

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИЙ  
НА СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ**

**Олянский Юрий Иванович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, e-mail: olyansk@list.ru

**Кузнецова Светлана Ивановна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, e-mail: kuznecovasv2015@mail.ru

**Щекочихина Евгения Викторовна**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, e-mail: evschek@yandex.ru

**Серебряков Олег Иванович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Интенсивное промышленно-хозяйственное освоение территорий, сложенных структурно-неустойчивыми породами, неизбежно сопровождается повышением влажности пород, вследствие чего нарушается существующее равновесие между приходными и расходными статьями водного баланса подземных вод, начинается их подъём. Это влечёт за собой возникновение таких неблагоприятных геологических явлений, как подтопление, просадка, набухание, активизация древних оползней и образование новых. Здания и сооружения претерпевают деформации, происходит нарушение сплошности строительных конструкций, подвалы и подполья заполняются грунтовыми водами. Условия жизнеобитания населения существенно ухудшаются вследствие возникновения ряда санитарно-гигиенических и медико-биологических факторов, негативно воздействующих на здоровье человека. Проанализированы особенности изменения геологической среды представленной лессовыми и глинистыми породами в двух регионах: Республике Молдова и Волгоградской области, характеризующихся близкими геологическими условиями, интенсивно осваиваемыми в конце прошлого и начале нынешнего столетия. Изучены изменения состава и свойств пород в условиях длительного воздействия воды. Выделены три типа территорий по интенсивности проявления факторов для проживающего населения, дано районирование территории по последствиям проявления изменений свойств пород.

**Ключевые слова:** просадочные породы, набухающие породы, подтопление, диффузионное выщелачивание, послепросадочное уплотнение

**GEOECOLOGICAL ASPECTS  
OF CHANGE THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT  
OF THE TERRITORIES ON STRUCTURALLY UNSTABLE ROCKS**

**Olyansky Yuri I.**, D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Volgograd State Technical University, 1 Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, e-mail: olyansk@list.ru.

**Kuznetsova Svetlana I.**, D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Volgograd State Technical University, 1 Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, e-mail: kuznecovasv2015@mail.ru

*Shchekochikhina Evgenia V.*, Ph. D. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 1 Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, e-mail: evschek@yandex.ru

*Serebryakov Oleg I.*, D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Intensive industrial and economic development of territories composed of structurally unstable rocks is inevitably accompanied by an increase in moisture content of rocks, as a result of which the existing balance between incoming and outgoing items of the water balance of groundwater is disturbed, their rise begins. This entails the occurrence of such adverse geological phenomena as flooding, subsidence, swelling, activation of ancient landslides and the formation of new ones. Buildings and structures undergo deformation, there is a violation of the continuity of building structures, basements and underground are filled with groundwater. Living conditions of the population deteriorate significantly due to the emergence of a number of sanitary-hygienic and biomedical factors that have a negative impact on human health. The features of changes in the geological environment represented by loess and clay rocks in two regions: the Republic of Moldova and the Volgograd region, characterized by similar geological conditions, intensively developed at the end of the last and the beginning of this century, are analyzed. Changes in the composition and properties of rocks under prolonged exposure to water were studied. 3 types of territories on intensity of manifestation of factors for the living population are allocated and zoning of the territory on consequences of manifestation of changes of properties of breeds is given.

**Keywords:** Subsidence rocks, swelling rocks, flooding, diffusion leaching, post-subsidence compaction

Проблеме подтопления территорий крупных городов юга России и сопредельных стран СНГ посвящена обширная библиография [6]. На территории Молдовы изучение проблемы связано с исследованиями Ю. И. Олянского и В. С. Гончарова [2; 7]. В Волгоградской области вопросам подтопления посвящены работы В. Н. Синякова, С. В. Кузнецовой [12].

В Молдове подтоплением охвачены все большие города: Кишинёв, Тирасполь, Бендеры. Однако наиболее интенсивно подтопление протекает в самом крупном городе – Кишинёве (рис. 1, 2).

Изучение гидрогеологии на территории г. Кишинёва позволило Ю. И. Олянскому составить ряд прогнозных карт, которые были использованы Институтом геофизики и геологии АН Молдовы при выполнении работ по сейсмическому микрорайонированию.

Аналізу гидрогеологии городов Волгоградской области посвящена работа В. Н. Синякова и С. В. Кузнецовой [12]. Было отмечено, что подъём уровня подземных вод повсеместно сопровождается просадкой и набуханием пород оснований. В последние годы подтопление активно развивается и в других городах области: Михайловке, Фролово, Урюпинске, Палласовке и др. Всего подтоплением охвачено 139 сельских населенных пунктов и все районные центры. Наиболее активно подтопление происходит в г. Волжском, построенном около 50 лет назад. За этот период уровень воды повысился с глубины 27 м до 3,5–5,0 м, скорость подъёма составила 0,3–0,5 м в год. В центре Камышина сформировался техногенный водоносный горизонт с глубиной залегания уровня от 0,8 до 2,5 м, общая площадь подтопления составила 80 га.

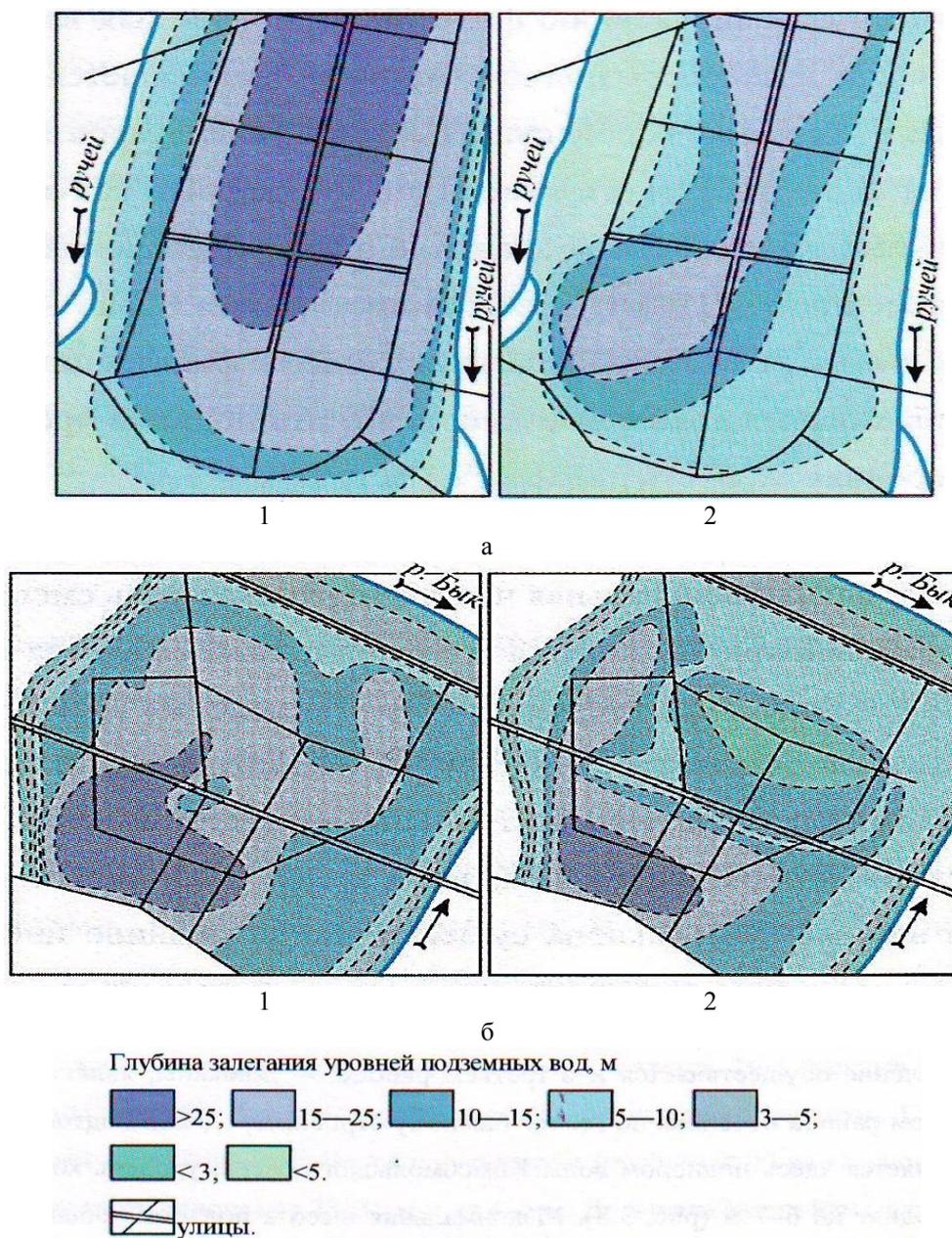
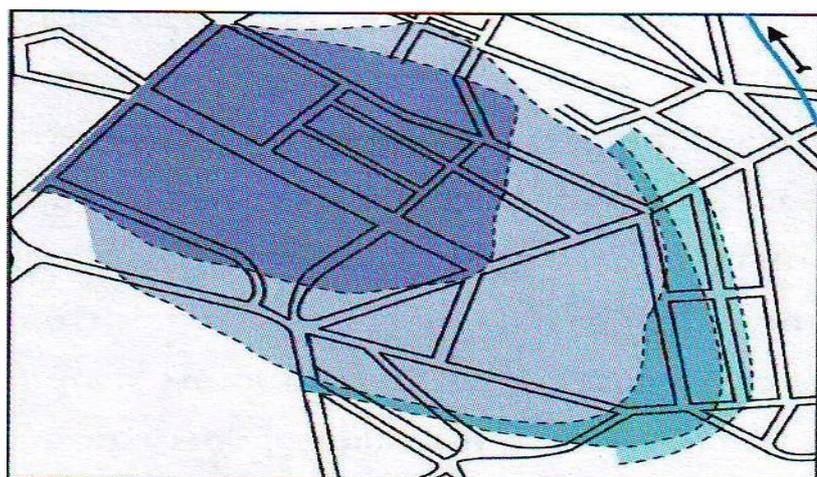
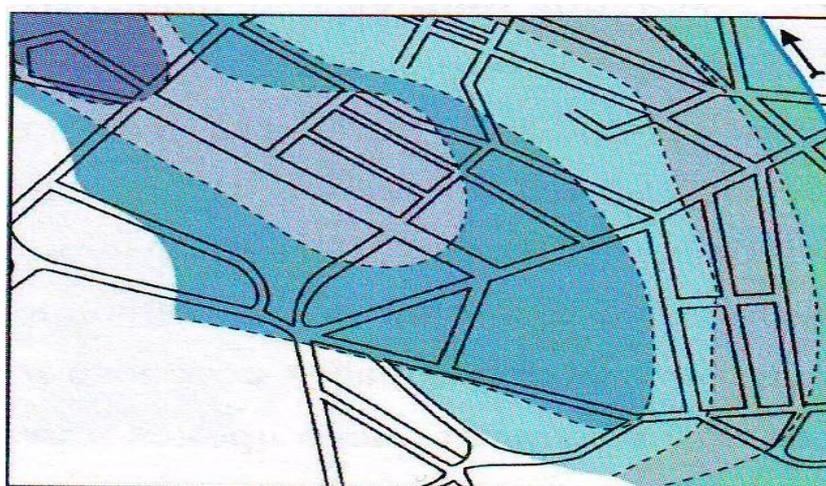


Рис. 1. Схематическая карта глубины залегания уровней подземных вод г. Кишинёва на различный период (сост. Ю. И. Олянский): а – микрорайон Рышкановка; б – микрорайон Ботаника; 1 – глубина залегания уровней до застройки; 2 – то же после застройки



а



б

Глубина залегания уровней подземных вод, м

>25; 15—25; 10—15;

5—10; 3—5; < 3.

улицы.

Рис. 2. Схематические карты глубины залегания уровней подземных вод г. Кишинева на различный период (сост. Ю. И. Олянский), микрорайон Буюкань: а – глубина залегания подземных вод до застройки; б – после застройки

Строительство на просадочных и набухающих породах Молдовы и Волгоградской области в целом осуществляется успешно [1; 4; 5; 8]. Однако в ряде случаев наблюдаются отдельные, иногда значительные деформации, связанные с просадкой и набуханием пород оснований. Просадочные деформации зданий и сооружений происходят во всех изучаемых городах: Кишинёве, Тирасполе, Бендерах, Волгограде, Волжском, Камышине и др.

Ю. И. Олянский и В. С. Гончаров [7] установили, что главными являются: *некачественное производство работ по подготовке лёссовых пород и недостаточный комплекс мероприятий по борьбе с просадочностью при строительстве*. Деформации, обусловленные первой причиной, носят единичный характер, но они наиболее значительные. Так, деформация девятиэтажного семисекционного дома по ул. Богдан Водэ в г. Кишинёве вследствие аварийных утечек из затопленных подвалов достигла 180–200 мм. Некоторые секции на уровне параметров сомкнулись. Скорость осадки пород достигла 4 мм за 1 неделю.

В Волгоградской области В. Н. Синяков и С. В. Кузнецова отмечают, что в 1990-х гг. интенсивность деформаций пород нарастала. Во всех случаях просадочные деформации зданий и сооружений вследствие подтопления меньше деформаций, вызванных аварийным замачиванием. Деформации зданий, обусловленные набуханием глинистых пород, широко развиты на территории г. Волгограда и области в целом и связаны с хвалынскими, майкопскими, мечеткинскими, юрскими и др. глинами. Только в Волгограде в результате набухания хвалынских глин в 1970–1980-х гг. были серьёзно деформированы 82 здания и сооружения, в Камышине – 18, Волжском – 10. В Волгограде с набуханием глин майкопской серии связаны деформации 63 зданий и сооружений, мечеткинских глин – 12, скифских – 4, юрских – 5 [9].

Изменение состава и свойств сарматских глин при длительном взаимодействии с водой вследствие подъёма уровня подземных вод как в Молдавии, так и Волгоградской области происходят достаточно часто. При увлажнении глин и длительном их взаимодействии с водой изменяются почти все свойства, существенно повышается сжимаемость, уменьшается прочность. Следует отметить, что в настоящее время отсутствует единая общепринятая методика прогнозирования показателей свойств глин при их увлажнении и длительном взаимодействии с водой, сопровождаемым диффузионным выщелачиванием.

Характер изменения состава и свойств глин был изучен на примере сарматских глин из Северного Причерноморья, распространённых в междуречье Прута и Днестра на территории Республики Молдова [3; 10]. Изучались глины, сформировавшиеся в западной части Сарматского моря в условиях пониженной солёности замкнутого морского бассейна, содержащие менее 0,3 % воднорастворимых солей, что позволяет относить их к незасолённым грунтам (ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация).

В таблице 1 даны результаты исследований сарматских глин, содержащих включения мелкодисперсного пирита и без таких включений, что позволяет сделать следующие выводы:

1. Направленность химических процессов, сопровождающих выщелачивание незасолённых сарматских глин, в значительной степени зависит от наличия или отсутствия в их составе пирита, окисление которого обуславливает глубокие химические преобразования в ионно-солевом комплексе глин, следствием чего является увеличение содержания в породе гипса, карбонатов, аморфного кремнезема других химических соединений, способствующих вторичной агрегации грунтовых частиц.

2. У глин, не имеющих в своём составе пирита, при выщелачивании происходит понижение содержания воднорастворимых солей в среднем на 20 %: уменьшение содержания карбонатов на 10–20 %, гипса – в 1,5–2 раза. Это способствует разрушению структурных связей между грунтовыми частицами, увеличению дисперсности (содержание глинистой фракции повышается в среднем в 1,5 раза), порода разуплотняется до  $\rho_d = 1,20\text{--}1,30 \text{ г/см}^3$ ,

её влажность увеличивается в 1,5–2,0 раза; прочность существенно уменьшается: по углу внутреннего трения на 1–2°, по удельному сцеплению – в 4–5 раз.

Таблица 1

**Изменение показателей состава и свойств сарматских глин  
 при диффузионном выщелачивании**

Показатели состава и свойств	Образцы, не содержащие пирит, N = 20		Образцы, содержащие пирит, N = 10	
	до выщелачивания	после выщелачивания	до выщелачивания	после выщелачивания
Микроагрегатный состав, %: песок (> 0,05 мм); пыль (0,05–0,005 мм); глина (< 0,005 мм)	12,1 57,2 30,8	10,2 43,4 46,4	7,6 56,4 36,1	8,6 56,2 35,2
Коэффициент агрегированности дисперсной фракции	1,97	1,32	1,93	1,95
Минерализация (по сухому остатку), г/100 г сух. пор.	0,17	0,13	0,19	0,11
Катионы, г/100г сух. пор. K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup>	0,04 0,015 0,009	0,009 0,014 0,008	0,029 0,016 0,008	0,014 0,015 0,006
Анионы, г/100г сух. пор. Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> H <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,013 0,076 0,054	0,009 0,026 0,052	0,01 0,09 0,056	0,006 0,028 0,065
Содержание гипса, %	0,15	0,11	0,13	0,41
Карбонатность, %	9,54	8,47	14,11	15,60
Аморфный кремнезём, %	0,68	0,61	0,49	0,68
Содержание обменных катионов, мг-экв./100 г сух. пор. K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup>	0,34 1,29 8,25 8,64	0,41 0,38 10,41 8,14	0,46 1,31 9,22 7,75	0,5 0,75 11,23 6,99
Природная влажность, w	0,23	0,44	0,31	0,52
Влажность предела текучести, w <sub>L</sub>	0,49	0,52	0,58	0,58
Влажность предела раскатывания, w <sub>p</sub>	0,24	0,25	0,28	0,30
Число пластичности, J <sub>p</sub>	0,25	0,27	0,29	0,29
Коэффициент пористости, e	0,65	1,19	0,89	1,43
Плотность, ρ, г/см <sup>3</sup>	2,04	1,8	1,94	1,68
Плотность сухого грунта, ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	1,67	1,26	1,5	1,11
Показатель текучести, J <sub>L</sub>	0,1	0,73	0,18	0,83
Угол внутреннего трения, град.	16,6	15,0	13,0	12,7
Удельное сцепление, МПа	1,32	0,39	1,08	0,47

3. У глин, имеющих в своем составе пирит, при выщелачивании содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем на 40 %; содержание

карбонатов увеличивается на 10–30 %, гипса – в несколько раз; дисперсность глин практически не изменяется, т. к. вместе с разрушением уже существующих структурных связей между частицами происходит образование других за счёт появления новых химических соединений: карбонатов, гипса, аморфного кремнезёма, окислов железа и др. Глина значительно разуплотняется до  $\rho_d = 1,05\text{--}1,25 \text{ г/см}^3$ , увлажняется в 1,2–1,5 раза, прочность её изменяется в меньшей степени, чем у глин, не содержащих пирит: по углу внутреннего трения – незначительно, по удельному сцеплению – в 2–3 раза.

Выполненные исследования позволили Ю. И. Олянскому обосновать и разработать типизацию сарматских глин по устойчивости к обводнению, положенную в основу геоэкологической оценки территорий, сложенных набухающими сарматскими глинами. Выделено четыре типа глин [11].

*I тип.* Невыветрелые глины преимущественно хлоридно-натриевого и хлоридно-кальциевого типов засоления с содержанием дисперсной фракции 60–93 %, (среднее – 71,68 %); невысокой степени агрегированности с пластифицировано-коагуляционным типом структурных связей  $K_{арп.} = 1,2\text{--}1,6$ , (среднее – 1,47) и коэффициентом структурной прочности, равным 1,04; содержащие в обменном комплексе большое количество ионов  $N^+$  = 2,5–6,5 мг-экв./100 г породы (среднее – 3,34 мг-экв./100 г). Сюда относятся в основном сильно набухающие верхнесарматские морские глины с  $\varepsilon_{sw} = 0,15\text{--}0,35$  (среднее – 0,25);  $P_{sw} = (3,0\text{--}7,0) \cdot 10^5 \text{ Па}$  (среднее –  $5,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

При длительном взаимодействии с водой общее содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем в два раза. Грунты сильно набухают. Дополнительное разуплотнение глин при диффузном выщелачивании достигает 10–15 %. Удельное сопротивление пенетрации уменьшается в 20–24 раза. Давление набухания таких глин при выщелачивании без возможности изменения объёма образца повышается в 1,5–3,0 раза. На склонах существует большая вероятность образования оползней. В южной Молдове, в долине р. Ялпуг, оползнями поражены значительные участки склонов, сложенных верхнесарматскими глинами указанного типа.

*II тип.* Невыветрелые и слабыветрелые глины преимущественно хлоридно-сульфатно-кальциевого типов засоления с содержанием дисперсной фракции 40–80 % (среднее 64,7 %); преобладанием пластифицировано-коагуляционного типа структурных связей  $K_{арп.} = 1,4\text{--}1,9$  (среднее – 1,67), коэффициентом структурной прочности, равным 1,10, и повышенным содержанием в обменном комплексе ионов  $N^+$  до 3,5 мг-экв./100 г породы (среднее – 1,77 мг-экв./100 г). К данному типу относятся преимущественно морские верхнесарматские глины, а также глины кагульской свиты озёрно-лагунного генезиса с  $\varepsilon_{sw} = 0,10\text{--}0,25$  (среднее – 0,15);  $P_{sw} = (2,0\text{--}4,0) \cdot 10^5 \text{ Па}$  (среднее –  $3,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ). При длительном взаимодействии с водой глины существенно разбухают, общее содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем в 1,3 раза. Дополнительное разуплотнение глин при диффузионном выщелачивании составляет 5–10 %. Удельное сопротивление пенетрации уменьшается в 14–18 раз. Давление набухания повышается в 1,3–1,5 раза. Глины неустойчивы на склонах при их крутизне более 6–7°.

*III тип.* Слабыветрелые и невыветрелые глины преимущественно сульфатно-натриевого и сульфатно-кальциевого типов засоления с содержанием дисперсной фракции 35–75 % (среднее – 62,7 %); с пластифицировано-коагуляционным и смешанным коагуляционно-цементационным типом

структурных связей  $K_{\text{арп}} = 1,5-4,3$  (среднее – 3,13) и коэффициентом структурной прочности 1,69 (среднее). В обменном комплексе преобладают ионы  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$  – 8,89 и 8,09 мг-экв./100 г породы соответственно. Среднее содержание обменного  $\text{Na}^+ = 1,68$  мг-экв./100 г породы. К данному типу относятся в основном средненабухающие морские глины среднего сармата и сармат-меотические балтские глины озёрно-лагунного генезиса с  $\varepsilon_{\text{sw}} = 0,10-0,13$  (среднее – 0,11);  $P_{\text{sw}} = (1,5-2,5) \cdot 10^5$  Па (среднее –  $2,1 \cdot 10^5$  Па). Дополнительное разуплотнение таких глин при диффузионном выщелачивании невелико и не превышает 3–5 %, содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем в 1,3 раза. Удельное сопротивление пенетрации уменьшается в 10–14 раз. Давление набухания увеличивается в 1,1–1,3 раза. Оползни на склонах образуются при достаточной их крутизне и широко распространены на Центрально-Молдавской возвышенности.

*IV тип.* Слабовыветрелые глины преимущественно сульфатно-кальциевого и сульфатно-магниевого типов засоления с содержанием дисперсной фракции 30–70 % (среднее – 58,59 %); сильно агрегированные со смешанным коагуляционно-цементационным и цементационным типами структурных связей  $K_{\text{арп}} = 2,0-25,0$  (среднее – 4,47), с коэффициентом структурной прочности более 2,0 и невысоким содержанием в обменном комплексе ионов  $\text{Na}^+ = 0,76$  мг-экв./100 г. Содержание обменного  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$  – 9,25 и 10,97 мг-экв./100 г породы (среднее). К данному типу относятся в основном ненабухающие и слабонабухающие морские среднесарматские глины мелководий и сармат-меотические балтские глины с  $\varepsilon_{\text{sw}} = 0,03-0,05$  (среднее – 0,04);  $P_{\text{sw}} = (0-0,4) \cdot 10^5$  Па (среднее –  $0,1 \cdot 10^5$  Па). При длительном взаимодействии с водой глины практически не набухают или слабо набухают, содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем в 1,2 раза. Дополнительное разуплотнение при диффузионном выщелачивании составляет 1–3 % за 90 суток и не заканчивается на протяжении всего времени выщелачивания (до 1 года). Удельное сопротивление пенетрации уменьшается в 4–8 раз, давление набухания не изменяется. Склоны, сложенные такими глинами, могут оползть только при достаточно больших значениях углов естественного откоса.

Основные особенности изменения состава, физико-механических свойств и просадочности лёссовых пород при длительной фильтрации приведены в таблице 2 и заключаются в следующем. Вследствие длительной фильтрации и выщелачивания легкорастворимых солей в породах происходит значительное уменьшение (в 1,5–3,0 раза) содержания ионов  $\text{Na}^+$ , существенно повысилось содержание ионов  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$ , что связано, очевидно, с растворением в агрессивной среде карбонатов кальция и магния и образованием сульфатов кальция и магния. Увеличилось в несколько раз содержание ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{-2}$ , что может найти своё объяснение в образовании среднерастворимых солей кальция и магния. Практически не изменилось содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$ . На смену выносимого количества данного иона образуются новые гидрокарбонатные соединения.

В результате вышеуказанных химических преобразований наблюдаются различные изменения в общей минерализации пород. Она уменьшается на 20–30 % или не изменяется вообще, а в отдельных случаях может повышаться в 1,7–1,8 раза. Если до взаимодействия с водой засоление (по Е. В. Аринушкиной) было преимущественно сульфатное и содовое (по анионам) и натриевое, кальциевое и магниевое (по катионам), то после

фильтрации воды оно изменилось, соответственно, на исключительно содовое и магниевое-кальциевое. Изменения концентрации водородных ионов pH практически не отмечено – незначительные колебания наблюдаются в обе стороны.

Таблица 2

**Изменение состава и свойств лёссовых пород при замачивании и фильтрации воды**

Показатели состава и свойств		Центрально-Молдавская возвышенность. Лёссовая толща $\text{dpQ}_{3-4}$		Южное Припутье. Лёссовая толща $\text{eoldQ}_3$	
		Природная влажность	После фильтрации воды	Природная влажность	После фильтрации воды
Микроагрегатный состав, %	песок > 0,05 мм	50,28	43,27	33,92	22,43
	пыль 0,05–0,005 мм	37,25	45,23	58,16	66,80
	глина < 0,005 мм	12,47	11,50	8,43	10,77
Коэффициент агрегированности глинистой фракции, $K_{\text{агр}}$		2,8	3,0	4,1	4,4
Минерализация, г/100 г пор		0,1616	0,0740	0,2751	0,0600
Карбонатность, %		6,30	7,46	6,75	7,22
Содержание гипса, %		0,150	0,270	0,073	0,420
Ёмкость поглощения, мг-экв./100 г пор		13,552	14,922	11,824	14,420
Влажность, $W$		0,13	0,23	0,14	0,24
Предел текучести, $W_L$		0,28	0,27	0,29	0,31
Предел раскатывания, $W_p$		0,16	0,16	0,18	0,19
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>		1,60	1,69	1,58	1,64
Пористость, $n$ , %		41,2	37,7	41,6	35,0
Удельное сопротивление пенетрации, $P_m \cdot 10^5$ Па		5,72	0,18	5,86	0,20
Коэффициент послепросадочного уплотнения, $K_{\text{пл}}$		2,47		1,74	

Таким образом, длительная фильтрация воды через лёссовую породу приводит к процессам химических преобразований. Наряду с вымыванием легкорастворимых соединений, происходит разрушение гипса и карбонатов кальция и магния с образованием новых легко- и среднерастворимых солей. Содержание карбонатов кальция постепенно накапливается, при этом образуется аморфное карбонатное вещество с примесью глинистого материала, заполняющего крупные поры (0,1–1,0 мм). В результате выпадения кальция лёссовые породы приобретают большую плотность и повышенную прочность. Как отмечал Е. Н. Сквалецкий, вследствие многолетних промачиваний лёссовых пород в основаниях гидротехнических сооружений в Таджикистане они преобразуются в озёрный мергель [13].

При длительной фильтрации воды существенным образом изменялись все показатели свойств лёссовой породы. Увеличение влажности произошло в среднем на 0,05–0,12. Предел раскатывания либо не изменился, либо уменьшился на 0,01. Повсеместно наблюдается повышение предела текучести в среднем на 0,01–0,04. Такие изменения пределов пластичности обусловлены изменениями общего содержания карбонатов в образце породы, изменениями содержания дисперсной фракции, повышением ёмкости поглощения и изменениями состава обменных катионов грунта. В результате

произошло оглеение породы с изменением всех влажностных показателей. Число пластичности при этом увеличилось на 0,01–0,03. Вследствие уплотнения порода стала более плотной, менее пористой, пластическая прочность его уменьшилась в 5–10 раз.

Характерным примером негативных последствий техногенеза на окружающую среду являются города Волгоград, Волжский, Камышин. Вследствие деформаций зданий и сооружений на просадочных и набухающих грунтах, затопления подвалов и цокольных этажей, образования оползней, оврагов и т. д. возникает ряд медико-биологических проблем, негативно отражающихся на здоровье проживающего населения. По данным коммунального отдела Цента государственного санитарно-эпидемиологического надзора г. Волгограда, более половины жалоб, поступающих от населения, связано с неблагоприятными условиями проживания [9].

Вследствие деформации жилых и производственных зданий образуются трещины в несущих конструкциях, что является причиной повышения влажности комнатного воздуха выше предельно допустимых величин, которые, по данным [14], составляют 30–60 % относительной влажности в жилых помещениях и 50 % – в дошкольных учреждениях. Сочетание высокой влажности воздуха с низкой температурой вызывает переохлаждение организма за счёт увеличения отдачи тепла и вызывает ощущение зябкости. Продолжительное и частое пребывание людей в условиях повышенной влажности и низкой температуры отягощает течение таких заболеваний, как нефрит, пиелонефрит, ангина, ревматизм, пневмония, грипп, катар верхних дыхательных путей и др.

В условиях влажной среды на сырых стенах развиваются домовые грибы, поражающие деревянные конструкции. Поверхности стен, находящихся в сырых помещениях, могут покрываться плесенью в виде пушистых, бархатистых и паутинных налётов различной окраски, состоящих из спор и нитей мицелия. Споры плесени, попадая в воздух жилых помещений, оседают на коже и слизистых оболочках человека и способны вызывать расстройства в дыхательных путях, глазах, ушах, кишечнике и др. [16]. Кроме того, плесень приводит к разрушению строительных конструкций. В последние десятилетия в ряде городов области наблюдается рост численности популяций кровососущих комаров (*Culex p. pipiens*, *C. p. molestus*), круглогодично размножающихся в подвалах жилых и общественных зданий, затопленных водой.

Анализ исследований по влиянию изменений агломераций на здоровье населения позволяет сделать следующие выводы:

1. Освоение новых территорий приводит к возникновению активных факторов преобразования геологической среды. Главнейшими из них являются статические и динамические нагрузки и изменение температурно-влажностного режима пород. Проявление указанных факторов приводит к возникновению различных неблагоприятных последствий.

2. Вследствие техногенеза изменяется состояние литогенной основы и возникает ряд неблагоприятных факторов, влияющих на здоровье человека. Основными из них являются: повышение влажности воздуха в жилых и общественных сооружениях, грибковые загрязнения, плесень, кровососущие насекомые. В результате повышается количество аллергенных, желудочно-кишечных, сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с ослаблением иммунного потенциала организма человека, в целом снижается качество жизни.

3. Анализ всех негативных последствий техногенеза пород даёт возможность использования выявленных закономерностей для прогноза эколого-геологических последствий освоения других территорий со сходными геологическими условиями.

Выполненный анализ различных природных, техногенных факторов, влияющих на геоэкологическую обстановку, позволяет выполнить геоэкологическую оценку и районирование территорий по степени комфортности геологической среды для проживающего населения (рис. 3).

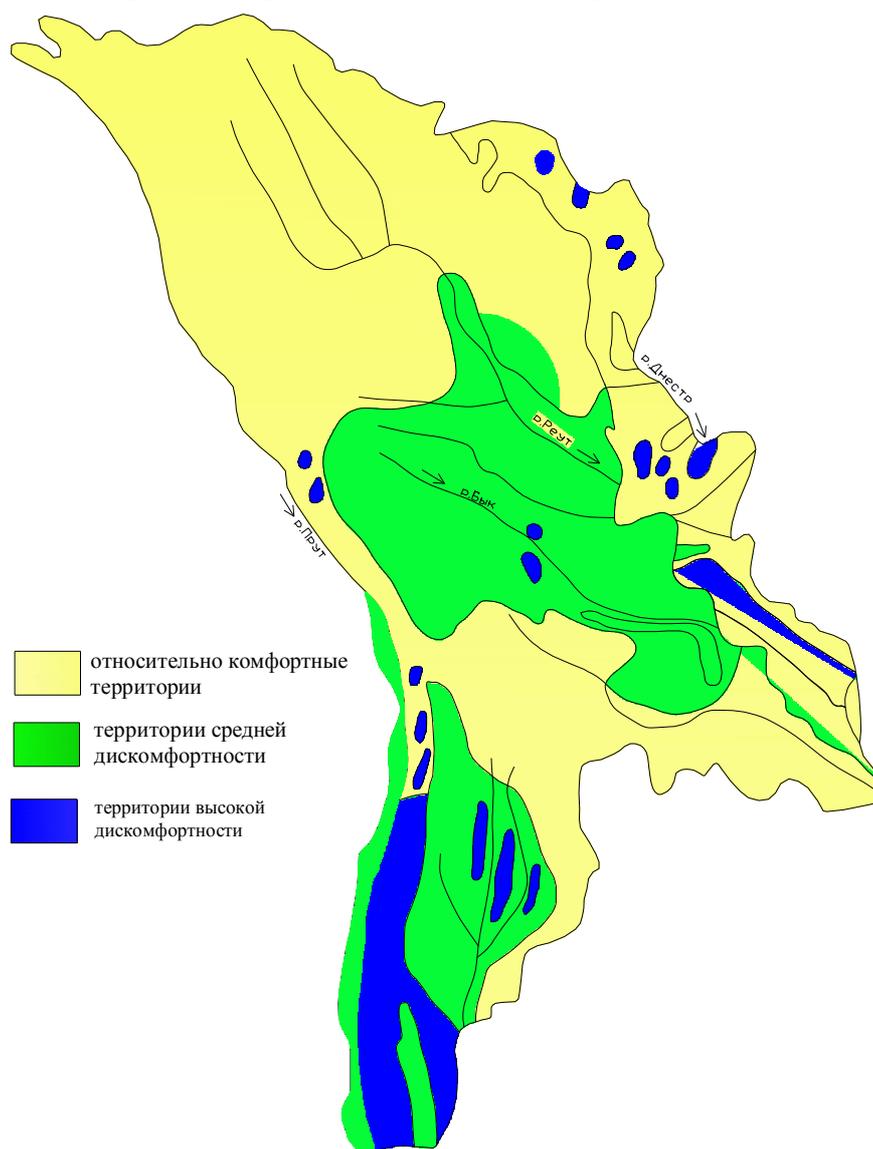


Рис. 3. Схематическая карта районирования территории Республики Молдова по степени комфортности геологической среды

Зонирование территории Молдовы по уровню дискомфортности геологической среды позволяет заключить, что интенсивное промышленно-хозяйственное освоение территорий распространения просадочных

и набухающих грунтов неизбежно влечёт за собой возникновение опасных геологических процессов и явлений (подтопление, просадки, набухание, активизация и образование оползней и др.). Прослеживается взаимосвязь между негативным изменением техноприродной обстановки и отрицательной динамикой показателей функционирования экосистем урбанизированных территорий, а также неблагоприятные геологические факторы, ухудшающие экологическую обстановку на территориях городских агломераций при техногенных трансформациях природной среды.

Для адекватной оценки опасности негативных эффектов в толщах пород с особыми составом и свойствами важны исследования геодинамики литосферы (для выявления механизмов природного и техногенного влияния) и оценка устойчивости территорий к возникновению неблагоприятных геологических процессов и уровня дискомфорта проживающего населения [15]. Для оценки устойчивости геологической среды Молдовы изучались и анализировались следующие природные факторы: геологическое строение и тектоника; генетический тип и возраст отложений, условия их залегания, особенности распространения и состава; физические свойства пород, изменчивость свойств в плане и по глубине; природные условия естественной дренированности территории; особенности рельефа и геоморфологии [17].

Активные факторы природной опасности и риска, влияющие на устойчивость геологической среды (статические и динамические нагрузки на породы и др.), существенно осложняют освоение территорий. Степень устойчивости геологической среды определяется наличием пассивных (природных и техноприродных) факторов. От наличия последних зависит уровень относительной биологической дискомфорта геологической среды для населения.

Анализ пассивных факторов, определяющих устойчивость геологической среды, позволил выделить три типа территорий по уровню относительной дискомфорта: относительно комфортные территории, территории средней дискомфорта и территории высокой дискомфорта (рис. 3).

*Относительно комфортные территории* сложены преимущественно лёссовыми породами, подстилаемыми сарматскими глинами. Мощность осадочных толщ, как правило, не превышают 5 м. Сарматские глины относятся к 3 и 4 типам по устойчивости к обводнению.

*Территории средней дискомфорта* включают сильно- и среднеподтопляемые участки, сложенные лёссовыми породами мощностью до 10–12 м, подстилаемые сарматскими глинами 2 и 3 типов по устойчивости к обводнению. На крутых склонах, сложенных средне- и сильнонабухающими глинами возможно образование оползней. Поддержание компонентов природной среды требует выполнения комплекса мероприятий по недопущению подтопления, оползнеобразования.

*Территории высокой дискомфорта* включают потенциально подтопляемые участки, сложенные лёссовыми породами II типа по проницаемости или сильно набухающими глинами 1 и 2 типов к обводнению. Данные территории являются наиболее уязвимыми в экологическом отношении. В условиях недостаточной естественной дренированности любое освоение земель, характеризующихся наличием многослойной лёссовой толщи, будет сопровождаться подтоплением вплоть до заболачивания. Это, в свою очередь, приводит к возникновению опасных геологических процессов и явлений: просадкам, набуханию, оползанию бортов карьеров и котлованов и др. – и ухудшает

условия жизнеобитания населения. Наиболее опасным с данных позиций являются южные регионы, поражённые формами западного микрорельефа.

Разработанная схема геэкологического зонирования массивов пород, а также карты районирования по степени комфортности геологической среды с учётом геэкологических факторов техноприродной опасности позволяют адекватно оценить возможность и параметры безопасного для человека развития урбанизированных территорий.

#### Список литературы

1. Богомолов, А. Н. Прогноз прочности сарматских глин при длительном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2018. – № 12. – С. 19–24.
2. Гончаров, В. С. Прогноз подтопления лессовых территорий вероятностно-статистическим методом на примере г. Кишинёва / В. С. Гончаров, Ю. И. Олянский // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). – Новосибирск, 1984. – Ч. 1. – С. 163–164.
3. Инженерно-геологическая оценка вещественного состава и физико-механических свойств сарматских глин / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, М. Д. Мозгунов, С. М. Адзиев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2017. – № 48 (67). – С. 38–47.
4. Кавеев, Т. С. Набухающие грунты в Нижнем Поволжье / Т. С. Кавеев // Строительство на набухающих грунтах. – Москва, 1968. – С. 26–29.
5. Кавеев, Т. С. Просадочность лессовых пород Нижнего Поволжья / Т. С. Кавеев // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1973. – С. 5–9.
6. Котлов, Ф. М. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф. М. Котлов. – Москва : Недра, 1976. – 263 с.
7. Олянский, Ю. И. Анализ причин деформаций зданий и сооружений, связанных с обводнением просадочных грунтов на территории Молдавии / Ю. И. Олянский, В. С. Гончаров // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. – Москва : Стройиздат, 1987. – Т. 2. – С. 164–165.
8. Олянский, Ю. И. Особенности борьбы с просадочностью лессовых оснований в Молдавии / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. – Новочеркасск : Южно-Российский гос. политех. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова, 2018. – С. 356–363.
9. Олянский, Ю. И. Эколого-геологическая оценка территорий распространения просадочных и набухающих пород Волгоградской области / Ю. И. Олянский, В. Н. Синяков // Стрежень. – 2002. – Вып. 2. – С. 19–26.
10. Основные закономерности изменения состава и свойств сарматских глин при диффузионном выщелачивании / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, О. А. Богомолова, И. Ю. Кузьменко, С. А. Чарыкова. – Волгоград : ВолГАСУ, 2013. – 127 с.
11. Оценка устойчивости сармат-меотических глин к длительному обводнению / Ю. И. Олянский, А. Н. Богомолов, Е. В. Щекочихина, С. И. Шиян // Геэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2010. – № 1. – С. 62–68.
12. Синяков, В. Н. Закономерности развития подтопления и других неблагоприятных геологических процессов на застроенных территориях Нижнего Поволжья / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). – Новосибирск, 1984. – Ч. 1. – С. 167–168.
13. Сквалецкий, Е. Н. Инженерно-геологическое прогнозирование и охрана природной среды (на примере освоения лессовых территорий Таджикистана) / Е. Н. Сквалецкий. – Душанбе : Дониш, 1988. – 259 с.

14. Слепян, Э. И. Охрана геологической среды территории городов и городских агломераций – необходимое условие обеспечения экологического комфорта для населения / Э. И. Слепян // Современные проблемы инженерной геологии территорий городов и городских агломераций. – Москва : Наука, 1987. – С. 284–286.
15. Трофимов, В. Т. Устойчивость геологической среды и факторы ее определяющие / В. Т. Трофимов, А. С. Герасименко // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1987. – № 6. – С. 46–52.
16. Черкез, Ф. Экология хронических болезней дыхательной системы / Ф. Черкез, Х. Пасич. – Варшава, 1972. – 64 с.
17. Экологические аспекты изменения геологической среды, учитываемые при проектировании оснований и фундаментов на глинистых грунтах / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, И. Ю. Кузьменко, Е. А. Степанова, Д. А. Чарыков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 43 (62). – С. 25–32.

### References

1. Bogomolov, A. N., Olyanskiy, Yu. I., Shchekochikhina, Ye. V. Prognoz prochnosti sarmatskikh glin pri dlitelnom obvodnenii [Forecast of the strength of Sarmatian clays during prolonged watering]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Foundations, foundations, and soil mechanics], 2018, no. 12, pp. 19–24.
2. Goncharov, V. S., Olyanskiy, Yu. I. Prognoz podtopleniya lessovykh territoriy veroyatnostno-statisticheskim metodom na primere g. Kishineva [Prediction of flooding of loess territories by the probabilistic-statistical method on the example of Chisinau]. *Protsessy podtopleniya zastroennykh territoriy gruntovymi vodami (prognoz i zashchita)* [Processes of flooding of built-up territories with groundwater (forecast and protection)]. Novosibirsk, 1984, part 1, pp. 163–164.
3. Olyanskiy, Yu. I., Shchekochikhina, Ye. V., Mozgunov, M. D., Adziev, S. M. Inzhenerno-geologicheskaya otsenka veshchestvennogo sostava i fiziko-mekhanicheskikh svoystv sarmatskikh glin [Geotechnical assessment of the material composition and physico-mechanical properties of Sarmatian clays]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura"* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series "Building and Architecture"], 2017, no. 48 (67), pp. 38–47.
4. Kaveev, T. S. Nabukhayushchie grunty v Nizhnem Povolzhe [Swelling soils in the Lower Volga]. *Stroitelstvo na nabukhayushchikh gruntakh* [Building on swellable soils]. Moscow, 1968, pp. 26–29.
5. Kaveev, T. S. Prosadochnost lessovykh porod Nizhnego Povolzhya [Sagging of loess rocks of the Lower Volga]. *Voprosy inzhenernoy geologii, proektirovaniya i stroitelstva osnovaniy i fundamentov v Nizhnem Povolzhe* [Issues of engineering geology, design and construction of foundations and foundations in the Lower Volga region]. Volgograd, 1973, pp. 5–9.
6. Kotlov, F. M. *Izmenenie geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Change in the geological environment under the influence of human activity]. Moscow, Nedra Publ., 1976, 263 p.
7. Olyanskiy, Yu. I., Goncharov, V. S. Analiz prichin deformatsiy zdaniy i sooruzheniy, svyazannykh s obvodneniem prosadochnykh gruntov na territorii Moldavii [Analysis of the causes of deformations of buildings and structures associated with flooding of subsidence soils on the territory of Moldova]. *Uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v fundamentostroenii* [Acceleration of scientific and technological progress in foundation engineering]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987, vol. 2, pp. 164–165.
8. Olyanskiy, Yu. I., Shchekochikhina, Ye. V., Kalinovskiy, S. A. Osobennosti borby s prosadochnostyu lessovykh osnovaniy v Moldavii [Features of the fight against subsidence of loess bases in Moldova]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii* [Soil mechanics in geotechnics and foundation engineerin].

Novocherkassk, South Russian State Polytechnic University them. M. I. Platov Publ., 2018, pp. 356–363.

9. Olyanskiy, Yu. I., Sinyakov, V. N. Ekologo-geologicheskaya otsenka territoriy rasprostraneniya prosadochnykh i nabukhayushchikh porod Volgogradskoy oblasti [Ecological and geological assessment of the areas of distribution of subsidence and swelling rocks of the Volgograd region]. *Strezhen* [Strezhen], 2002, iss. 2, pp. 19–26.

10. Bogomolov, A. N., Olyanskiy, Yu. I., Bogomolova, O. A., Kuzmenko, I. Yu., Charykova, S. A. *Osnovnye zakonomernosti izmeneniya sostava i svoystv sarmatskikh glin pri diffuzionnom vyshchelachivanii* [The main patterns of changes in the composition and properties of Sarmatian clays during diffusion leaching]. Volgograd, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2013, 127 p.

11. Olyanskiy, Yu. I., Bogomolov, A. N., Shchekochikhina, Ye. V., Shiyan, S. I. Otsenka ustoychivosti sarmat-meoticheskikh glin k dlitelnomu obvodneniyu [Evaluation of the stability of Sarmatian-meotic clays to prolonged watering]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 2010, no. 1, pp. 62–68.

12. Sinyakov, V. N., Kuznetsova, S. V. Zakonomernosti razvitiya podtopleniya i drugikh neblagopriyatnykh geologicheskikh protsessov na zastroennykh territoriyakh Nizhnego Povolzhya [Patterns of development of flooding and other adverse geological processes in the built-up territories of the Lower Volga]. *Protsessy podtopleniya zastroennykh territoriy gruntovymi vodami (prognoz i zashchita)* [Processes of flooding of built-up territories with groundwater (forecast and protection)]. Novosibirsk, 1984, part 1, pp. 167–168.

13. Skvaletskiy, Ye. N. *Inzhenerno-geologicheskoe prognozirovanie i okhrana prirodnoy sredy (na primere osvoeniya lessovykh territoriy Tadzhikistana)* [Engineering-geological forecasting and environmental protection (on the example of the development of loess territories of Tajikistan)]. Dushanbe, Donish Publ., 1988, 259 p.

14. Slepian, E. I. Okhrana geologicheskoy sredy territorii gorodov i gorodskikh aglomeratsiy – neobkhodimoe uslovie obespecheniya ekologicheskogo komforta dlya naseleniya [The protection of the geological environment of the territory of cities and urban agglomerations is a necessary condition for ensuring environmental comfort for the population]. *Sovremennye problemy inzhenernoy geologii territoriy gorodov i gorodskikh aglomeratsiy* [Modern problems of engineering geology of territories of cities and urban agglomerations]. Moskva, Nauka Publ., 1987, pp. 284–286.

15. Trofimov, V. T., Gerasimenko, A. S. Ustoychivost geologicheskoy sredy i faktory ee opredelyayushchie [Stability of the geological environment and its determining factors]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 1987, no. 6, pp. 46–52.

16. Cherkez, F., Pasich, Kh. *Ekologiya khronicheskikh bolezney dykhatelnoy sistemy* [Ecology of chronic diseases of the respiratory system]. Varshava, 1972, 64 p.

17. Bogomolov, A. N., Olyanskiy, Yu. I., Shchekochikhina, Ye. V., Kuzmenko, I. Yu., Stepanova, Ye. A., Charykov, D. A. Ekologicheskie aspekty izmeneniya geologicheskoy sredy, uchityvaemye pri proektirovanii osnovaniy i fundamentov na glinistykh gruntakh [Environmental aspects of changes in the geological environment, taken into account in the design of foundations and foundations on clay soils]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura"* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series "Building and Architecture"], 2016, iss. 43 (62), pp. 25–32.