

УДК 624.131.1; 626.822

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.35>

ЯВЛЕНИЕ ПРОСАДКИ В ОСНОВАНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ УСКОРЕННЫМ МЕТОДОМ

Вердиев А.А. – к.т.н., доцент,

Азербайджанское научно-производственное объединение гидротехники и мелиорации

Целью исследований являлись разработки ускоренных методов определения относительной просадочной деформации и начального просадочного давления грунта для оперативного и полного охвата всех интервалов распространения просадочных грунтов, распространенных на трассе магистральных каналов еще на стадии проектирования. В соответствии с поставленной задачей, исследования проводились в трех направлениях: распространение просадочных грунтов в основании магистральных каналов, расположенных на территории Республики, и влияние просадочной деформации при их эксплуатации; изучение водно-физико-механических свойств грунтов, специфичность лессовых и лессовидных грунтов; возможность установления математико-статистической зависимости просадочных показателей от водно-физических свойств грунтов. Выполнены соответствующие полевые и лабораторные работы на территориях, входящих в зону влияния магистральных каналов Азербайджанской Республики. Исследования проводились на основе общепринятых методов инженерной геологии. Результаты исследований обработаны методами математической статистики через электронный табличный процессор MS Excel. Был проведен корреляционный анализ физико-механических характеристик грунтов, определена связь между начальным просадочным давлением и относительными просадочными деформациями и водно-физическими характеристиками. Выявлено, что относительную просадочную деформацию, возникающую при замачивании грунта под давлением $P = 0,3$ МПа, ускоренно и легко можно определить с помощью уравнений (1) – (9). Для этого необходимо знать влажность, плотность и коэффициент пористости в естественном залегании грунта.

Ключевые слова: грунт, канал, лесс, лессовидные, просадка, начальное просадочное давление, коэффициент относительной просадочной деформации, корреляционная связь, регрессия.

Вердiєв А.А. Явище просадки в основi магiстральних каналiв Азербайджанської Республiки, визначення просiдних властивостей ґрунтiв прискореним методом

Метою досліджень були розробки прискорених методiв визначення вiдносної просадкової деформації i початкового просiдного тиску ґрунту для оперативного i повного охоплення всiх iнтервалiв поширення просiдних ґрунтiв, поширених на трасi магiстральних каналiв ще на стадiї проєктування. Вiдповiдно до поставлених завдань, дослідження проводилися за трьома напрямками: поширення просiдних ґрунтiв в основi магiстральних каналiв, розташованих на територiї Республiки, i вплив просадкової деформації пiд час їх експлуатації; вивчення водно-фiзико-механiчних властивостей ґрунтiв, специфiчнiсть лесових i лесовидних ґрунтiв; можливiсть установлення математико-статистичної залежностi просадкових показникiв вiд водно-фiзичних властивостей ґрунтiв. Виконанi вiдповiднi польовi та лабораторнi роботи на територiях, що входять у зону впливу магiстральних каналiв Азербайджанської Республiки. Дослідження проводилися на основi загальноприйнятих методiв iнженерної геологiї. Результати досліджень обробленi методами математичної статистики через електронний табличний процесор MS Excel. Зроблено кореляційний аналіз фiзико-механiчних характеристик ґрунтiв, визначено зв'язок мiж початковим просiдним тиском i вiдносними просадковими деформаціями i водно-фiзичними характеристиками. Виявлено, що вiдносне просiдання, що виникає в разi замочування ґрунту пiд тиском $P = 0,3$ МПа, прискорено i легко можна визначити за допомогою рiвнянь (1) – (9). Для цього необхідно знати вологiсть, щiльнiсть i коефiцієнт пористостi у природному залеганнi ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, канал, лес, лесовидні, просадка, початковий просiдний тиск, коефiцієнт вiдносної просадкової деформації, кореляційний зв'язок, регресія.

Verdiyev A.A. The phenomenon of subsidence at the base of the main canals of the Republic of Azerbaijan, the determination of the soils subsidence properties by the accelerated method

The aim of these study is the development of accelerated methods for determining the relative subsidence deformation and the initial subsidence pressure of the soil, for operative and full coverage of all the intervals of the distribution of the soil subsidence, distribute don the route of the main canals even at the designst age. In accordance with this task, the research was conducted in three directions: the distribution of subsiding soils at the base of the main canals located in the Republic and the effect of subsidence deformation during their operation; the study of the soil water-physical-mechanical properties, the specificity of loess and loess-types oils; the possibility of development of the mathematical-statistical dependence of subsidence indicators on the soil water-physical properties. The related field and laboratory works were carried out in the territories located in the main canals influence zone of the Azerbaijan Republic. The studies were conducted on the basis of common methods applied in engineering geology. The research results are processed by the mathematical and statistics methods using an MS Excel software.

The correlation analysis of the physic mechanical characteristics of the soils was carried out and the relationship between the initial subsidence pressure and the relative subsidence deformations and water-physical characteristics was determined. It was defined that the relative subsidence deformation arising from the soaking of the soil under the pressure $P = 0,3$ MPa can be quickly and easily determined by the using of the equations (1) – (9). To do this, it is necessary to know the natural humidity, density and porosity coefficient of the natural soil.

Key words: soil, canal, loess, loess-type, subsidence, initial subsidence pressure, coefficient of relative subsidence deformation, correlation dependence, regression.

Введение. На территории Азербайджанской Республики в основании сооруженный различного назначениям обнаруживаются ґрунты с неустойчивой структурой (просадочные лессовые и лессовидные, набухающий ґрунт и т. д.), а соответствующие деформации, возникшие при взаимодействии ґрунтов с водой, затрудняют эксплуатацию сооружений.

Негативные последствия просадки лессов и лессовых ґрунтов в основании сооружений часто наблюдаются при эксплуатации магистральных каналов, при этом просадочные деформации ґрунтов приводят к ухудшению условий работы и нарушению функциональных параметров магистральных каналов. Обычно магистральные каналы большой протяженности взаимодействуют с геологической средой на больших территориях с различными инженерно-геологическими условиями. Так как изучение просадочных свойств ґрунтов – длительный процесс, то при проектировании магистральных каналов разнообразие, изменчивость ґрунтовых условий трасс каналов изучаются на недостаточном уровне в полевых и лабораторных условиях, вследствие чего не применяются соответствующие инженерные мероприятия для улучшения свойств или условий работы ґрунтов до строительства, а при эксплуатации каналов возникают просадочная деформация и связанные с ней негативные последствия.

Поэтому разработка методов исследования, позволяющих быстро определить относительную деформацию просадки, сохраняет свое значение в качестве актуального вопроса. Такие методы исследования могут быть созданы на основе определения соответствующей зависимости между первоначальным давлением (а также относительной деформацией) просадки и исходными физическими характеристиками ґрунтов.

1. Объект исследований, методика проведения исследований и постановка задачи. В качестве объекта исследований были выбраны лессовые и лессовидные ґрунты в основании магистральных каналов на территории Азербайджанской Республики.

Исследования проводились на основе общепринятых методов проведения исследований в инженерной геологии, с математико-статистическим анализом результатов полевых и лабораторных испытаний.

Явление просадки наблюдается в лессовых и лессовидных грунтах, при нахождении их в напряженном состоянии под нагрузкой, во время смачивания водой. Лессовые грунты (синоним термина «пыльные грунты») относятся к нецементированным осадочным грунтам, с полигенетическим образованием. Термин «лессовые грунты» включает в себя два понятия – «лессы» и «лессовидные грунты» [9].

Происхождению, свойствам, оценке и методам устранения просадочных деформаций лессовых грунтов посвящены работы многих исследователей: Ф. Рихтгофена, И. Мушкетова, В. Обручева, П. Тутковского, А. Москвитина, И. Трофимова, И. Седлецкого, Н. Кригера, П. Короткина, В. Докучаева, А. Павлова, Н. Димо, С. Захарова, С. Неуструева, М. Филатова, С. Морозова, Н. Денисова, Е. Сергеева, А. Ларионова, Е. Шанцера, В. Попова, Г. Мавлянова, М. Лысенко, В. Ананьева, К. Лукашева, Г. Бондарика, В. Трофимова, Н. Кудрявцева, Н. Богословского, Н. Сибирцева, Л. Берга, Д. Балаева, П. Царева, В. Коробкина, А. Минервина, Б. Галая, Н. Воляника, Н. Комиссаровой, Н. Коломийцева, М. Лейтона, Х. Уилмена, А. Свайнфорда, Э. Литяну, М. Печи, Ю. Скворцова, Ю. Абелева, Б. Далматова, В. Крутова и др.

Лессовые грунты, распространенные на территории Азербайджанской Республики, изучены А. Мустафаевым, П. Алиш-заде, С. Алиевым, Т. Исмаиловым, Т. Багировым, А. Шахсуваровым и др.

Существует много гипотез о происхождении лессов, которые можно объединить в несколько групп: эоловая, водные и почвенно-элювиальные [6; 14; 15; 17; 11; 12]. В условиях формирования лессов в каждой группе гипотез принимается решающий фактор как основной. В этих гипотезах отмечается, что лессовые грунты состоят из континентальных отложений, образующихся под влиянием определенных литогенетических процессов, происходящих в условиях соответствующей флоры и фауны, отражающих влияние этих процессов на формирование свойств лессов. Степень просадочных свойств и признаков зависит от способа и условий осадконакопления. В тоже время характерные черты и особенности лессов являются более острыми в отложениях эолов, эти признаки и специфичность ослаблены в делювиальных и пролювиальных отложениях и, по-видимому, совершенно слабые в проявлениях аллювиальных отложений.

Лессовидные отложения в основном пролювиальные, делювиальные, аллювиальные, флювиогляциальные отложения и т. д. Среди типов лессовидных грунтов часто встречаются глинистые грунты. Из-за сложности изучения генезиса этих грунтов исследователям предлагается отличить их от лессов. Однако, поскольку лессовидные глины имеют характерные особенности для лессов, предлагается включить их в особую группу лессовых пород [9].

Свойствам и оценке просадочных деформаций лессовых грунтов посвящены работы многих исследователей [1; 10; 16; 18–20]. По действующему Своду правил (СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений». Актуализированная редакция, 2017 г.), просадочные деформации в лессовых и лессовидных грунтах учитываются тогда, когда относительная деформация просадки составляет $\mu_d \geq 0,01$, а если $\mu_d < 0,01$, то грунт является непросадочным.

Исходные свойства лессовых и лессовидных грунтов изменяются под воздействием различных процессов. Поэтому важно обратить внимание на происхождение отложений, условия их формирования и степень вариации их свойств для прогнозирования и инженерно-геологической оценки при проведении инженерной деятельности в геологической среде.

Многолетними исследованиями установлено, что генетический состав и условия образования лессовых и лессовидных просадочных грунтов на территории Азербайджана разнообразны [2–4].

Проведенными исследованиями выявлено, что изучением водно-физических свойств, учитывая генезис, можно установить корреляционную связь между водно-физическими и просадочными характеристиками грунтов и определенными регрессионными уравнениями быстро определить просадочные характеристики на изучаемом объекте.

2. Результаты исследований, анализа и обсуждения. Согласно исследованиям, проводимым в течение многих лет, просадочные грунты широко (до 20%) распространены на территории Азербайджанской Республики [4].

Несоблюдение правил проектирования и строительства инженерных сооружений на этих грунтах привело к невозможности своевременно предотвратить множество неприятных инцидентов на сооружениях, построенных на них. Например, разрушение соответствующих объектов и сооружений из-за просадочных деформаций, вызванное смачиванием грунтов, на территории Газахского, Товузского, Физулинского, Бейлаганского и Евлахского районов, Мингячевира, на Апшеронском полуострове, Джейранчельской и Мильской равнинах Азербайджанской Республики. Кроме того, на этих объектах зафиксированы трудности эксплуатации. Следовательно, должны быть приняты эффективные меры по улучшению строительных свойств грунтов в основании сооружений для нормальной их эксплуатации, а также с учетом конкретных условий и эксплуатационных требований.

Относительные просадочные деформации и мощность просадочных грунтов на территории Азербайджанской Республики широко варьируются в разных местах, обычно толщина слоя варьируется от 5 до 20 м, иногда больше. Начальное просадочное давление грунта в основном находится в диапазоне 0,02–0,10 МПа [4].

Поскольку внешняя нагрузка, вызванная инженерной деятельностью, часто составляет $P \geq 0,02$ МПа, то при строительстве в стране различных сооружений в аналогичных условиях требуется применение соответствующих инженерных мероприятий.

В отличие от других объектов, в основании гидромелиоративных систем, построенных на просадочных грунтах, деформация просадки возникает с первого года их эксплуатации, что приводит к различным неблагоприятным явлениям. Примером, связанным с просадочными деформациями, могут быть возникшие трудности в эксплуатации Верхнего Мильского канала.

Верхний Мильский канал (далее – ВМК) питается водой Главного Мильского канала (далее – ГМК), который берет воду из Миль-Муганского гидроузла. Миль-Муганский гидроузел был построен и введен в эксплуатацию в 1972 г. на пограничной реке Аракс в поселке Горадиз Физулинского района, в соответствии с Соглашением «О техническом и экономическом сотрудничестве», подписанным между Советским Союзом и Иранским государством в 1963 г. Гидроузел был построен с целью совместного использования Азербайджаном и Ираном гидроузла, отрегулированного потока реки Аракс.

Строительство ВМК, предусматривающее обеспечение водой 33,1 тысячи гектаров земли Физулинского, Бейлеганского, Агджабединского и Агдамского районов, началось в 1980-х гг., часть его построена в 1985 г. и сдана в эксплуатацию. В настоящее время построено 24,53 км канала с его общей протяженностью 66,1 км. 17,9 км канала имеет бетонную облицовку, 2,6 км – трубопровод, 4,03 км – без облицовки.

Проанализированы многочисленные данные результатов научно-исследовательских работ по инженерно-геологическим условиям трассы ВМК, проведенных в разные годы [5; 13], систематизированы данные об интервале залегания просадочных грунтов по трассе канала, степени просадки, связи между факторами, осложняющими условия эксплуатации канала. Установлено, что на трассе канала, проходящей по территории Бейлеганского района, просадочные грунты встречаются в 18 интервалах, а по трассе V-1 оросительного канала на 9 участках.

Просадочные грунты, выявленные на территории исследования, в основном состоят из dpQ_{IV} супесей и суглинков и не подвергались литификации стратиграфически-генетического комплекса, толщиной 2–5 м, иногда 5–15 м. На основе их физико-механических показателей можно сказать, что для возникновения просадочных деформаций в этих грунтах достаточно их увлажнения до начальной просадочной влажности.

В целом, согласно результатам полевых исследований, проведенных в разных инженерно-геологических районах Республики, просадочные деформации в лессовых и лессовидных грунтах по вертикали с поверхности земли почти не происходят на том же уровне, что и во время смачивания. Это связано с тем, что, если в период образования, с одной стороны, возникает анизотропность в свойствах грунтов по глубине, то с другой стороны, из-за возникновения просадки при замачивании ниже глубины соответствующей начальному давлению, в связи с резким снижением коэффициента фильтрации, грунт не замачивается в нижних слоях до начальной просадочной влажности. Также установлено, что условия увлажнения грунтов влияют на развитие их контура увлажнения [3; 4].

По результатам научно-исследовательских работ, проведенных в этом направлении в Азербайджане, можно сказать, что грунты, образованные в различных условиях, в частности в лессовидных, имеют все физические показатели (плотность грунта на естественном залегании, влажность, коэффициент пористости, макропористость и др.), относящиеся к просадочным грунтам, несмотря на это, не наблюдаются просадочные деформации в грунтах при замачивании под нагрузкой, из-за протекания процесса цементирования в период их образования. Особенно это явление наблюдалось в грунтах лессовидного пролювиального, делювиально-пролювиального происхождения, вблизи территории Агдаг-Газахского района. Эти грунты встречаются на глубинах 9–17 м над поверхностью Земли, по внешнему признаку – хорошо срезанные острым предметом, отличающиеся макропористостью, вертикальной пористостью, серые, темно-серые, имеющие видимость цементации при резке. Естественная влажность этих грунтов составляет 7–18,81%, плотность при естественном залегании – 1,54–1,56, плотность минеральной фазы – 2,70, коэффициент пористости – 0,860–1,080, число пластичности – 7,40–10,11%, консистенция твердая и полутвердая, общий модуль деформации при естественной влажности 10–12 МПа, под водой – 6–8 МПа. При замачивании их водой под нагрузкой просадочные деформации не наблюдались.

Другие грунты, схожие с лессовидными, это твердые или полутвердые суглинки пролювиального, делювиально-пролювиального происхождения. Плотность при естественном залегании – 1,58, плотность минеральной фазы – 2,70, естественная влажность – 30–32%, коэффициент пористости – 1,229–1,213, в составе не чувствуется наличие цементации, наблюдается слабая набухающая деформация, давление набухания до 0,05 МПа, сильное сжатие при вертикальной нагрузке выше давления набухания.

Вышеупомянутые проблемы следует учитывать при разработке методики расчета просадочной деформации грунтов на основе их водно-физических показателей.

Установлено, що по трасе ВМК розпространені тверді суглинки, існуючі різного значення просадочної деформації в певних інтервалах траси каналу. Густина ґрунту при природному заляганні – 1,22–1,85, природна вологість – 7,03–21,37%, при тиску $P = 0,05$ МПа коефіцієнт відносної просадки $\varepsilon_{sl} = 0,010 - 0,061$, при $P = 0,10$ МПа $\varepsilon_{sl} = 0,011 - 0,071$, при $P = 0,20$ МПа $\varepsilon_{sl} = 0,026 - 0,090$, при $P = 0,30$ МПа $\varepsilon_{sl} = 0,051 - 0,112$. На основі існуючої методики розрахунку просадочної деформації виявлено, що очікувана просадочна деформація в цих ґрунтах коливається в діапазоні 0,12–0,84 м. По значенню просадочної деформації лесові ґрунти, розпространені по трасе ВМК, можуть бути віднесені до слабких, середніх і сильних просадочних ґрунтів. Тобто до ґрунтів з трьома ступенями просадочності ґрунтів по існуючій класифікації.

На основі результатів відповідних дослідницьких матеріалів по просадочним ґрунтам делювіально-пролювіального походження проаналізована кореляційна зв'язь з даними по водно-фізическим показателям і відносній просадочній деформації під нормальним тиском $P = 0,30$ МПа через електронний табличний процесор MS Excel, отримані наступні результати (таблиця 1).

Таблиця 1

Кореляційний аналіз по даним о фізико-механічних характеристиках просадочних лесовидних ґрунтів, зустрічаються по трасе ВМК

Характеристики ґрунта	W	ρ_w	e	P_b	
Природна вологість, W , %	1,000				
Густина ґрунту при природному заляганні, ρ_w , г/см ³	0,012	1,000			
Коефіцієнт пористості, e 0,393	0,393	-0,907	1,000		
Початковий просадочний тиск, P_b , МПа	0,588	0,739	-0,463	1,000	
Відносна просадочна деформація	-0,535	-0,770	0,509	-0,982	1,000

Відповідно до таблиці 1, більш тісна зворотна парна зв'язь з практичними значеннями відносної просадочної деформації – це значення початкового тиску просадки, потім густина ґрунту природного залягання, вологість, пряма зв'язь коефіцієнта пористості ґрунту на природному заляганні. Виходячи з цього, встановлено регресійним рівнянням відносна просадочна деформація від густини в природному заляганні, природної вологості ґрунту, коефіцієнта природної пористості, початкового просадочного тиску, на основі даних об відносних просадочних деформаціях при замочуванні ґрунтів водою під тиском 0,05–0,30 МПа. Ця залежність під вертикальним тиском:

$$\varepsilon_{sl} = 0,1168 + 0,000043W - 0,01475\rho_w - 0,003592e_0 - 1,145645P_b. \quad (1)$$

Ця залежність під вертикальним тиском:

$$\varepsilon_{sl} = -0,00379W - 0,002547\rho_w + 0,07787e_0. \quad (2)$$

Под вертикальным давлением:

$$\varepsilon_{st} = -0,00385W - 0,00834\rho_w - 0,081935e_0. \quad (3)$$

Под вертикальным давлением:

$$\varepsilon_{st} = -0,00403W - 0,016683\rho_w - 0,091435e_0. \quad (4)$$

На основании этих данных установлена корреляционная связь между начальным просадочным давлением грунта и плотностью в естественном залегании, естественной влажностью и коэффициентом пористости. Полученная зависимость выглядит следующим образом:

$$P_b = 0,3685 + 0,00513W - 0,1368\rho_w - 0,15956e_0. \quad (5)$$

Таким образом, на территории Мильской равнины можно рассчитать начальное просадочное давление и относительную просадочную деформацию лессовидных грунтов под вертикальную нагрузку 0,05–0,30 МПа соответственно уравнениям (1) – (5).

(1) – (5) уравнения:

ε_{st} – относительная просадочная деформация при замачивании грунта водой под соответствующим вертикальным давлением, с долями единиц;

ρ_w – плотность грунта в естественных залеганиях г/см^3 ;

W – естественная влажность грунта, %;

e_0 – коэффициент естественной пористости, с долями единиц;

P_b – начальное просадочное давление грунта, МПа.

На основании результатов научно-исследовательских работ по просадочным грунтам, встречающимся в различных регионах Республики и затрудняющим эксплуатацию магистральных каналов, проанализирована возможная парная корреляция между водно-физическими показателями и относительными просадочными деформациями грунтов, при замачивании водой под давлением $P = 0,3 \text{ Мпа}$ (Таблица 2).

Таблица 2 показывает, что связь с данными об относительной просадочной деформации грунта существует между показателями коэффициентами водонасыщения, плотности грунта в естественном залегании, коэффициентом пористости (пористости) и верхним пределом пластичности.

При относительной просадочной деформации, возникающей при замачивании грунта водой под давлением $P = 0,3 \text{ Мпа}$, возможное регрессионное уравнение грунта определено по соответствующим показателям 5, 4 и 3, имеющим относительно значительную связь:

$$\varepsilon_{st} = -0,00453W - 0,0015\rho_w + 0,101295e_0 + 0,42S_r + 0,000263W_L, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{st} = -0,00466W - 0,00091\rho_w + 0,108112e_0 + 0,063162S_r, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{st} = 0,001429W + 0,058526\rho_w - 0,14516S_r, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{st} = -0,00288W + 0,015174\rho_w + 0,080586e_0. \quad (9)$$

Статистика регрессии при установлении корреляционной связи между соответствующими физическими характеристиками и параметрами просадки грунта отражена в таблице 3.

Таблиця 2

Аналіз кореляції по даним характеристик просадочних ґрунтів, зустрічаючися по трасі експлуатуємих магістральних каналів Азербайджанської Республіки

Характеристики ґрунтів	Естесвенная влажность, W , %	Плотность ґрунта в естественном залегании, ρ_w , г/см ³	Плотность скелета ґрунта, ρ_d , г/см ³	Плотность частиц ґрунта, ρ_s , г/см ³	Пористость ґрунта, n , %	Коеффициент пористости, e	Коеффициент водонасыщения, S_r	Верхний предел пластичности, W_L , %	Нижний предел пластичности, W_P , %	Число пластичности, J_p , %	Относительная просадочная деформация
W	1,000										
A_w	0,302	1,000									
A_d	-0,314	0,808	1,000								
A_s	-0,034	0,002	0,024	1,000							
n	0,265	-0,736	-0,896	0,421	1,000						
e_0	0,282	-0,763	-0,931	0,329	0,991	1,000					
S_r	0,832	0,697	0,175	-0,280	-0,289	-0,267	1,000				
W_L	0,530	0,156	-0,175	-0,023	0,140	0,155	0,466	1,000			
W_P	0,452	-0,200	-0,481	0,094	0,470	0,485	0,213	0,721	1,000		
J_p	0,412	0,359	0,101	-0,098	-0,142	-0,131	0,493	0,869	0,284	1,000	
\bar{A}_d	-0,486	-0,522	-0,223	0,073	0,236	0,236	-0,596	-0,203	-0,144	-0,178	1,000

Таблица 3

Регрессионная статистика эмпирической формулы

Номер эмпирической формулы	Множественная корреляция, R	Множественный коэффициент детерминации, R ²	Стандартная ошибка	Число наблюдений
1	0,960	0,93	0,0036	480
2	0,996	0,992	0,0041	480
3	0,996	0,992	0,0041	480
4	0,999	0,998	0,0041	480
5	0,967	0,935	0,0028	481
6	0,937	0,878	0,0180	231
7	0,937	0,879	0,0183	231
8	0,924	0,855	0,0198	231
9	0,936	0,876	0,0182	231

Согласно анализу результатов уравнений (6), (7), (8) и (9), можно сказать, что относительную просадочную деформацию, возникающую при замачивании грунта под давлением $P = 0,3$ МПа, легко можно определить с помощью уравнения (9). Для этого необходимо знать влажность, плотность и коэффициент пористости грунта в естественном залегании.

Выводы:

- в основании магистральных каналов просадочные грунты встречаются часто и, ухудшая их техническое состояние, усложняют условия эксплуатации;
- при проектировании гидромелиоративных систем на территориях, где распространены лессовые и лессовидные грунты, следует проводить соответствующие оценки с учетом генезиса и условий образования данных грунтов;
- при ускоренном методе определения начального просадочного давления и относительной просадочной деформации лессовых и лессовидных грунтов, распространенных в Азербайджанской Республике, можно использовать уравнения (1) – (9), при этом в естественной структуре грунта цементация не должна участвовать.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абелев Ю., Абелев М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. Москва : Стройиздат, 1979.
2. Геология Азербайджана / А. Алекперов и др. Т. VIII : Гидрогеология и инженерная геология. Баку : Nafta-Press, 2008.
3. Алиев С. Лессовые просадочные грунты как основания земляного полотна автомобильных дорог : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Баку, 2009.
4. Алиш-заде П. Лессовые грунты Азербайджана. Баку : АЗНИИТИ, 1978.
5. Ахмедзаде А., Гашимов А., Вердиев А. История создания Азербайджанского научно-производственного объединения гидротехники и мелиорации и достижения азербайджанской мелиоративной науки в XX–XXI веках. Баку : Азернешр, 2014 (на азербайджанском языке).
6. Балаев Л., Царев П. Лессовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. Москва : Наука, 1964.
7. Исмаилов Т. Исследование эффективности поверхностных уплотнений грунтов ложа канала : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Баку, 1974.

8. Калачук Т., Шин Е. О видах деформации лессовых просадочных грунтов. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 3. С. 59–61.
9. Ломтадзе В. Инженерная геология. Инженерная петрология : учебник. Ленинград : Недра, 1984.
10. Мокрицкая Т., Самойлич К. О некоторых аспектах моделирования геодинамического риска на территориях распространения просадочных грунтов. Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography. 2017. № 25 (2). С. 111–116. DOI: 10.15421/111725.
11. Просадочность лессовых пород юга Русской платформы как зональное географическое явление / Ю. Олянский Ю. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. Вып. 2. С. 77–81. DOI: 10.17213/0321-2653-2015-2-77-81.
12. Пантюшина Е. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств. Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 127–130.
13. Пашаев Е., Гасанов Ф. Институт Азгипроводхоз – 80. Баку : Шерг-Гарб, 2013.
14. Сергеев Е., Ларионов А., Комиссарова Н. Лессовые породы СССР: в двух томах. Том II : Региональные особенности. Москва : Недра, 1986.
15. Сергеев Е., Ларионов А., Комиссарова Н. Лессовые породы СССР : в двух томах. Том I : Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования. Москва : Недра, 1986.
16. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83* Свод правил. Москва, 2017.
17. Трофимов В. Теория формирования просадочности лессовых пород. Москва : ГЕОС, 2003.
18. Фролов Н. Проектирование гидросооружений оросительных систем на просадочных грунтах. Москва : ВО «Агропромиздат», 1988.
19. Черныш А., Губарев С. Развитие упругих деформаций лессовых грунтов в зависимости от влажности. Вектор ГеоНаук. 2018. Т. I. № 2. С. 17–20.
20. Юрченко С., Будикова А. Методика расчета ожидаемой совместной просадочной деформации гидротехнических сооружений с учетом области замачивания. Вестник ТГАСУ. 2008. № 2. С. 170–180.