Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Кузьменко И.Ю. Особенности деформационного поведения замедленно-просадочных лессовых грунтов в основаниях инженерных сооружений при техногенном обводнении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 34–45. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.04

Bogomolov A.N., Olianskii Yu.I., Shchekochikhina E.V., Kuz'menko I.Yu. Features of deformation behavior, slow subsidence of loess soils in the foundations of engineering structures in the man-made flooding. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. 2016. Vol. 7, no. 3. Pp. 34-45. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.04

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 3, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.04

УДК 624.131.23

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ЗАМЕДЛЕННО-ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ОБВОДНЕНИИ

А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, И.Ю. Кузьменко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Волгоград, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 03 июня 2016

Принята: 16 июня 2016

Опубликована: 30 сентября 2016

Ключевые слова:

лессовые породы, просадочность, послепросадочные уплотнение, формула Байеса

АННОТАЦИЯ

Лессовые грунты достаточно широко распространены на территории Предкарпатья, Предкавказья, в Волгоградской и других областях России. В настоящее время схема испытаний, предусмотренная нормативными документами, не полностью соответствует реальным условиям работы оснований и фундаментов, особенно при подтоплении территорий. В статье рассмотрены вопросы, связанные с изменением представлений о просадочности и методах борьбы с ней на примере города Кишинева. Проанализированы результаты исследований лессовых грунтов, и установлены основные причины деформаций зданий, построенных на таких грунтах. Рассмотрены дополнительные мероприятия по борьбе с просадочностью в зависимости от типа просадочного грунта. На основе экспериментальных данных охарактеризованы особенности изменения состава и свойств лессовых пород при длительном взаимодействии с водой. Изучение деформационного поведения лессовых пород осуществлялось в компрессионных приборах системы Н.Н. Маслова, позволяющих замерять просадочные деформации при капиллярном водонасыщении и при фильтрации воды через образец грунта. Испытания лессовых пород в условиях замачивания и фильтрации в течение 90 сут показали, что длительное взаимодействие с водой ведет к полной их деградации. Послепросадочное уплотнение, связанное с длительной фильтрацией воды через лессовую породу, обусловлено разрушением водостойких структурно-коллоидных связей между ее частицами и проявляется в виде деформации ползучести скелета. По результатам компрессионных испытаний предложена методика прогноза послепросадочного уплотнения, основанная на использовании метода вероятностных аналогий.

© ПНИПУ

© **Богомолов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор, e-mail: banzaritcyn@mail.ru.

Олянский Юрий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, e-mail: olyansk@list.ru.

Щекочихина Евгения Викторовна – кандидат геолого-минералогических наук, e-mail: evg-schek@yandex.ru.

Кузьменко Ирина Юрьевна – инженер, e-mail: ikuzmenk@rambler.ru.

Aleksandr N. Bogomolov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: banzaritcyn@mail.ru.

Iurii I. Olianskii – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, e-mail: olyansk@list.ru.

Evgeniia V. Shchekochikhina – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, e-mail: evg-schek@yandex.ru.

Irina Iu. Kuz'menko – Engineer, e-mail: ikuz-menk@rambler.ru.

FEATURES OF DEFORMATION BEHAVIOR, SLOW SUBSIDENCE OF LOESS SOILS IN THE FOUNDATIONS OF ENGINEERING STRUCTURES IN THE MAN-MADE FLOODING

A.N. Bogomolov, Iu.I. Olianskii, E.V. Shchekochikhina, I.Iu. Kuz'menko

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volgograd, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 03 June 2016

Accepted: 16 June 2016

Published: 30 September 2016

Keywords:

loess, broadcloth, seal after
drawdown, the Bayes formula

ABSTRACT

Loess soils are widespread on the territory of the Precarpathians, Caucasus, Volgograd and other regions of Russia. Currently, the scheme of the test under normative documents do not fully correspond to the real operating conditions of bases and foundations, especially in flooding areas. The article considers the issues related to the changing perceptions of subsidence and methods of combating it the example of the city of Chisinau. The analysis of the results of the studies of loess soils and the main reasons of deformations of buildings constructed on such soils. Consider additional measures for the fight against subsidence depending on type of subsidence of the soil. Based on experimental data is characterized by the features of changes in the composition and properties of loess rocks with prolonged contact with water. The study of the deformation behavior of loess rocks was carried out in the compression devices of the system N.N. Maslova, allowing to measure subsidence deformation in capillary water saturation and the filtration of water through the soil specimen. Testing of loess rocks in the conditions of soaking and filtration for 90 days showed that prolonged contact with water leads to their complete degradation. Posleprodazhnoe seal associated with long-term filtration of water through the loess breed, due to the destruction of water-resistant structural bonds between colloidal particles and it is manifested in the form of creep strain of the skeleton. The technique of prediction seal after drawdown re-results of compression tests based on the use of probabilistic method of analogies.

© PNRPU

К замедленно-просадочным грунтам относятся лессовидные и лессоподобные средние и тяжелые суглинки, дисперсная составляющая которых представлена в основном монтмориллонитом. Такие лессовые грунты достаточно широко распространены на территории Предкарпатья, Предкавказья, в Волгоградской и других областях России. Основная проблема борьбы с просадочностью на этих грунтах вытекает из того, что действующие в настоящее время нормативные документы (СП 22.13330.2011, ГОСТ 23161–78) предусматривают определение показателей просадочности: величины относительной просадочности ϵ_{sl} и начального просадочного давления P_{sl} в компрессионных приборах – непродолжительным замачиванием образцов грунта в условиях их капиллярного водонасыщения. Такая схема испытаний не полностью соответствует реальным условиям работы оснований и фундаментов, особенно при подтоплении территорий. Для замедленно-просадочных грунтов различие в значениях показателей просадочности, определенных в лабораторных условиях и по натурным данным, весьма существенно, что часто является основной причиной их деформаций.

Эволюция представлений о просадочности и методах борьбы с ней на лессовых грунтах такого типа хорошо прослеживается на примере застройки территории г. Кишинева, расположенной в периферийной части Кодринской возвышенности. Лессовые грунты покрывают территорию города практически повсеместно. Это преимущественно средние суглинки с числом пластичности 0,12–0,14, влажностью 0,11–0,13, плотностью сухого грунта 1,45–1,55 г/см³. Начальное просадочное давление составляет 0,11–0,12 МПа. Мощность лессовой толщи варьируется в интервале от 2–3 до 25–30 м. Толща обладает

просадочностью в основном до глубины 11,0–12,0 м. Тип грунтовых условий по просадочности 80 % территории города – I; 20 % территории – II. Максимальная просадка толщи от собственного веса достигает 20–25 см (рассчитана по данным компрессионных испытаний по схеме «двух кривых») [1].

До 1962 г. при строительстве на просадочных грунтах г. Кишинева выполнялись только мероприятия по предохранению оснований от замачивания: устройство лотков, смотровых колодцев, отмосток, планировка поверхности. Спустя несколько лет после сдачи в эксплуатацию домов стали замачиваться грунты основания из неисправных инженерных сетей. Водозащитные мероприятия оказались малоэффективными и многие из построенных зданий стали деформироваться, некоторые из них были демонтированы [2].

Начиная с 1962 г. при строительстве на просадочных грунтах стали применять уплотнение трамбованием [3]. Это позволило устраивать водонепроницаемый экран из лессовых уплотненных грунтов мощностью до 2–3 м и снизить нагрузку на неуплотненный лессовый грунт до величины, меньше начального просадочного давления. Такой метод подготовки лессовых оснований широко распространился на всю территорию города и использовался вплоть до 1974 г.

В 1974 г. вышел новый СНиП II-15–74, который ввел в практику строительства на просадочных грунтах новую классификацию лессовых толщ по просадке толщи от собственного веса: I и II тип грунтовых условий по просадочности. К этому времени некоторые из уже построенных на уплотненном лессовом экране зданий начали давать деформации, иногда значительные. Причина деформаций – просадка в нижних частях лессовой неуплотненной толщи вследствие поднятия уровня грунтовых вод [4]. Это вызвало необходимость пересмотреть мероприятия по подготовке лессовых оснований в свете рекомендаций СНиП II-15–74 и следующего СНиП 2.02.01–83. Стал применяться комплекс из водозащитных мероприятий, мероприятий по устранению просадочности и конструктивных мероприятий. Наиболее трудоемкими являются мероприятия по устранению просадочности лессового основания, особенно на глубинах более 8,0 м.

Анализ компрессионных испытаний показал, что большая часть просадочности лессовой толщи на территории города приходится на интервал глубин от 0 до 8,0 м. Расчеты просадки и осадки сооружений за счет толщи, залегающей на глубине более 8,0 м, были в пределах допустимых деформаций, поэтому высотные здания, возводимые с конца 70 – начала 80-х гг., проектировались на уплотненной лессовой толще мощностью 5,0–6,0 м, что соответствует глубине 8,0 м. Ниже оставался неуплотненный лессовый грунт. В условиях развернувшегося массового строительства в данный период это позволило существенно сократить стоимость сооружений и время ввода их в эксплуатацию.

Однако уже в начале 1980-х гг. появились публикации [2, 5], свидетельствующие об охватившем город широкомасштабном подтоплении. К этому времени относятся наиболее серьезные деформации высотных зданий. Сооружения, возведенные на лессовых толщах с сохранением просадки в нижних ее горизонтах, повсеместно начали деформироваться. Причина заключалась в том, что фактические просадки сооружений превысили прогнозируемые в 1,5–2,0 раза [6].

Специальные исследования лессовых грунтов, выполненные в лаборатории Академии наук республики, позволили определить основную причину деформаций. Были выполнены специальные комплексные исследования лессовых грунтов [7, 8]. Компрессионные испытания проводились в компрессионных приборах системы Н.Н. Маслова при капиллярном водонасыщении (по ГОСТ 23161–78) в условиях непрерывной фильтрации

воды через образец на протяжении 30–40 суток. Это позволило выделить провальную просадку, замедленную просадку и послепросадочное уплотнение образцов лессового грунта. Некоторые данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели относительной деформации некоторых образцов лессовых пород
в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды для г. Кишинева

Table 1

The relative deformation of some samples of loess rocks
in the compression device for soaking and filtering water for Chisinau

Номер образца	Провальная просадка	Замедленная просадка	Послепросадочная деформация	Общая относительная деформация
178	0,014	0,016	0,015	0,045
314	0,042	0,005	0,037	0,084
315	0,020	0,002	0,016	0,038
316	0,017	0,008	0,021	0,046
274	0,010	0	0,002	0,012
226	0,022	0,004	0,034	0,060
227	0,015	0,018	0,011	0,044

Причина деформации сооружений заключалась в том, что лессовые замедленно-просадочные грунты характеризуются большой величиной замедленной просадки и послепросадочного уплотнения, которые в сумме превышают провальную просадку (выявленную по ГОСТ 23161–78) в 1,5–2,0 раза. Это явилось причиной неверной оценки возможной просадки, не уплотненной на глубине более 8,0 м толщи, завышения величины начального просадочного давления грунта и, следовательно, привело к занижению расчетной величины просадки и осадки сооружения, что стало причиной их деформаций.

Рекомендации сотрудников Академии наук позволили пересмотреть и дополнить мероприятия по борьбе с просадочностью лессовых оснований. В первую очередь это относится к необходимости устранения просадочности на всю просадочную толщу (для II типа грунтовых условий). Учитывая мощность просадочной толщи на территории города (в основном до 12,0 м) и активно развивающееся подтопление при возведении сооружений на просадочных толщах II типа, с конца 1980 – начала 1990-х гг. стали широко применяться уплотнение просадочных пород грунтовыми сваями на всю мощность и железобетонные буронабивные сваи до кровли непросадочных грунтов. Это позволило в комплексе с водозащитными и конструктивными мероприятиями обеспечить безаварийную эксплуатацию зданий. На лессовых толщах I типа по просадочности в качестве основного метода подготовки лессовых оснований используют водонепроницаемое уплотнение экрана из лессовых грунтов мощностью 2,0–4,0 м, а также проводят водозащитные и конструктивные мероприятия.

Выполнение мероприятий по подготовке лессовых оснований в таком объеме исключает возможность их деформаций, особенно в условиях активного обводнения грунтов при подтоплении. Основные полученные результаты могут найти применение и в других регионах, где распространены аналогичные грунты (Волгоградская, Ростовская и другие области РФ).

Изучение деформационного поведения лессовых пород осуществлялось на компрессионных приборах системы Н.Н. Маслова, позволяющих замерять просадочные деформации при капиллярном водонасыщении и при фильтрации воды через образец грунта. Использовалась водопроводная вода. Компрессионные испытания выполнялись методом

«одной кривой» с замачиванием при нагрузке 0,15 МПа. После условной стабилизации (0,001 мм за 1 сут) начиналась фильтрация воды в течение 90 сут с ежесуточной регистрацией деформации. Такая методика компрессионных испытаний, несмотря на общеизвестные недостатки, позволяет оценить не только полную деформацию образца при замачивании, но и дифференцировать ее на собственно просадку и послепросадочное уплотнение. Она широко использовалась в практических исследованиях на Северном Кавказе, Украине, в Ростовской области, Молдавии, Средней Азии [1, 9–12].

Изменение механического состава заключается в следующем. В целом содержание дисперсных и мелких фракций, по результатам микроагрегатного анализа, не изменилось. Наибольшие изменения отмечены для фракции крупнее 0,1 мм. При фильтрации воды эти агрегаты распадаются, увеличивая содержание более мелких фракций, что способствует уменьшению размера межагрегатных пор и снижает общую пористость. Агрегированность дисперсной фракции практически не меняется: $K_{\text{агр}} = 2,6–11,4$. Вследствие длительной фильтрации и вымывания легкорастворимых солей в 1,5–3,0 раза уменьшилось содержание Na^+ , существенно увеличилось содержание Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} . Практически не изменилось содержание HCO_3^- . В результате общая минерализация либо уменьшается на 20–30 %, либо не меняется вообще, а в отдельных случаях увеличивается в 1,7–1,8 раза. До фильтрации тип засоления пород определялся как $\text{Ca}^{+2}\text{--Mg}^{+2}$, $\text{SO}_4^{-2}\text{--HCO}_3^-$, после – $\text{HCO}_3^- \text{--Mg}^{+2}\text{--Ca}^{+2}$.

Испытания лессовых пород в условиях замачивания и фильтрации в течение 90 сут показали, что длительное взаимодействие с водой ведет к полной их деградации. Уменьшается содержание крупных фракций (более 0,1 мм), за счет них повышается содержание более мелких фракций при практически не изменяющемся содержании дисперсной фракции. Легкорастворимые соли вымываются, одновременно слабо- и среднерастворимые соединения преобразуются в сильнорастворимые. Повышается содержание гидрокарбонатов и гипса, грунт приобретает содово-кальциевое или содово-магниевое засоление, становится более плотным и прочным (как отмечал Е.Н. Сквалецкий [12], для пород Таджикистана преобразуется в озерный мергель). При этом изменяются почти все свойства лесса: W увеличивается на 0,05–0,12, W_p не изменяется или повышается на 0,01–0,02, W_L повышается на 0,01–0,04, что обусловлено изменениями общего содержания карбонатов и др. В результате повышается J_p на 0,01–0,03, уменьшается пористость, пластическая прочность падает в 1,5–6,0 раз.

Послепросадочное уплотнение, связанное с длительной фильтрацией воды через лессовую породу, обусловлено разрушением водостойких структурно-коллоидных связей между ее частицами и проявляется в виде деформации ползучести скелета. Просадочный и послепросадочный процессы обычно сочетаются, и деформация носит комплексный характер. Из-за трудности их разграничения на практике часто говорят об общей деформируемости лессовой толщи, условно выделяя наиболее активно протекающую стадию процесса (просадку) и плавную, постоянно затухающую (послепросадочную стадию). Вопросы количественной оценки обеих составляющих имеют большое практическое значение. Деформационное поведение отдельных образцов лессовых пород в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды показано на рис. 1. В процессе опыта фиксировались следующие величины относительной деформации:

- ϵ_{sl}^2 – относительная просадка через 2 сут после замачивания (по ГОСТ 23161–78);
- ϵ_{sl}^4 – то же через 4 сут после замачивания (по А.К. Ларионову, это время завершения провальной просадки);

- ε_{sl}^k – то же после завершения консолидации образца при замачивании;
- ε_{sl}^Φ – полная деформация образца после завершения фильтрации воды.

Рис. 1. Кривые консолидации лессовых пород в компрессионном приборе при замачивании (—) и фильтрации воды (- -); цифры – лабораторный номер образца
Fig. 1. The curves of consolidation of loess rocks in the compression device when soaking (—) and water filtration (- -); numbers is laboratory sample number

Рассчитаны следующие составные части общей деформации: ε_{sl}^4 – провальная просадка (по А.К. Ларионову); $\varepsilon_{sl}^k - \varepsilon_{sl}^4$ – замедленная просадочность; $\varepsilon_{sl}^\Phi - \varepsilon_{sl}^k$ – послепросадочное уплотнение.

Для прогноза деформации лессовых пород при замачивании и длительной фильтрации использован коэффициент послепросадочного уплотнения, ранее уже применявшийся Е.Н. Сквалецким и другими исследователями для лессовых пород Северного Кавказа, Ростовской области и Таджикистана [12], определяемый соотношением $K_{пу} = \varepsilon_{sl}^2 / \varepsilon_{sl}^\Phi$.

Изучалась зависимость коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$ от состава и свойств грунта. Результаты, приведенные в табл. 2 и на рис. 2, свидетельствуют о том, что величина послепросадочного уплотнения напрямую зависит от большинства показателей и в первую очередь от содержания в лессовом грунте гипса, агрегированности дисперсной фракции и плотности сухого грунта. Однако коэффициент корреляции этих показателей с коэффициентом послепросадочного уплотнения недостаточно высокий и не превышает значения 0,85. Это не позволяет осуществлять прогноз по выявленным корреляционным зависимостям.

Для качественного прогноза можно использовать метод многомерного корреляционного анализа или какой-либо другой, позволяющий одновременно учитывать несколько прогнозных факторов. Принимая во внимание, что объем выполненных исследований

Таблица 2

Регрессионные зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$
от показателей состава и свойств лессовых пород

Table 2

The regression dependence of the coefficient seal after drawdown K_{pu}
from the performance of the composition and properties of loess rocks

Показатели состава и свойств	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции r
Содержание гипса Γ , %	$K_{пу} = 25,243\Gamma + 1,103$	0,85
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	$K_{пу} = 3,5495\rho_d - 3,3509$	0,81
Коэффициент агрегированности дисперсной фракции $K_{агр}$	$K_{пу} = 0,0009 K_{агр}^2 - 0,0406 K_{агр} + 1,6846$	0,73
Содержание монтмориллонита в дисперсной фракции M , %	$K_{пу} = 0,0218M + 1,1909$	0,71
Величина относительной просадочности ε_{sl} (по ГОСТ 23161–78)	$K_{пу} = 294,94 \varepsilon_{sl}^2 - 30,047 \varepsilon_{sl} + 1,8521$	0,55
Железо трехвалентное $Ж$, г/100 г породы	$K_{пу} = 1,1173Ж + 1,4762$	0,54
Предел текучести W_L	$K_{пу} = 6,4276W_L - 0,1589$	0,50
Содержание обменного кальция K , мг-экв/100 г породы	$K_{пу} = 0,1331K + 1,7814$	0,40
Общее содержание дисперсной фракции D , %	$K_{пу} = 2,6407 - 0,0134D$	0,33

Рис. 2. Графики зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{\text{пy}}$ от плотности сухого грунта ρ_d , содержания гипса Γ , коэффициента агрегированности дисперсной фракции $K_{\text{агр}}$

Fig. 2. Graphs of the dependence of the coefficient posleprodazhnogo seal after drawdown $K_{\text{пу}}$ on the density of the dry soil, on the content of gypsum Γ , on coefficient of aggregation of the disperse fraction $K_{\text{агр}}$

достаточно большой и составляет 100 образцов, для прогноза величины послепросадочного уплотнения можно использовать метод вероятностных аналогий. Предварительно все образцы по величине коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{\text{пy}}$ были разделены на 5 групп: 1,0–1,3; 1,3–1,7; 1,7–2,2; 2,2–3,0; более 3,0. В качестве прогнозных факторов были предложены шесть различных показателей, достаточно полно отражающих состав, состояние и свойства лессовых пород. Для определения коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{\text{пy}}$ по району-аналогу были рассчитаны эмпирические оценки вероятностей прогнозных факторов и квазиаприорная вероятность (табл. 3). Расчет коэффициента $K_{\text{пy}}$ может осуществляться с использованием теоремы Байеса, формулирующей следующим

Таблица 3

Эмпирические оценки вероятностей прогнозных факторов P_{B_i/A_j}
при расчете коэффициента послепросадочного уплотнения

Table 3

Empirical estimates of the probabilities of the forecast factors P_{B_i/A_j}
in the calculation of the coefficient seal after drawdown

Прогнозные факторы	Коэффициент послепросадочного уплотнения $K_{пв}$				
	1,0–1,3	1,3–1,7	1,7–2,2	2,2–3,0	Более 3,0
Содержание дисперсной фракции $D, \%$: • менее 30 • 30–50 • более 50	0,04 – –	0,04 0,20 0,04	0,04 0,26 0,08	0,08 0,14 0,04	– 0,04 –
Коэффициент агрегированности дисперсной фракции $K_{агр}$: • менее 20 • более 20	0,08 0,04	0,16 0,04	0,24 0,12	0,28 –	0,04 –
Предел текучести W_L : • менее 0,28 • 0,28–0,32 • более 0,32	– 0,08 –	0,16 0,12 0,04	0,04 0,20 0,08	0,08 0,12 –	– – –
Плотность сухого грунта $\rho_d, \text{г/см}^3$: • менее 1,40 • 1,40–1,60 • более 1,60	– 0,07 0,03	– 0,10 0,13	0,03 0,28 0,03	– 0,10 0,17	– 0,03 0,03
Величина относительной просадочности ε_{sl} (по ГОСТ 23161–78): • менее 0,01 • 0,01–0,02 • более 0,02	– 0,10 0,02	0,02 0,12 0,10	0,12 0,14 0,05	0,17 0,05 0,02	– 0,07 0,02
Содержание гипса $\Gamma, \%$: • менее 0,02 • более 0,02	– 0,11	– 0,22 0,17	– 0,11 0,22	– – 0,17	– – –
Квазиаприорная вероятность P_{A_j}	0,08	0,21	0,32	0,26	0,13

образом. Пусть $A_1, A_2, \dots, A_j$ – попарно несовместимые события, хотя бы одно из которых обязательно наступит, B_i – некоторые события. Тогда вероятность реализации событий A_j , при условии что наступит событие B_i , выражается формулой

$$P_{A_j/B_j} = \frac{P_{A_j} \prod_{i=1}^n P_{B_i/A_j}}{\sum_{j=1}^m P_{A_j} \cdot \prod_{i=1}^n P_{B_i/A_j}},$$

где P_{A_j/B_j} – условная вероятность события A_j при фактическом наступлении события B_i ; P_{B_i/A_j} – вероятность реализации события B_i при данном A_j ; P_{A_j} – априорная вероятность наступления события A_j .

Рис. 3. Карта типологического инженерно-геологического районирования лессовых территорий Молдовы: А-I-2 – индекс инженерно-геологического района; — граница инженерно-геологического района; районирование лессовых территорий по величине послепросадочного уплотнения, значения коэффициента послепросадочного уплотнения лессовых пород толщи Q_3 и Q_{3-4} : – 1,7–2,2; – 2,2–3,2

Fig. 3. The map of typological engineering-geological zoning of the loess territories of Moldova: А-I-2 – index of engineering-geological district; — border engineering-geological district; the zoning of the loess territories largest seal after drawdown, the values of the coefficient aftersubsidence seal of loess rocks strata Q_3 and Q_{3-4} ; – 1,7–2,2; – 2,2–3,2

Указанная методика применена при прогнозе послепросадочного уплотнения лессовой толщи Q_3 и Q_{3-4} на территории междуречья Прут – Днестр (рис. 3).

Библиографический список

1. Олянский Ю.И. Лессовые грунты юго-западного Причерноморья. – Кишинев: Штинича, 1992. – 129 с.
2. Гончаров В.С., Фишер Н.С., Костик Г.Е. Опыт строительства на просадочных грунтах в Молдавской ССР // Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах. – Кишинев, 1981. – С. 1–6.
3. Бернат Р.Ю. Совершенствование технологии устройства оснований зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах // Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах. – Кишинев, 1981. – С. 32–34.
4. Гончаров В.С., Олянский Ю.И. Анализ причин деформации зданий и сооружений, связанных с обводнением просадочных грунтов на территории Молдавии // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. – М.: Стройиздат, 1987. – Т. II. – С. 164–165.
5. Гончаров В.С., Олянский Ю.И. Прогноз подтопления лессовых территорий вероятностно-статистическим методом на примере г. Кишинева // Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Новосибирск, 1984. – С. 163–164.
6. Мандельблат Ю.А. Устранение кренов и ликвидация просадочности оснований крупнопанельных домов по ул. Алешина в г. Кишиневе методом регулируемого замачивания // Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах. – Кишинев, 1981. – С. 21–23.
7. Олянский Ю.И., Богдевич О.П., Вовк В.М. О дополнительном уплотнении некоторых типов лессовых пород Молдавии при фильтрации воды // Известия АН МССР. Физика и техника. – 1991. – № 3 (6). – С. 118–121.
8. Олянский Ю.И. Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Естественные науки. – 2005. – Вып. 4 (14). – С. 81–85.
9. Запороженко Э.В., Трусова С.В. О степени доуплотнения лессовых пород при длительной фильтрации через них воды // Тез. докл. Всесоюз. конф. – Ростов н/Д, 1980. – С. 109–113.
10. Окнина Н.А., Реутова К.С., Иножарская Н.Г. Изменение инженерно-геологических свойств лессовых пород Дунай-Днестровского массива орошения под влиянием длительной фильтрации // Комплексная инженерно-геологическая оценка глинистых лессовых пород: тр. ПНИИИСа. – М.: Стройиздат, 1971. – Т. XII. – С. 150–164.
11. Опыт прогноза послепросадочного уплотнения по лабораторным испытаниям / Ю.И. Олянский, А.Н. Богомолов, О.Н. Осипова, Т.М. Тихонова, О.В. Киселева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 г., Пермь, 26–28 апреля 2012 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – Т. 4. – С. 80–86.
12. Сквалецкий Е.Н. К количественному учету послепросадочного уплотнения лессовых грунтов // Инженерная геология. – 1983. – № 2. – С. 48–58.

References

1. Olianskii Iu.I. Lessovye grunty iugo-zapadnogo Prichernomor'ia [The loess soils of South-Western black sea]. Kishinev: Shtinitsa, 1992. 129 p.
2. Goncharov V.S., Fisher N.S., Kostik G.E. Opyt stroitel'stva na prosadochnykh gruntakh v Moldavskoi Sovetskoï Sotsialisticheskoi Respubliki [The experience of building on ground subsidence in the Moldavian SSR. prepare the bases of buildings and structures built on ground

subsidence]. *Podgotovka osnovanii zdaniy i sooruzheniy, stroiashchikhsia na prosadochnykh gruntakh*. Kishinev, 1981, pp. 1-6.

3. Bernat R.Iu. Sovershenstvovanie tekhnologii ustroystva osnovanii zdaniy i sooruzheniy, vozvodimykh na prosadochnykh gruntakh [Improving the technology of the device of the bases of buildings and structures erected on ground subsidence]. *Podgotovka osnovanii zdaniy i sooruzheniy, stroiashchikhsia na prosadochnykh gruntakh*. Kishinev, 1981, pp. 32-34.

4. Goncharov V.S., Olianskii Iu.I. Analiz prichin deformatsii zdaniy i sooruzheniy, svyazannykh s obvodneniem prosadochnykh gruntov na territorii Moldavii [Analysis of the causes deformation of buildings and structures-tions associated with flooding subsidence of soils on the territory of Moldova]. *Uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v fundamentostroenii*, 1987, vol. II, pp. 164-165.

5. Goncharov V.S., Olianskii Iu.I. Prognoz podtopleniia lessovykh territorii veroiatnostno-statisticheskim metodom na primere goroda Kishineva [Forecast flooding of forested areas likely statistical method for example Chisinau]. *Tezisy dokladov Vsesoiuznogo soveshchaniia*. Novosibirsk, 1984, pp. 163-164.

6. Mandel'blat Iu.A. Ustranenie krenov i likvidatsiia prosadochnosti osnovanii krupnopanel'nykh domov po ulitse Aleshina v gorode Kishineve metodom reguliruemogo zamachivaniia [Fixing rolls and liquidation of the subsidence of the Foundation of large-panel houses on the street Aleshin, Chisinau method of adjustable-ICDO soaking]. Kishinev, 1981, pp. 21-23.

7. Olianskii Iu.I., Bogdevich O.P., Vovk V.M. O dopolnitel'nom uplotnenii nekotorykh tipov lessovykh porod Moldavii pri fil'tratsii vody [Additional seal certain types of loess rocks Moldova in water filtration]. *Izvestiia Akademii nauk Moldavskoi Sovetskoi Sotsialisticheskoi Respubliki. Fizika i tekhnika*, 1991, no. 3 (6), pp. 118-121.

8. Olianskii Iu.I. Opyt otsenki posleprosadochnogo uplotneniia lessovykh porod po laboratornym ispytaniyam [Experience evaluation posleprodazhnogo seal loess in the genus laboratory test]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Estestvennye nauki*, 2005, iss. 4 (14), pp. 81-85.

9. Zaporozhchenko E.V., Trusova S.T. O stepeni doplotneniia lessovykh porod pri dlitel'noi fil'tratsii cherez nikh vody [The degree of dopolneniya loess rocks with long-term filtering water through them]. *Tezisy dokladov na Vsesoiuznoi konferentsii*. Rostov-na-Donu, 1980, pp. 109-113.

10. Oknina N.A., Reutova K.S., Inozharskaia N.G. Izmenenie inzhenerno-geologicheskikh svoystv lessovykh porod Dunai-Dnestrovskogo massiva orosheniia pod vliianiem dlitel'noi fil'tratsii [Change engineering-geological properties of the loess rocks Danube-Dniester array irrigation under the influence of long-term filter]. *Trudy Proizvodstvennogo i nauchno-issledovatel'skogo instituta po inzhenernym izyskaniyam v stroitel'stve "Kompleksnaia inzhenerno-geologicheskaiia otsenka glinistykh lessovykh porod"*. Moscow: Strizdat, 1971, vol. XII, pp. 150-164.

11. Olianskii Iu.I., Bogomolov A.N., Osipov D.C., Tikhonova T.M., Kiseleva O.V. Opyt prognoza posleprosadochnogo uplotneniia po laboratornym ispytaniyam [Averyt forecast posleprodazhnogo seal on laboratory test-pits]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 200-i godovshchine pobedy Rossii v Otechestvennoi voine 1982 goda "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom"*, Perm, 26-28 apreliia 2012 goda. Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2012, vol. 4, pp. 80-86.

12. Skvaletskii E.N. K kolichestvennomu uchetu posleprosadochnogo uplotneniia lessovykh gruntov [To quantifiable posleprodazhnogo seal loess soils]. *Inzhenernaia geologiya*, 1983, no. 2. pp. 48-58.