уменьшается до  $8^\circ$ , а сцепление – до 0,054 МПа. При увеличении количества рассола до 3% (см. рис. 1) прочностные показатели продолжают уменьшаться:  $\phi_{\text{ср}} = 4^\circ$ ,  $C_{\text{ср}} = 0,045 \text{ МПа}$ .

На рис. 2 приведена (по средним значениям 96 определений) зависимость прочностных характеристик от количества соли. Добавление к

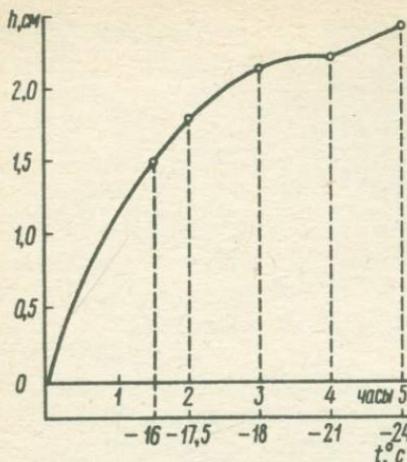


Рис. 3. Зависимость глубины промерзания незасоленных грунтов от времени и температуры воздуха

суглинкам небольших количеств (до 5 г) твердой соли также приводит к снижению прочностных показателей ( $\phi=9^{\circ}$ ,  $C=0,061 \text{ МПа}$ ). С увеличением количества соли прочностные показатели растут. При добавлении 10 г соли  $\phi=11^{\circ}$ , но еще меньше, чем угол внутреннего трения грунта с оптимальной плотностью—влажностью, а сцепление равно 0,066 МПа. Добавление

соли от 15 до 25 г на 1000 г грунта приводят к увеличению  $\phi$  до  $14^{\circ}$ , при этом удельное сцепление практически не изменяется.

Следует отметить, что указанные значения  $\phi$  и  $C$  достигаются при добавлении 15 г соли на 1000 г грунта, при дальнейшем увеличении ее содержания прочность не изменяется. Сравнение результатов водных вытяжек из суглиновков до и после добавления соли показывает, что после добавления 15–25 г соли на 1000 г грунта содержание  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  увеличилось в десятки раз.

Изменение в поровом растворе состава катионов и увеличение концентрации электролитов в нем при добавлении к грунту рассола или твердой соли дает возможность понять механизм влияния последних на прочностные параметры. При добавлении в грунт небольшого количества  $\text{Na}^+$ , что, по-видимому, соответствует добавлению концентрированного рассола в количестве до 3%, или 5 г твердой соли, происходит замещение в грунте  $\text{Ca}^{2+}$ , образование значительных гидратных оболочек вокруг частиц, разрушение микроагрегатов, обладающих структурными связями, и, как результат, снижение прочностных характеристик грунта. При дальнейшем увеличении концентрации электролита в поровом растворе происходит сжатие диффузного слоя и между частицами вновь в наибольшей степени проявляются силы взаимодействия (агрегирования, точечные контакты), что выражается в увеличении прочности [1].

Полевые исследования позволили получить зависимость скорости образования мерзлого слоя в незасоленных глинистых грунтах от температуры воздуха и времени (рис. 3) при объемной массе грунтов  $1,65 \text{ гс}/\text{см}^3$ , соответствующей требуемой плотности грунтов в теле насыпей. Глубина промерзания незасоленных грунтов и образование в них твердой фазы, препятствующей их уплотнению, достигают максимума в первые 1,5–2 ч и в дальнейшем уменьшаются. При обработке поверхности слоев грунта электролитами и засолении до 4–5 см глубина его промерзания при температуре ниже  $-20^{\circ}$  замедляется в 1,5–2 раза.

Возведение земляных сооружений при вышеуказанном способе разработки и отсыпки делювия в смеси с элювием (соответственно 1 : 3)

и последующий отбор проб для контрольных испытаний показали, что плотность, прочностные и фильтрационные характеристики грунтов, уложенных в зимний период, соответствуют требуемым параметрам и подтверждают результаты лабораторных исследований.

Применение делювиальных грунтов в смеси с элювием при отсыпке дамб и плотин сократило объемы вскрышных работ в карьерах и позволило отсыпать переувлажненные делювиальные грунты в зимнее время. Отсыпка грунтов в плотины и дамбы в зимний период с применением химической защиты от смерзания дала возможность вдвое сократить сроки строительства гидротехнических сооружений в условиях Северного Урала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зиангиров Р.С., Рабаев Г.С. Влияние связанной воды на сжимаемость глин. — В кн.: Материалы VI Всесоюз. совещ. по закреплению и уплотнению грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1968, с. 11–16.
2. Лоу Ф.Ф. Физическая химия взаимодействия воды с глинами. — В кн.: Термодинамика почвенной влаги. Л.: Гидрометеоиздат, 1966, с. 372–432.
3. Рабаев Г.С., Тимофеев Е.М. Об изменении строительных свойств глинистых грунтов при искусственном засолении. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород: Кн. изд-во, 1972, с. 48–49.

УДК 624.131.439

А.Н. Вахтанова, В.Ф. Черняев  
(Воронежский государственный университет)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГИДРООТВАЛА МИХАЙЛОВСКОГО ГОНА ВО ВРЕМЕНИ

Одной из основных задач, стоящей перед проектировщиками и горняками при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, является задача дальнейшего использования площадей, занятых отвальным породами. Наибольшие трудности возникают при ведении вскрышных работ гидромеханизационным способом. Необходимо учитывать два основных направления будущего использования территории гидроотвалов: сухую отсыпку вскрышных пород по существующим площадям гидроотвалов; рекультивацию площадей, занимаемых гидроотвалами.

Эти задачи могут быть решены, если известны прочностные и деформационные характеристики намывных грунтов, слагающих отвал, и время, необходимое для завершения процессов консолидации, обусловленных действием собственного веса грунта и внешних силовых воздействий.

В настоящее время кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии ВГУ совместно с НИИ КМА им. Л.Д. Шевякова ведутся большие научно-

Таблица 1

Обобщенные данные состава грунтов гидроотвала

Гранулометрический состав фракций, %					Примечание
> 0,1 мм	0,1–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,01–0,005 мм	< 0,005 мм	
0,3 + 24,00	1,0 + 29,0	18,0 + 85,0	1,0 + 14,0	2,0 + 55,0	Диапазон для 29 образцов
5,3	10,0	44,1	7,9	32,7	Средние значения

Таблица 2

Значения коэффициентов пористости при различных ступенях нагрузки

Естественное состояние	Ступени нагрузок, МПа					Примечание
	0,00–0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	
0,81 + 2,33	0,60 + 2,12	0,50 + 1,80	0,46 + 1,53	0,42 + 1,54	0,40 + 1,21	Диапазон для 22 образцов
1,43	1,12	0,98	0,85	0,77	0,67	Среднее значение

исследовательские работы по определению физико-механических характеристик намывных грунтов Михайловского ГОКа и инженерно-геологическому прогнозированию изменения этих характеристик в процессе консолидации грунтов для последующей рекультивации. Сроки проведения рекультивации зависят прежде всего от консолидации "Центральной зоны" (по терминологии ВСН 291-72), которая формируется водонасыщенными слабыми глинистыми грунтами.

Для предварительного определения условий отвалаобразования на Михайловском ГОКе возведен опытный отвал небольшой мощности, на котором проводили комплекс лабораторных и натурных исследований. Данная работа является составной частью этих исследований и содержит некоторые результаты лабораторных определений по изменению прочностных характеристик грунтов ядерной зоны во времени. В опытный гидроотвал уложено 600 тыс. м<sup>3</sup> грунта, который состоит из: четвертичных аллювиальных песчано-глинистых отложений (32,2%), лессовидных суглинков (20,5%), песка сеноман-альба (9,5%), алевритов неокома (37,8%), т.е. включает все литологические разности вскрытого массива ГОКа.

По данным лабораторных исследований образцов, отобранных в ядерной зоне гидроотвала с глубин от 0,3 до 1,0 м, намывные грунты характеризуются следующими физическими характеристиками (все данные приведены в соответствии с [1]): удельный вес – 2,49+2,76 гс/см<sup>3</sup>, объемный вес – 1,48+1,86 гс/см<sup>3</sup>, естественная влажность – 0,34+0,85, степень влажности – 0,93+1,00, число пластичности – 0,06+0,28.

Гранулометрический анализ смеси показывает высокое процентное содержание глинистых и пылеватых частиц (табл. I) и по классификации Охотина грунты можно отнести к суглинкам пылеватым и глиням.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов пористости, а в табл. 3 – значения модуля деформации при различных ступенях нагрузки по данным компрессионных испытаний на приборе КПР-1.

Необходимым условием использования территории гидроотвалов в процессе рекультивации является перемещение колесного и гусеничного транспорта по всей поверхности намывных грунтов. Следовательно необходимо знать, какие прочностные свойства будут иметь грунты ядерной зоны гидроотвалов в различные временные интервалы и при различной мощности песчаной пригрузки, а также уметь прогнозировать изменение этих свойств.

Как известно, формирование прочностных свойств таких грунтов обусловливается двумя процессами: процессом литогенеза и искусственным упрочнением. Формирование прочностных свойств глинистых грунтов ядерной зоны гидроотвалов за счет различного рода физико-химических процессов носит длительный временный характер и может не учитываться с точки зрения инженерного использования территории гидроотвалов.

Требования экономики диктуют необходимость рекультивации гидроотвалов в течение нескольких лет после их возведения. Поэтому основным фактором, формирующим прочностные свойства грунтов ядерной зоны, следует считать процесс искусственного упрочнения прежде всего в результате песчаных пригрузок по всей площади гидроотвала.

Таблица 3

Значения модуля деформации при различных ступенях нагрузки

Ступени нагрузок, МПа				Примечание
0,025–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	0,2–0,4	
0,12 ± 1,44	0,18 ± 1,52	0,99 ± 2,84	2,16 ± 7,24	Диапазон для 22 образцов
0,45	0,71	1,4	3,5	Среднее значение

Таблица 4

Средние значения  $C$  и  $\phi$  для различных степеней консолидации

Показатель	Степень консолидации $U$					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$C$ , МПа	0,002	0,003	0,0038	0,002	0,0050	0,0023
$\phi$	4°30	8°	9°30	11°	11°30	18°30
Количество образцов	9	9	6	5	5	15

Моделирование процессов консолидации и упрочнения таких грунтов под действием внешних сил в лабораторных условиях осуществлялось на стабилометрах марки УСВ-2 [2]. Удельное сцепление  $C$  и угол внутреннего трения  $\phi$  определялись для различных степеней консолидации  $U$ . Под степенью консолидации понималось отношение осадки  $s_t$  образца в любой промежуток времени к полной осадке  $s$  для завершенного процесса консолидации (вторичная консолидация в расчетах не учитывалась [3]). Кривые консолидации строились по результатам компрессионных испытаний грунтов ядерной зоны на приборах КПР-1. При переносе этих данных на испытания грунтов в стабилометрах УСВ-2 учитывалось, что время консолидации пропорционально квадрату высоты образца.

Результаты определения прочностных характеристик грунтов ядерной зоны для различных  $U$  приведены в табл. 4.

Средние значения  $C$  и  $\phi$  получены в соответствии с ГОСТ 20522-75 [4].

Как следует из табл. 4, осредненные значения прочностных характеристик намывных грунтов ядерной зоны гидроотвала в условиях полной консолидации характеризуются небольшим значением удельного сцепления ( $C = 0,0023$  МПа), которое по своей величине близко к сцеплению для пылеватых песков [1]. Следовательно, образование структурных связей за такой короткий промежуток времени практически не наблюдается. Это положение подтверждается тем, что величина сцепления для различных степеней консолидации (см. табл. 4) практически не меняет своего значения. В то же время значительное изменение коэффициента пористости (см. табл. 2) при возрастающих ступенях нагрузки в процессе консолидации приводит к увеличению угла внутреннего трения, который достигает своего максимума при  $U = 1,0$ .

Постоянство удельного сцепления для различных степеней консолидации позволяет судить о погрешностях, вносимых в расчеты прогнозирования устойчивости тела гидроотвалов на основе решений механики грунтов для идеально связанных тел ( $C = 0$ ;  $\phi = 0$ ), которые широко используются при проектировании гидроотвалов [5]. Модель идеально связанных тел не будет фиксировать изменения прочности намывных грунтов в процессе консолидации, что противоречит действительности.

Для данных образцов грунтов ядерной зоны увеличение прочностных свойств со временем в условиях пригрузки песком будет характеризоваться только увеличением угла внутреннего трения.

Поскольку определение  $\phi$  и  $C$  при различных  $U$  является трудоемким лабораторным исследованием, рассмотрим возможность применения линейной зависимости

$$\tau_{\text{гр}} = \tau_{\text{п}} + (\tau_{\text{к}} - \tau_{\text{п}})U, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{гр}}$  — сдвигающее усилие для различных степеней консолидации  $U$ ;  $\tau_{\text{п}}$ ,  $\tau_{\text{к}}$  — сдвигающие усилия для  $U = 0$  и  $1,0$  соответственно.

В табл. 5 приведены значения  $\tau$ , рассчитанные по формуле Кулона для связанных грунтов, причем  $\tau_{\text{к}}$  получены по данным табл. 4, а  $\tau_{\text{гр}}$  взяты с прямой, построенной по двум точкам ( $U = 0$  и  $1$ ) по зависимости (1).

Таблица 5

Значения сдвигающих усилий

$U = 0$	$U = 0,2$	$U = 0,4$	$U = 0,6$	$U = 0,8$	$U = 1,0$
$\tau_{\text{п}}$	0,94	1,61	2,01	2,16	2,39
$\tau_{\text{гр}}$	0,94	1,46	1,98	2,50	3,02
$\frac{\tau_{\text{гр}}}{\tau_{\text{к}}}$	100%	90,7%	98,5%	115,7%	126,4%
					100%

Из табл. 5 видно, что разброс данных весьма значителен. Особенно велик он там, где мало опытных точек для осреднения. Следовательно необходимы дальнейшие исследования для обоснования возможности использования зависимости (1).

Расчеты, выполненные по данным лабораторных исследований грунтов центральной зоны гидроотвала Михайловского ГОКа, позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. При толщине пригрузочного песчаного слоя более трех метров (среднезернистый песок) возможно перемещение гусеничного транспорта сразу после намыва песка на поверхность центральной зоны гидроотвала.

2. При отсутствии необходимого объема пригрузочного материала возможно устройство песчаного слоя меньшей толщины. В этом случае время начала работ по рекультивации будет выражаться зависимостью

$$t = \phi(h_{\text{пр}}, H, U, R, K), \quad (2)$$

где  $h_{\text{пр}}$  — мощность пригрузочного слоя;  $H$  — мощность тела гидроотвала;  $U$  — степень консолидации;  $R$  — физико-механические свойства грунта;  $K$  — условия дренирования.

3. Использование модели идеально связных тел для инженерных расчетов устойчивости центральных зон гидроотвалов возможно только при условии, что  $U = 0$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-15-74. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975. 64 с.
2. Методические указания по определению деформационных, прочностных и фильтрационных характеристик горных пород в стабилометрах. Белгород: ВИОГЕМ, 1973. 67 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 277 с.
4. ГОСТ 20522-75. Грунты. Метод статистической обработки результатов определений характеристик. 12 с.
5. Гальперин А.М., Шафаренко Е.И. Реологические расчеты горнотехнических сооружений. М.: Недра, 1977. 186 с.

И.В. Батуринская, Е.А. Киселева, Г.Л. Кофф

(Институт литосферы АН СССР, Москва)

## К ВОПРОСУ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ ТЕХНОГЕНЕЗ

Под техногенезом авторы понимают совокупность процессов и явлений, определяемых функционированием комплексной системы общество—природа. Эта система характеризуется тесной взаимообусловленностью, динамичностью и многофункциональностью связей между составляющими ее компонентами. Метаморфизм природной среды, порождаемый влиянием человека, вызывает ответные реакции природной среды, требующие от общества определенной и постоянной корректуры своей деятельности. Ведущая роль в многокомпонентной системе общество—природа с огромным количеством связей принадлежит обществу, задачей и долгом которого является активная деятельность по исследованию и управлению системой.

Исследовательская функция общества заключается в изучении механизма и пространственно-временной динамики процессов техногенеза, происходящих по линии человек  $\rightarrow$  природа. При этом важно выявить критические уровни предельно-допустимых воздействий — состояний, приводящих к переходу частей природной подсистемы в новое качественное состояние, возможно, с негативными для общества последствиями. Роль общества в управлении системой проявляется в умении оценивать масштаб и характер взаимодействия с природой и предвидеть его последствия, минимизируя их нежелательность. Выявлению механизма взаимодействия между компонентами в системе общество-природа или инженерные сооружения—геологическая среда (ИС—ГС) помогает построение блоковых моделей и их системный анализ.

В сфере взаимодействия общества и природы наиболее активны поверхностьные и подземные воды, являющиеся средой, в которой совершаются большинство физико-химических реакций, в том числе по линии сооружения  $\rightarrow$  вода  $\rightarrow$  грунт. С помощью природных вод осуществляется перенос веществ (макро- и микроэлементов, газов, органического вещества, бактерий) и тепла. Природные воды служат основным приемником сточных вод и в то же время являются ценнейшей частью природной среды, требующей охраны от техногенного загрязнения.

Как это отмечалось исследователями ПНИИС, ВСЕГИНГЕО и др., гидрогеохимические исследования имеют особое значение в общей цепи исследований, направленных на изучение механизма трансформации состава и свойств воды и грунтов. Исследования, объединенные термином "гидрогеохимические", включают в себя три основные группы: гидрогеологические, гидрохимические и собственно химические. Отдельные виды гидрогеохимических исследований являются частью инженерно-геологических исследований. Границы между указанными группами достаточно условны и подвижны. Объем гидрохимической информации (и собственно исследований) определяется типом и масштабом геологической

среды и типом соответствующих ей по возможному объему воздействия инженерных сооружений.

В зависимости от масштаба испытывающей воздействие геологической среды в схематической типологии инженерных сооружений могут быть выделены:

1) производственно-территориальные комплексы, городские агломерации, города, поселки, крупные производственные комплексы, трубо-проводы – на уровне региональных геологических структурных единиц (формаций, подформаций и др.);

2) отдельные инженерные сооружения или их группы – на уровне инженерно-геологического массива;

3) части сооружений, являющиеся непосредственными источниками активного воздействия путем выноса энергии или вещества (зоны утечек, выбросов), – на уровне образца грунта или пробы подземных вод.

Сложившуюся (или прогнозную) гидрогеохимическую ситуацию в отдельных элементах геологической среды целесообразно отражать на инженерно-гидрогеохимических картах различного масштаба, включающих карты загрязнения подземных вод или грунтов, агрессивности грунтов или грунтовых вод, схемы источников загрязнения и др. Таким образом, при инженерно-гидрогеохимическом картировании среднего масштаба ( $1:100\,000$  и мельче) освещается соответствующее функционирование территориально-производственных комплексов (ТПК), трубопроводов и др.

Специфика техногенеза в пределах различных ТПК, групп сооружений определяется во многом типом природных обстановок, представляющих устойчивые закономерные сочетания различных компонентов. Эти обстановки рассматриваются как естественные парагенезисы, определяющиеся геолого-тектоническими и зонально-климатическими факторами. На мелкомасштабных картах целесообразно подразделение природных комплексов по устойчивости к изменению гидрогеохимической обстановки – техногенному метаморфизму. В этом свете выделяются комплексы с высоким, средним и низким гидрогеохимическим потенциалом к изменениям. При этом высокая степень природной стабильности соответствующего комплекса может трансформироваться в низкую техногенную устойчивость и наоборот.

Для регионально-типологической модели ИС  $\leftrightarrow$  ГС специфичны:

а) доминирующая роль обратной связи, поскольку природные условия диктуют направление инженерно-геологической деятельности для их целенаправленного преобразования;

б) ведущая роль социального фактора среди СУВ.

Регионально-типологическое гидрогеохимическое картирование включает исследования различных природных условий – географических, геолого-структурных, гидрогеологических, а также учет социальных факторов.

Проблемы функционирования отдельных частей городов, групп и отдельных предприятий целесообразно решать с помощью крупномасштабных инженерно-гидрогеохимических карт ( $1:50\,000$  и крупнее). Карты крупного масштаба оптимальны для оценки и сравнения характера и

степени техногенного воздействия сооружений на составляющие части геологической среды. Предметом изучения при крупномасштабном картировании становятся отдельные компоненты среды: поверхностные и подземные воды, атмосферные осадки, грунтовые разности.

Гидрогоехимический фактор учитывается на картах развития и прогнозирования инженерно-геологических процессов: подтопления и осушения, территорий развития оползней, карстово-суффозионных процессов, берегообрушения и др.

Изучение проблемы техногенеза в более крупном масштабе – образец грунта или часть массива, отдельные элементы сооружения или сырья в различных фазах его хранения, переработки и транспорта – сводится к выявлению количественной структуры процессов взаимодействия и выявлению возможностей распространения зависимостей на весь объект. Устанавливаются характер и уровень изменения состава и свойств воды и грунтов при техногенном воздействии, а также достигло ли воздействие допустимого (порогового) предела. Выявляется степень ответной реакции среды.

Методика гидрогоехимических исследований определяется масштабом съемки. На стадии мелкомасштабного картирования производятся массовые экспрессные анализы с определением интегральных качественных и полуколичественных показателей загрязнения. На этой стадии целесообразно выделение для более подробных исследований отдельных ключевых (эталонных) участков применительно к наиболее распространенным грунтовым комплексам и видам инженерного воздействия. При переходе к более крупным масштабам методика трансформируется. Повышается плотность информации. Намечается переход к детальным анализам грунтов, поровых растворов, подземных вод. Количество критериев загрязнения уменьшается и сводится к нескольким наиболее емким индикаторам, коррелированным с техногенными процессами. Карты различных масштабов регулярно корректируются и обновляются в результате получения оперативной информации от соответствующих систем слежения за состоянием среды. Эта оперативная информация способствует уточнению фоновых и аномальных характеристик среды и принятию решений по регулированию инженерной деятельности и оптимизации взаимодействий.

Таким образом, исследование гидрогоехимических изменений грунтов и подземных вод в результате техногенеза должно быть комплексным и производиться в тесной взаимосвязи с исследованиями характера инженерных воздействий и влияния всех природных сред.

И.Г. Миндель, А.Н. Чумаченко, С.С. Кнюк  
(ПНИИС, МИСИ, Москва)

**РЕЖИМНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ  
ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ  
ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ВО ВРЕМЕНИ**

При строительстве и эксплуатации земляных плотин происходят изменения физико-механических свойств грунтов в их теле и основании. Изменения свойств грунтов происходят в районах развития просадочных и слабых пород вследствие сейсмических воздействий, колебаний уровня воды в водохранилище, характера консолидации искусственных грунтов, технологии возведения плотин и т.д. Обеспечение качества и надежности земляного сооружения требует изучения свойств грунтов, в том числе изменений этих свойств во времени, что характерно для условий активного преобразования геологической среды в районе строительства плотины. Изучение закономерностей изменения свойств грунтов во времени необходимо для долговременного прогноза статической, фильтрационной и динамической устойчивости плотин.

Изучение изменений физико-механических свойств грунтов осуществляется с помощью инженерно-геологического опробования, включающего многократную проходку скважин и горных выработок, опробование грунтов лабораторными и полевыми методами. Инженерно-геологическое опробование обладает рядом существенных недостатков. Основными из них являются ограниченность в определении свойств грунтовых массивов по глубине, невысокое качество оценки грунтов глубже 10–15 м и крайне сложные условия опробования ниже уровня грунтовых вод. Кроме того, следует учесть невозможность получения характеристик грунтов во времени на одних и тех же объемах пород. Каждый из полученных в различное время показателей будет относиться к различным объемам грунтов в массиве, поскольку образцы в лучшем случае отбираются из соседних точек массива, в соседних точках массива проводятся различные виды полевых испытаний. При значительной неоднородности естественных и искусственных грунтов изменения их свойств могут относиться как к изменению их во времени, так и к неоднородности распределения этих свойств в массиве.

Указанные трудности в значительной мере могут быть преодолены путем использования режимных геофизических наблюдений. Сотрудниками ПНИИС и МИСИ разработана и внедрена методика комплексных режимных геофизических наблюдений за изменением физико-механических свойств грунтов в массиве [1]. В комплекс режимных геофизических наблюдений включены радиоизотопные, сейсмоакустические и электроразведочные наблюдения.

Радиоизотопные наблюдения проводятся с целью определения плотности и влажности в специально оборудованных радиометрических скважинах. Радиометрические скважины оборудуются из стальных труб диаметром 50–60 мм с толщиной стенок не более 3 мм. Погружение

труб производится вибрационным, гидростатическим способами или же с помощью предварительной проходки скважины диаметром, равным или несколько меньшим диаметра погружаемых труб. В процессе намыва обычно производится опережающее наращивание труб радиометрических скважин, что обеспечивает наиболее совершенный, без зазоров, контакт намытого грунта с трубой.

Сейсмокаротажные наблюдения и наблюдения типа вертикального сейсмического профилирования проводятся или с помощью специально оборудованных скважин и многоканальных зондов, или закладываемых в массив сейсмических "кос" с гидроизолированными сейсмоприемниками. Расстояние между сейсмоприемниками на зонде или "косе" (вертикальными и горизонтальными) составляет 1–5 м в зависимости от необходимой детальности исследований и высоты земляного сооружения. В грунты закладываются также ультразвуковые датчики на базах (расстояние между излучателем и приемником) 10–20 см, закрепленные на скобе с целью сохранения постоянства базы. В результате проведения режимных сейсмоакустических измерений определяются во времени скорости распространения продольных и поперечных волн в грунтах.

Режимные электроразведочные наблюдения на постоянном токе проводятся различными каротажными способами. При этом получается информация о характере увлажнения, засоления или рассоления грунтов, о колебаниях уровня фильтрующихся вод. Электрокаротажные наблюдения проводятся с помощью закладываемых в массив электроизмерительных "кос". Расстояние между свинцовыми электродами на "косе" определяется задачами исследований и обычно составляет 20–50 см. Расстояния между соседними электродами должны быть постоянными. Верхние концы электроизмерительных "кос" распиваются на колодки, обеспечивая применение любых модификаций каротажных измерений: четырехэлектродных, трехэлектродных, боковое каротажное зондирование и др.

При режимных геофизических наблюдениях используется серийная аппаратура (радиоизотопная ППГР-1, ВПГР-1, ГГП-2, НИВ-2, сейсморазведочные станции типа Поиск-1-24-МОВ-ОВ, СМОВ-24, ультразвуковые приборы типа УК-10П, модернизированные Р5-5, электроразведочные автокомпенсаторы АЭ-72).

Режимные геофизические наблюдения проводятся в пунктах, приуроченных к наиболее характерным элементам земляного сооружения (ядро, упорные призмы, зуб и т. д.) с учетом особенностей основания. В этих пунктах оборудуются радиометрическая скважина, устройство для сейсморазведочных наблюдений (сейсмокаротажная скважина или сейсмическая "кося"), устройство для акустических измерений ( помещение в массив ультразвуковых датчиков), устройство для проведения электрокаротажных наблюдений (установка электроизмерительной "косы"). На рис. 1 показана схема размещения устройств для проведения режимных геофизических наблюдений в характерном пункте плотины. Расстояние в плане между отдельными устройствами составляет 1–2 м.

Методика проведения каждого из видов геофизических наблюдений практически не отличается от общепринятой и соответствует нормативным документам и разработкам, известным в литературе [1, 2, 3, 5].

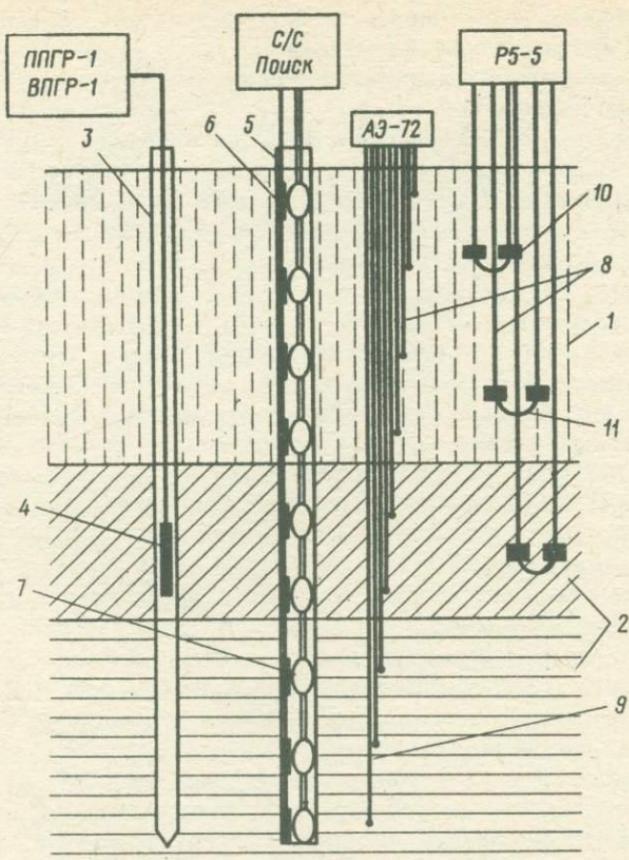


Рис. 1. Схема размещения (в разрезе) радиометрической и сейсмометрической скважин, электрокаротажной "косы" и ультразвуковых датчиков на характерном участке плотины с указанием типов применяемой аппаратуры

1 – намывные грунты; 2 – грунты основания; 3 – радиометрическая скважина; 4 – зонд радиометрического прибора; 5 – сейсмометрическая скважина; 6 – сейсмоприемники; 7 – прижимные устройства; 8 – соединительные провода; 9 – свинцовые электроды; 10 – датчики ультразвуковых колебаний; 11 – скоба, закрепляющая расстояние между датчиками

Отличительной особенностью методики является периодичность проведения наблюдений. Периодичность в принципе может быть любой, но обычно она диктуется задачами исследований и технологией возведения сооружения.

При проведении режимных геофизических наблюдений на ряде намывных плотин получена богатая информация о свойствах грунтов и об изменении этих свойств во времени. В рамках настоящей статьи нет возможности даже кратко остановиться на результатах этих исследований.

Поэтому ниже приведены лишь отдельные примеры, показывающие возможности режимных геофизических наблюдений, и перечислены некоторые из обнаруженных явлений или процессов, которые ранее были мало изучены.

На рис. 2 приведены примеры изменения во времени объемного веса скелета, влажности и электросопротивления намывных песков на уровне +1 м от поверхности основания (см. рис. 2, а) и изменение тех же показателей во времени в песках основания на уровне -5 м от той же поверхности (см. рис. 2, б). На рисунке видно, что значения влажности и электросопротивления намытых и естественных песков зависят от технологических циклов возведения плотины: в периоды намыва влажность увеличивается и электросопротивление уменьшается, в периоды подсушки наблюдается противоположное явление. Интересно, что в грунтах основания значения минимумов на графике электросопротивлений в периоды подсушки увеличиваются, что объясняется вымыванием из грунтов основания растворимых солей. Анализ характера изменений плотности скелета намывных и естественных грунтов позволяет сделать вывод об их уплотнении во времени. В грунтах основания в период с мая 1977 г. по май 1978 г., когда высота плотины выросла с 1,5 до 3 м, объемный вес скелета естественных песков на глубине 5 м от поверхности основания постепенно увеличился с 1,36 до 1,45 гс/см<sup>3</sup>. В мае-июне 1978 г. в результате интенсивного намыва высота плотины была доведена до 5 м, после чего произошло резкое уплотнение грунтов основания ( $y_{ск}$  — до 1,55 гс/см<sup>3</sup>). В последующий период при некотором росте высоты плотины заметного уплотнения в грунтах основания не наблюдалось.

Плотность грунтов в намытой толще (см. рис. 2, а) также увеличивается с ростом высоты плотины. Однако на общем фоне постепенного уплотнения грунтов наблюдается временное, в периоды намыва, разуплотнение, объясняемое взвешивающим действием воды, поступающей с пульпой.

Показатели упругих и деформационных свойств грунтов в теле и основании плотины также возрастают во времени с ростом высоты плотины. На рис. 3 показаны графики изменения объемного веса скелета, упругого модуля Юнга и модуля деформации грунтов с глубиной по данным радиометрических и сейсмокаротажных наблюдений до начала намыва и через полтора года после начала намыва, когда мощность намытой толщи составила 6 м. Как видно на рис. 3, показатели плотности, упругости и деформируемости грунтов значительно возрастают с глубиной и во времени.

Режимные геофизические наблюдения в процессе намыва Копетдагской плотины позволили обнаружить в намытых супесях и суглинках наличие избыточного давления в слое, ограниченном сверху фронтом инфильтрующейся воды от поступающей пульпы и снизу уровнем фильтрующихся вод в теле плотины. Избыточное давление воздуха в порах зафиксировано по признаку уменьшения влажности в этом слое при обильном поступлении воды сверху, влажность уменьшается в результате выдавливания воды из пор и капиллярного сброса. По приближенным расчетам избыточное давление составило 0,6–0,9 атм и держа-

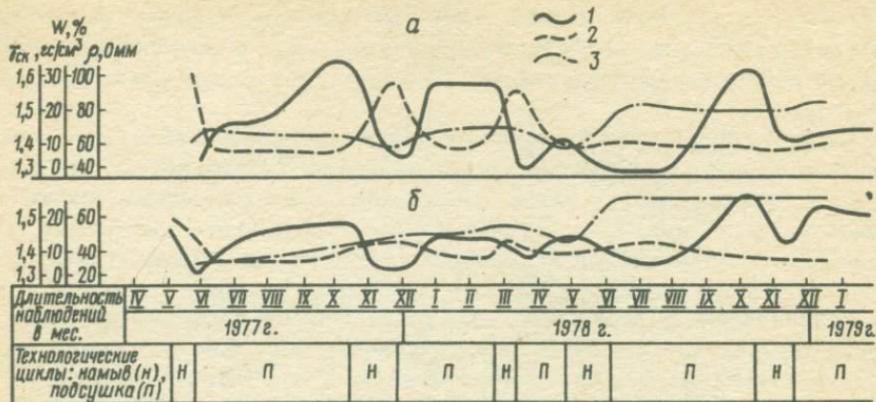


Рис. 2. Графики изменения во времени значений электросопротивлений (1), влажности (2) и объемного веса скелета (3)

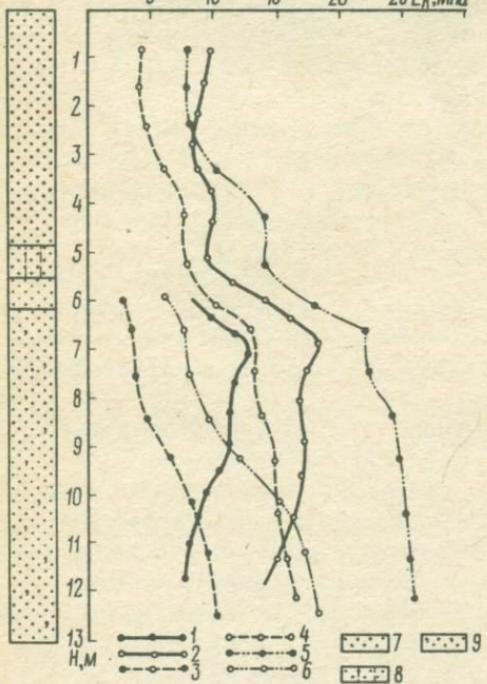


Рис. 3. Графики изменения с глубиной объемного веса скелета, упругого модуля Юнга и модуля деформации грунтов

1, 3, 5 – графики изменения соответственно объемного веса скелета, модуля Юнга и модуля деформации, измеренных в октябре 1977 г.;  
2, 4, 6 – соответствующие графики показателей, измеренных в марте 1979 г.; 7 – намытые пески; 8 – намытые супеси; 9 – пески основания

лось при интенсивном намыве около двух недель. В период наличия избыточного давления верхняя часть плотины находится в неустойчивом состоянии, что представляет опасность, особенно в сейсмически активных районах. Для избежания этого явления рекомендовалось снизить интенсивность намыва и ограничить площадь намывных грунтов.

В результате проведения режимных геофизических наблюдений на Аксинских дамбах Каракумского канала был изучен характер промачи-

вания просадочных грунтов основания, определены скорости проникновения в массив гравитационной, капиллярной и диффузионной влаги, а также определена осадка дамбы вследствие просадочных явлений в грунтах основания.

На Копетдагской плотине было установлено, что плотность и упругие характеристики намывных суглинков и супесей в теле плотины и суглинков основания практически одинаковы ниже уровня фильтрующихся вод. Это обстоятельство позволяет по-новому подойти к оценке динамической устойчивости земляной плотины при землетрясениях.

В заключение следует отметить, что организация службы режимных геофизических наблюдений на строящихся и эксплуатируемых плотинах и других земляных сооружениях позволит осуществить постоянный контроль за состоянием грунтов в теле и основании сооружений и, следовательно, предотвратить опасные и катастрофические ситуации. В принципе предложенная методика режимных геофизических наблюдений может использоваться везде, где ожидается изменение геологической обстановки и свойств грунтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 23061-78. Методы радиоизотопного определения объемного веса. М.: Изд-во стандартов, 1978. 11 с.
2. Инструкция по применению сейсморазведки в инженерных изысканиях для строительства. РСН-45-77. М.: Госстройиздат, 1977. 158 с.
3. Миндель И.Г. Методика сейсмоакустических исследований физико-механических свойств связных и малосвязных грунтов. — В кн.: Тр. ПНИИИС. М.: Стройиздат, вып. 35, 1975, с. 3-25.
4. Миндель И.Г., Секачев Ю.С., Чумаченко А.Н. Методика режимных геофизических наблюдений за изменением физико-механических свойств грунтов в теле и основании земляных плотин в процессе их возведения и эксплуатации. — В кн.: Тез. докл. республ. совещ. по внедрению геофизических методов изысканий для строительства. М., 1976, с. 116-118.
5. Рекомендации по использованию радиоизотопных методов для определения физико-механических свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1971. 49 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
<b>Раздел I</b>	
ИЗМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТОВ . . . . .	5
Р.С.Зиангиров, Н.А.Окнина, Н.А.Лаврова. Изменение физико- механических свойств хвальинских глинистых пород под влиянием кис- лых техногенных вод . . . . .	5
Ф.Е.Волков, Р.И.Злочевская, С.Д.Воронкевич. Влияние растворов щелочи высоких концентраций на деформационные и прочностные свойства полиминеральных глинистых грунтов . . . . .	9
Н.П.Затенацкая. Прогноз изменения физико-механических свойств засоленных глинистых пород при их выщелачивании . . . . .	13
Р.С.Зиангиров, Г.С.Рабаев, Е.М.Тимофеев, Э.А.Лев. Влияние искусственного засоления глинистых грунтов на изменение их фи- зико-механических свойств . . . . .	23
Л.А.Евдокимова. Изменение химико-минерального состава глини- стых грунтов при обработке их кремнефтористоводородной кислотой	28
В.М.Голоднов, В.И.Сергеев, О.Д.Воейкова. Некоторые осо- бенности поверхностных явлений, снижающих проницаемость песчаных грунтов при движении электролитов . . . . .	33
А.Г.Криворотов. Проницаемость монтмориллонитовой глины под влиянием щелочных растворов . . . . .	39
В.М.Павилонский, Л.В.Чиндина. Изменение проницаемости уп- лотненных суглинков при фильтрации растворов хлоридов и сульфатов натрия и кальция . . . . .	45
<b>Раздел II</b>	
ИЗМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ, ПОВЫШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ . . . . .	51
В.А.Королев, Р.И.Злочевская, В.И.Дивисилова. Влияние температуры на набухание глинистых грунтов . . . . .	51
В.А.Королев, Р.И.Злочевская. Общие закономерности изменения физико-механических свойств глинистых грунтов под действием положительной температуры . . . . .	55
А.И.Вайтекунене, З.П.Малашенко, С.А.Лапицкий, Ю.Б.Осипов. Влияние периодического увлажнения—высыпывания на параметры набухания и усадки глинистых грунтов . . . . .	60
И.А.Сафохина. Влияние подтопления на инженерно-геологические свойства глинистых пород . . . . .	65
И.С.Бочарова, Ю.Ф.Захаров, Ю.Н.Воронов, В.М.Зензина. Изменение строительных свойств грунтов при обводнении (на примере аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений Среднего Приобья) .	70

И.Е.Шаевич. Деградация глинистых грунтов в связи с их обводнением	77
И.А.Брилинг, И.С.Пашковский. Определение параметров влаго-переноса в связи с прогнозом водного режима грунтов	81
И.А.Платов, Б.Т.Трофимов, И.Г.Коробанова. Активизация процессов солифлюкции под влиянием антропогенных факторов	89
В.Н.Кутергин. Изменение прочности глинистого грунта при вибрации	96
М.В.Аверочкина. Влияние состояния грунта на его разупрочнение при действии вибрационных нагрузок	104
В.М.Павилонский. Закономерности развития во времени деформаций набухания по высоте слоя уплотненного глинистого грунта	107
А.Р.Горлова. Изучение усадки глины при повышенной температуре и давлении	111
В.Е.Курмес. Прогноз деформационных изменений глинистых грунтов при длительных многократных нагрузках	114

### Раздел III

#### ИЗМЕНЕНИЕ И ПРОГНОЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕНЕЗА

118

Н.И.Кригер, Н.Е.Котельникова. Техногенное изменение лессовых пород с инженерно-геохимической точки зрения	118
Т.Т.Абрамова, С.Д.Воронкевич. Результаты лабораторных и полевых работ по закреплению лессовых грунтов формами силикатными растворами	123
Т.Т.Абрамова, В.И.Дивисилова. Влияние состава лессовых грунтов на прочность закрепления при воздействии на них силиката натрия	128
В.И.Сергеев, В.А.Королев, Т.Г.Шимко. Просадка лессового грунта в процессе его силикатизации	133
Я.М.Орлов, Т.И.Клещева. Прогноз изменений физико-механических свойств лессовидных суглинков некоторых районов Ростовской области при обводнении	140
Э.И.Ткачук. О прогнозе просадочности лессовых грунтов при изменении их влажности	147

### Раздел IV

#### ИЗМЕНЕНИЕ И ПРОГНОЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

150

Н.И.Кригер, А.Д.Кожевников. Техногенные изменения свойств грунтов и сейсмическое микрорайонирование	150
А.Д.Жигалин, Г.Л.Коффи, Ю.Ф.Янченко. Режимные геофизические наблюдения в городах как способ прогноза изменения инженерно-геологических свойств грунтов в результате техногенеза	154
Г.С.Рабаев, Е.М.Тимофеев, Э.А.Лев. Подбор материалов для земляных сооружений в условиях строительства при отрицательных температурах	158
А.Н.Вахтанова, В.Ф.Черняев. Исследование изменений прочностных свойств грунтов центральной зоны гидроотвала Михайловского ГОКа во времени	161
И.В.Батуринская, Е.А.Киселева, Г.Л.Коффи. К вопросу гидрогеохимических исследований грунтов, испытывающих техногенез	167
И.Г.Миндель, А.Н.Чумаченко, С.С.Кнюк. Режимные геофизические наблюдения за изменением физико-механических свойств грунтов земляных плотин во времени	170

УДК 624.131.43

Изменение физико-механических свойств хвальинских глинистых пород под влиянием кислых техногенных вод. Зиангиров Р.С., Окнина Н.А., Лаврова Н.А. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Изучено влияние кислых техногенных вод и растворов серной кислоты на хвальинские морские глинистые породы, залегающие в основании завода, на набухание, сопротивление сдвигу, давление набухания, физические свойства, механический и химико-минеральный состав.

УДК 624.131.439

Влияние растворов щелочи высоких концентраций на деформационные и прочностные свойства полиминеральных глинистых грунтов. Волков Ф.Е., Злочевская Р.И., Воронкевич С.Д. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Проведенные опыты показали, что под воздействием щелочи изменяются набухаемость, прочность по конусу, сцепление, угол внутреннего трения исследуемых образцов. Обработка глин растворами щелочи высокой концентрации приводит к разрушению кристаллической решетки минералов, выщелачиванию из них окислов кремния, алюминия, поглощению ионов матриц и увеличению емкости обмена, к образованию продуктов выщелачивания гидроалюмосиликатов натрия и гидроалюмосиликатов кальция.

Табл. 1.

УДК 624.131.22

Прогноз изменения физико-механических свойств засоленных глинистых пород при их выщелачивании. Затенацкая Н.П. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Приводится комплексная оценка физико-механических свойств засоленных глинистых пород и прогноз их изменения при выщелачивании. Даны предложения по методике прогноза изменения прочностных и деформационных свойств засоленных глин при их выщелачивании в условиях ирригационного строительства.

Табл. 1, ил. 2, библиогр. 2 назв.

УДК 624.131.43

Влияние искусственного засоления глинистых грунтов на изменение их физико-механических свойств. Зиангиров Р.С., Рабаев Г.С., Тимофеев Е.М., Лев Э.А. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Рассмотрено изменение свойств глинистых грунтов естественной структуры в результате диффузионного засоления хлористым натрием в течение 120–367 суток. Установлено, что происходит уменьшение влажности грунта (на 2–5%), модуль деформации и угол внутреннего трения возрастают с 7,2 до 13,4 МПа и с 2° до 21°. Соответственно величина сцепления уменьшается незначительно.

Табл. 1, ил. 3, библиогр. 6 назв.

УДК 624.131.41

Изменение химико-минерального состава глинистых грунтов при обработке их кремнефтористоводородной кислотой. Евдокимова Л.А. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

При обработке глинистых грунтов кремнефтористоводородной кислотой происходит разложение и растворение тонкодисперсной минеральной части с образованием кремнефтористых соединений алюминия, железа, кальция и магния. Установлено, что набухание глинистых грунтов, гидролиз новообразований, а также выделение углекислого газа при наличии в грунтах карбонатных минералов обусловливают развитие давления и воздействие его на фундамент сооружений.

Табл. 3, ил. 1.

УДК 624.131.433

Некоторые особенности поверхностных явлений, снижающих проницаемость песчаных грунтов при движении электролитов. Голоднов В.М., Сергеев В.И., Войкова О.Д. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Отмечено, что при решении вопросов, связанных с нагнетанием электролитов в грунты, необходимо принимать во внимание наличие и состав аутигенных пленок на поверхности песчаных частиц. Набухание пленки монтмориллонитового состава приводит к понижению проницаемости песков.

Ил. 5, библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.433

Проницаемость монтмориллонитовой глины под влиянием щелочных растворов. Криворотов А.Г. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Приведены данные исследований взаимодействия щелочных стоков с мономинеральными уплотненными грунтами. Установлено, что применение мономинеральной монтмориллонитовой глины в экранах накопителей стоков содово-цементной промышленности неподходящим.

Табл. 3, ил. 1, библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.433

Изменение проницаемости уплотненных суглиников при фильтрации растворов хлоридов и сульфатов натрия и кальция. Павловский В.М., Чиндина Л.В. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Показано, что экраны из уплотненных глинистых грунтов позволяют сократить и даже полностью предотвратить фильтрацию растворов, содержащих токсичные загрязнения из накопителей промышленных отходов. Однако необходимо учитывать возможность фильтрационных утечек в период эксплуатации экранов, что может иметь место как при набухании, так и вследствие растворения фильтрующейся жидкостью и последующего выноса из экрана ряда компонентов твердой фазы.

Табл. 3, ил. 3.

Влияние температуры на набухание глинистых грунтов. Королев В.А., Злочевская Р.И., Дивисилова В.И. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Проведенные исследования показали, что увеличение температуры от 20 до 70°C существенно влияет на скорость процесса набухания глинистых грунтов. Скорость приращения деформации набухания  $do/dt$  возрастает с температурой примерно в 10 раз. Конечная равновесная влажность набухания ( $W_{нб}$ ) также увеличивается с температурой. Однако зависимость  $W_{нб} = f(t^{\circ})$  является нелинейной. Увеличение температуры при разгрузке способствует большему разуплотнению (набуханию) глины, тогда как повышение температуры при уплотнении вызывает увеличение сжимаемости.

Ил. 2, библиогр. 7 назв.

Общие закономерности изменения физико-механических свойств глинистых грунтов под действием положительной температуры. Королев В.А., Злочевская Р.И. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Установлено, что повышение температуры снижает структурную прочность глин. Рост температуры, изменяя вязкость связанной воды, существенно влияет на скорость ползучести скелета глинистого грунта. Величина прочности по конусу глин снижается при нагревании образцов в диапазоне температур 20–70°C, прочность структурированных глин с повышением температуры увеличивается.

Табл. 1, библиогр. 9 назв.

Влияние периодического увлажнения–высушивания на параметры набухания и усадки глинистых грунтов. Вайтекунене А.И., Малашенко З.П., Лапицкий С.А., Осипов Ю.Б. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Установлено, что влажность набухания суглинков увеличивается от цикла к циклу, соответствуя в большинстве случаев влажности на пределе текучести. Периодическое увлажнение–высушивание приводит к росту коэффициента пористости при усадке, влажность на пределе усадки возрастает от цикла к циклу и, достигнув определенного значения, остается постоянной.

Ил. 2, библиогр. 7 назв.

Влияние подтопления на инженерно-геологические свойства глинистых пород. Сафохина И.А. — В кн.: Изучение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Рассмотрено влияние процесса самоподтопления территории одного крупного предприятия химической промышленности на состав и физико-

Механические свойства морских нижнеквальинских глинистых отложений, служащих основаниями сооружений и являющихся водовмещающими породами техногенного водоносного горизонта.

В результате подтопления происходит разуплотнение, снижение прочности, увеличение сжимаемости и набухание глин.

Выявлены стадийность и зональность изменения инженерно-геологических свойств глинистых пород при подтоплении, зависящая от длительности взаимодействия пород с водой и направленности движения воды при формировании водоносных горизонтов.

Табл. 1, библиогр. 13 назв.

УДК 624.131.43

Изменение строительных свойств грунтов при обводнении (на примере аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений Среднего Приобья).  
Бочарова И.С., Захаров Ю.Ф., Воронов Ю.Н., Зензина В.М. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Рассмотрены причины и факторы, вызывающие подтопление и прогрессирующее обводнение поверхностных отложений Среднего Приобья в условиях промышленно-хозяйственного освоения территории. Приведена характеристика структуры и химико-минерального состава грунтов и установлено их влияние на процессы и явления, возникающие в породах при обводнении их грунтовыми водами. Выявлены и перечислены основные компоненты состава и физико-химические свойства исследованных типов пород, обуславливающие достаточно высокую интенсивность снижения прочности и увеличения деформируемости при взаимодействии с водой.

Табл. 1.

УДК 624.131.439.3

Деградация глинистых грунтов в связи с их обводнением. Шаевич Я.Е. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Интенсивная застройка городских территорий, неурегулированный, поверхностный сток, утечки из различного вида коммуникаций, нарушение динамики движения подземных вод свайными полями приводят кному повышению уровня подземных вод и, как результат, к обводнению грунтовых толщ и их деградации. На примере одной из площадок Новосибирска показано, как в результате подтопления грунтовой толщи изменяются показатели состава, структуры и текстуры глинистых грунтов, что, в свою очередь, приводит к значительному ухудшению их деформативных и прочностных свойств.

Табл. 3, библиогр. 4 назв.

УДК 624.131.433

Определение параметров влагопереноса в связи с прогнозом водного режима грунтов. Брилинг И.А., Пашковский И.С. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Влажность в зоне аэрации изменяется под действием различных факторов, влияющих на режим питания, испарения и динамику уровня грунто-

вых вод. Отдельные особенности изменения параметров представлены в общем виде, которому должны следовать изменения геофизических характеристик.

Ил. 4, библиогр. 7 назв.

УДК 624.131:551.340

Активизация процессов солифлюкции под влиянием антропогенных факторов. Платов Н.А., Трофимов Б.Т., Коробанова И.Г. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Изучение состава, состояния и физико-механических свойств грунтов показало, что они являются структурно-неустойчивыми и потенциально склонны к солифлюкции. В естественных условиях смещение таких грунтов не происходит, и лишь при нарушении геодинамического равновесия солифлюкция начинает интенсивно увеличиваться.

Ил. 4.

УДК 624.131.439.7

Изменение прочности глинистого грунта при вибрации. Кутергин В.Н.– В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека, М.: Наука, 1982.

Оценивается степень изменения прочности глинистого грунта при вибрации. Изучено влияние на степень разупрочнения ряда внешних и внутренних факторов (ускорения, частоты колебаний, влажности грунта).

Ил. 4, библиогр. 6 назв.

УДК 624.131.385

Влияние состояния грунта на его разупрочнение при действии вибрационных нагрузок. Аверочкина М.В. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Проведенные опыты показали, что при вибрационных колебаниях с частотами порядка 40–70 Гц зависимость прочности грунта от числа циклов вибонагружений имеет характер затухающей кривой. Поведение грунтов при действии на них вибрационной нагрузки зависит в большей степени от их природных свойств.

Ил. 1.

УДК 624.131.414.3

Закономерности развития во времени деформаций набухания по высоте слоя уплотненного глинистого грунта. Павilonский В.М. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Отмечены значительная продолжительность процесса набухания экрана, наличие фазы отставания в начале процесса набухания по высоте экрана, существенная неравномерность набухания, высокая интенсивность процес-

са набухания поверхностных слоев в первые дни после замачивания водой. В результате набухания водопроницаемость экрана возросла в 8 раз по сравнению с исходной.

Ил. 3.

УДК 624.131.414.3

Изучение усадки глины при повышенной температуре и давлении. Горлова А.Р. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Приведены результаты исследований по изучению влияния температуры и давления на усадку глин разного минералогического состава и с различным обменным комплексом. Установлено, что с повышением температуры увеличивается скорость усадки глин. С увеличением давления на грунт величина объемной усадки либо остается неизменной, либо уменьшается.

Табл. 1.

УДК 624.131.439.6

Прогноз деформационных изменений глинистых грунтов при длительных многократных нагрузках. Курмес В.Е. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Расчеты, выполненные по данному методу для типовых решений сборных железобетонных корпусов, показали, что дополнительная деформация грунтов основания в результате повторности нагрузки может составлять 20–30% от величины осадки. Для сооружений, которым характерен большой удельный вес повторной нагрузки и большее число эксплуатационных циклов, дополнительная деформация может быть существенно больше.

Ил. 1.

УДК 624.131.23

Техногенное изменение лесовых пород с инженерно-геохимической точки зрения. Кригер Н.И., Котельникова Н.Е. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Показано, что просадки и послепросадочная деформация, вызывая уплотнение пород, приводят к уменьшению запасов потенциальной энергии в породе и росту энтропии. При псевдокарстовом процессе затраты внешней энергии идут на создание пустот в породе. В нависающих сводах пустот возрастают запасы внутренней (потенциальной) энергии, но самопропизвальный процесс обрушения сводов вновь приводит к уменьшению запасов потенциальной энергии и возрастанию энтропии.

Ил. 3, библиогр. 7 назв.

УДК 624.131.23

Результаты лабораторных и полевых работ по закреплению лесовых грунтов формамидсиликатными растворами. Абрамова Т.Т., Воронкевич С.Д. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Полученные результаты показали, что воздействие формамидсиликатного раствора на лесовые грунты приводит к повышению их прочности,

а также водопрочности, что устраниет их просадочность и размываемость в условиях увлажнения.

Результаты проведенных работ, включая полевое опробование, позволяют рекомендовать инъекционный формамидаликатный раствор в качестве способа упрочнения лессовых грунтов для усиления оснований зданий и сооружений.

Табл. 1, ил. 1, библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.23

Влияние состава лесовых грунтов на прочность закрепления при воздействии на них силиката натрия. Абрамова Т.Т., Дивисилова В.И. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Проведенные исследования показали, что под влиянием силиката натрия лесовые грунты, в которых отмыты глинистые частицы, снижают прочность в 2 раза по сравнению с прочностью исходного грунта. Однородность состава грунта по дисперсности является отрицательным фактором для улучшения его инженерно-геологических свойств.

Табл. 1, библиогр. 5 назв.

УДК 624.131.23

Просадка лесового грунта в процессе его силикатизации. Сергеев В.И., Королев В.А., Шимко Т.Г. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Показано, что одним из явлений, осложняющих силикатизацию лесовых грунтов, может быть просадочность, возникающая за счет взаимодействия грунта с инъекционным раствором. Формирование просадки при силикатизации происходит в первые 5–10 мин взаимодействия лесового грунта с раствором. Учет просадочности важен при укреплении оснований существующих аварийных сооружений.

Ил. 3, библиогр. 5 назв.

УДК 624.131.232

Прогноз изменений физико-механических свойств лессовидных суглинков некоторых районов Ростовской области при обводнении. Орлов Я.М., Клещева Т.И. – В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

В работе рассмотрены результаты наблюдений, проведенных с грунтами, подвергшихся обводнению. Показано, что при замачивании глинистых грунтов оснований во всех расчетах значения угла внутреннего трения, удельного сцепления и модуля деформации должны приниматься применительно к случаю, когда степень влажности больше 0,8.

Табл. 1, ил. 2.

О прогнозе просадочности лессовых грунтов при изменении их влажности.  
Ткачук Э.И. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием  
деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Результаты позволяют отметить возможность прогноза просадочности лессовых грунтов при изменении их влажности в процессе строительства и эксплуатации инженерных сооружений, а также прогноза статистических показателей: средних значений относительной просадочности, среднеквадратичных отклонений и коэффициентов корреляции просадочности с пористостью (либо с объемным весом).

УДК 624.131.551

Техногенные изменения свойств грунтов и сейсмическое микрорайонирование. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Установлено, что физико-химические процессы влияют на сейсмические свойства грунтов. Это обстоятельство важно для изучения влияния техногенеза на сейсмическую опасность, поскольку техногенез нарушает термо-динамическое равновесие природных процессов и вызывает развитие разнообразных физико-химических процессов в грунтах.

Библиогр. 9 назв.

УДК 624.131.32

Режимные геофизические наблюдения в городах как способ прогноза изменения инженерно-геологических свойств грунтов в результате техногенеза. Жигалин А.Д., Кофф Г.Л., Янченко Ю.Ф. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Режимные геофизические наблюдения в городах позволяют оценить необратимые изменения параметров, определяющих состояние грунтового массива, под воздействием техногенных и естественных процессов, а также осуществлять планомерный и постоянный контроль за изменением во времени всех факторов, определяющих свойства и устойчивость грунтовых массивов.

УДК 624.131.436.6

Подбор материалов для земляных сооружений в условиях строительства при отрицательных температурах. Рабаев Г.С., Тимофеев Е.М., Лев Э.М. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Добавление к суглинку, имеющему оптимальную влажность, хлористого натрия изменяет его прочностные свойства. Так, при добавлении хлористого натрия в количестве менее 1% от веса сухого грунта наблюдалось уменьшение величины угла внутреннего трения с  $12^\circ$  до  $4^\circ$ , а сцепления с 0,067 до 0,045 МПа. Но при добавлении хлористого натрия в количестве более 1,5% прочностные показатели грунта практически не изменяются; при этом наблюдается существенное замедление промерзания грунта, что

позволяет производить укладку грунта в тело дамбы в зимнее время и обеспечивать требуемые для устойчивости сооружений параметры физико-механических свойств.

Ил. 3, библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.439

Исследование изменений прочностных свойств грунтов центральной зоны гидроотвала Михайловского ГОКа во времени. Вахтанова А.Н., Черняев В.Ф. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Приведены результаты экспериментальных исследований прочностных свойств грунтов, намытых в ядро опытного гидроотвала. Для сокращения времени рекультивации центральной зоны гидроотвала необходим намыв пригрузочного песчаного слоя мощностью более трех метров. При меньшей толщине пригрузочного слоя время рекультивации увеличивается. Приводится формула расчета зависимости времени начала работ по рекультивации от толщины пригрузочного слоя.

Табл. 5, библиогр. 5 назв.

УДК 624.131.41

К вопросу гидрогеохимических исследований грунтов испытывающих техногенез. Батурина И.В., Киселева Е.А., Кофф Г.Л. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Комплексные исследования гидрогеохимических изменений грунтов и подземных вод в результате техногенеза позволяют косвенным образом оценивать последствия воздействия человека на природу и, таким образом, проводить корректуру инженерной деятельности общества.

УДК 627.8.042.7:624.131.2

Режимные геофизические наблюдения за изменением физико-механических свойств грунтов земляных плотин во времени. Миндель И.Г., Чумаченко А.Н., Кнюк С.С. — В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982.

Приведены краткие сведения о разработанной методике режимных геофизических наблюдений за изменением свойств грунтов земляных плотин с применением радиоизотопных, электрокаротажных, сейсмокаротажных и акустических измерений. Показаны новые возможности получения богатой информации об изменении во времени физических, механических и сейсмических характеристик грунтов в теле и основании земляного сооружения. Приведены некоторые результаты наблюдений на исследованных плотинах. Указано на возможность использования предложенной методики режимных геофизических наблюдений на участках, где ожидается изменение геологической обстановки и свойств грунтов.

Ил. 3, библиогр. 5 назв.

**ИЗМЕНЕНИЕ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

*Утверждено к печати  
Научным советом по грунтоведению  
и инженерной геологии АН СССР*

Редактор *Н.А. Платов*  
Редактор издательства *А.М. Гладкова*  
Художник *С.Б. Генкина*  
Художественный редактор *С.А. Литвак*  
Технический редактор *Г.П. Каренина*  
Корректор *Л.А. Агеева*

ИБ № 24281

Подписано к печати 21.04.82. Т—07441  
Формат 60 x 90 1/16. Бумага офсетная № 1.  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,8.  
Усл. кр.-отт. 12,1  
Уч.-изд.л. 11,9. Тираж 1000 экз.  
Тип. зак. 1151. Цена 1 р. 80 к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7,  
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90  
Ордена Трудового Красного Знамени  
1-я типография издательства "Наука",  
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"  
ГОТОВИТСЯ К ВЫПУСКУ в 1983 году монография**

**И.Г. Коробанова  
"ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТЕРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЛИТОГЕНЕЗА"**

В монографии рассмотрены инженерно-геологические аспекты формирования состава и свойств терригенных отложений на различных стадиях литогенеза. Предложена принципиальная схема формирования свойств пород в процессах осадочного породообразования. Разработана инженерно-геологическая типизация пород на основе анализа стадий и этапов литогенеза и даны методические рекомендации для рационального изучения пород с учетом их зональных особенностей.

Для специалистов в области инженерной геологии, литологии, нефтяной геологии, горного дела.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов "Книга-почтой" "Академкнига":

480091 Алма-Ата, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005 Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320005 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277001 Кишинев, ул. Пирогова, 28; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197110 Ленинград, П-110, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.

1 p. 80 k.

3746