

УДК 624.131.1:624.131.22

Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Н. Ю. Карапузова, Д. А. Кузьменко

Волгоградский государственный технический университет

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЛЕССОВЫХ ПОРОД ПРУТ-ДНЕСТРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ В СВЯЗИ С ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Проанализированы показатели механического состава, минерального состава глинистой фракции и ионно-солевого комплекса лессовых просадочных пород территории между реками Прут и Днестр природного сложения и влажности и после длительного взаимодействия с водой в процессе замачивания и фильтрации. Выявлены изменения в структуре и химическом составе, способствующие превращению лессовых макропористых отложений в плотную прочную породу, обладающую водоупорными свойствами, способствующую активизации техногенного подтопления территории.

Ключевые слова: просадочность, выщелачивание, микроагрегатный состав, емкость поглощения, коэффициент агрегированности, тип засоления.

Введение

Строительство гидротехнических объектов и крупных оросительных систем в регионах распространения лессовых просадочных пород в целях рационального использования водных ресурсов довольно часто сопровождается геодинамическими процессами и неблагоприятными экологическими последствиями. В связи с этим для обоснования водохозяйственных мероприятий важно не только правильно оценить гидрогеологические и инженерно-геологические условия, свойства пород в основаниях проектируемых сооружений, геологические процессы и явления, но и составить прогноз изменения природных условий в результате строительства и эксплуатации. Такие прогнозы не должны ограничиваться непосредственно участком размещения сооружений или мелиоративной системы, а охватывать сопредельные территории, на которые могут повлиять ирригационные мероприятия.

Установление качественных изменений природных условий недостаточно, прогноз должен быть количественным и предсказывать появление возможных нежелательных последствий мелиорации в пространстве и времени, т. к. целесообразность намеченного водохозяйственного строительства определяется только с учетом долгосрочной перспективы.

Территория междуречья Прута и Днестра расположена в зоне недостаточного увлажнения и характеризуется почти повсеместным распространением лессовых просадочных отложений, являющихся основанием многих инженерных сооружений, в т. ч. гидротехнических [1]. Основными неблагоприятными факторами при возведении объектов гидротехники и мелиорации являются возможные деформации сооружений при замачивании грунтов оснований вследствие фильтрации воды из водонесущих магистралей, прудов-наполнителей, рек и водохранилищ, способствующей подтоплению обширных территорий, и под влиянием просадки и послепросадочного уплотнения. Длительное воздействие воды на лессовые породы влечет за собой изменение в их механическом составе и ионно-солевом комплексе, способствует

развитию процессов подтопления обширных территорий, что негативно отражается на их геоэкологических условиях.

Изучение вещественного состава лессовых пород и его изменения в результате длительного воздействия воды осуществлялось в процессе лабораторного моделирования деформаций послепросадочного уплотнения в компрессионных приборах [2]. Выполнены исследования вещественного состава образцов лессовых пород природного сложения и влажности до производства компрессионных испытаний и после длительной компрессии и фильтрации воды через образец грунта в течение 30...90 сут. Обобщение результатов осуществлено в пределах инженерно-геологических областей и районов (рис. 1). Сведения о расходах воды при фильтрации через некоторые образцы лессовой породы в компрессионном приборе приведены на рис. 2 и в табл. 1.

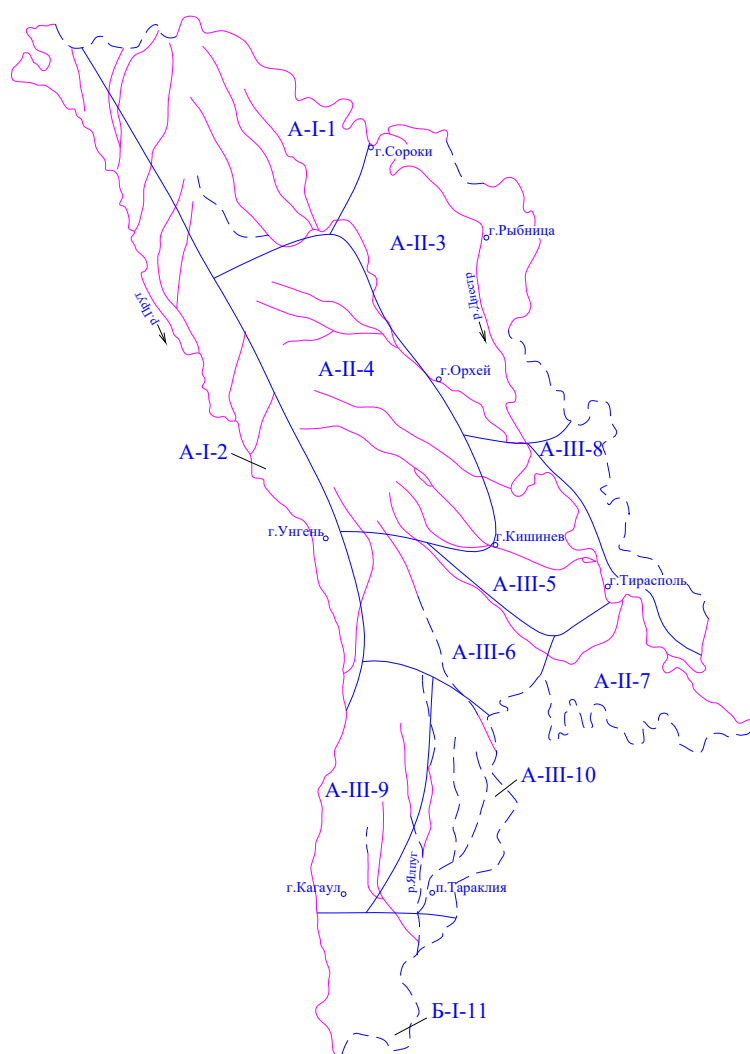


Рис. 1. Карта инженерно-геологического районирования республики Молдова, 1:1 500 000. А-І-2 — индекс инженерно-геологического района; — граница инженерно-геологического района

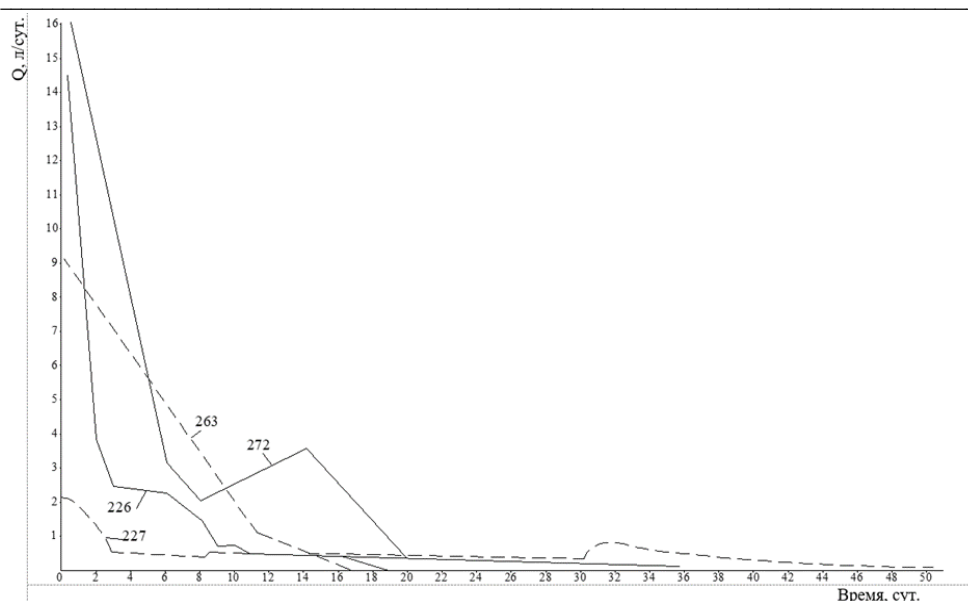


Рис. 2. Графики изменения расхода воды при фильтрации через образцы лессовых пород

Таблица 1

Показатели свойств лессовых пород

| Лаб. № обр. | Природное состояние | | | | | | | После длительной фильтрации | | | | | | |
|----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Микроагрегатный состав, % | | | W_L | W_P | Y_P | n | Микроагрегатный состав, % | | | W_L | W_P | Y_P | n |
| | песок | пыль | глина | | | | | песок | пыль | глина | | | | |
| 226 | | | | 0,23 | 0,16 | 0,07 | 0,40 | | | | 0,24 | 0,17 | 0,07 | 0,37 |
| 227 | 54,14 | 36,64 | 9,22 | 0,34 | 0,17 | 0,07 | 0,44 | 54,14 | 33,39 | 9,47 | 0,24 | 0,15 | 0,09 | 0,39 |
| 263 | 13,48 | 65,89 | 20,63 | 0,42 | 0,21 | 0,21 | 0,46 | 15,23 | 61,92 | 22,85 | 0,42 | 0,20 | 0,22 | 0,43 |
| 272 | 61,04 | 28,08 | 10,88 | 0,29 | 0,16 | 0,13 | 0,40 | 60,09 | 31,45 | 8,46 | 0,28 | 0,28 | 0,10 | 0,33 |

Механический состав

Степень дисперсности лессовых пород оценивалась по результатам гранулометрического и микроагрегатного анализов. Первый, отражающий механический состав пород при наибольшей пептезации, выполнялся пипеточным методом после растирания навески в присутствии 5 % раствора пирофосфата натрия. Второй, определяющий вторичную (природную) дисперсность, производился по методу Н. А. Качинского, исключающему какое-либо химическое воздействие на образец [3].

Наибольшая неоднородность проявляется в микроагрегатном составе пород, в то время как различия в гранулометрическом составе менее заметны. Последний характеризуется тем, что содержание фракций песка, пыли и глины в образцах пород, отобранных из всех 4 инженерно-геологических областей, примерно равны или отличаются незначительно. В частности, в инженерно-геологических областях Центральной и Северо-Восточной Молдавии А-II и Южной Молдавии А-III наблюдается повышенное содержание

фракции песка, в среднем 37,69 и 32,47 % соответственно, в то время как в двух других областях содержание песка не превышает 21,38 % [4, 5]. Причиной может служить привнос в лессовую толщу Центральной и Южной Молдавии песчаных частиц из района Кодринской возвышенности, где на поверхности обнажаются сармат-меотические песчано-глинистые породы. Наиболее существенные различия лессовых пород из различных инженерно-геологических областей проявляются в их микроагрегатном составе, что свидетельствует о различных способах переноса мелкозема и разном генезисе лессовых толщ. Минимальное содержание пыли (в среднем 37,25 %) и максимальное содержание песка (в среднем 50,28 %) в лессовых породах Центральной и Северо-Восточной областях Молдавии (А-II) [6—8] несомненно отражает преимущественно субэральное происхождение лессовых толщ: делювиальное и пролювиальное. А микроагрегатный состав лессовых пород из области Южно-Молдавской лессовой равнины Б-I, характеризующийся высоким содержанием пыли (в среднем 70,48 %) и незначительным содержанием глины (в среднем 4,01 %), является отражением эолового генезиса лессовых толщ.

Анализ степени агрегированности фракций в виде коэффициента агрегированности (табл. 2) приводит к выводу, что по этому показателю лессовые породы инженерно-геологических областей достаточно неоднородные. Наибольшей величиной коэффициента агрегированности глинистой фракции характеризуются лессовые породы Южно-Молдавской лессовой равнины Б-I (в среднем 10,5), в то время как у более северных областей коэффициент агрегированности глинистой фракции значительно меньше, в среднем 2,8...4,1. Такая закономерность в агрегированности фракций является, вероятно, следствием существующей климатической зональности. Территория Южно-Молдавской лессовой равнины является наиболее засушливой, следовательно, здесь существуют наиболее благоприятные условия для засоления лессовых толщ и агрегатизации глинистой фракции [9, 10].

Анализируя изменения микроагрегатного состава лессовых пород отдельных регионов при фильтрации воды, Ю. И. Олянский отметил, что «... в целом содержание мелких фракций (дисперсной и мелкопылевой) не изменилось» [10]. Однако наши исследования лессовых пород отдельных регионально-генетических типов несколько уточняют и конкретизируют данный вывод. Содержание дисперсной фракции у наиболее засоленных лессовых пород крайнего юга междуречья (область Б-I) при фильтрации воды уменьшилось почти в 2 раза и составило 2,5 % по сравнению с 4,01 % — до взаимодействия с водой. На остальной части территории, лессовые породы которой менее засолены, при фильтрации воды произошло повышение содержания дисперсной фракции в среднем в 1,3 раза и составило 10,77 % по сравнению с 8,43 %. Аналогичная закономерность выявлена и для пылевой фракции. Для инженерно-геологической области Б-I ее содержание уменьшилось в среднем на 11 %, а для области А-III — увеличилась в среднем на 8,64 % (табл. 3).

Таблица 2

Вещественный состав лессовых пород инженерно-геологических областей до взаимодействия с водой

| Инженерно-геологическая область | Статистики | Гранулометрический состав, % | | | Микроагрегатный состав, % | | | Минеральный состав глинистой фракции, % | | | Коэффициенты агрегированности глинистой фракции $K_{ар}$ |
|---------------------------------|------------|------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------|----------------------|------------------|---|---------------|-----------|--|
| | | песок > 0,05 мм | пыль 0,05...0,005 мм | глина < 0,005 мм | песок > 0,05 мм | пыль 0,05...0,005 мм | глина < 0,005 мм | монтмориллонит, % | гидрослюда, % | прочие, % | |
| А-I | \bar{x} | 2,37 | 37,69 | 59,93 | 13,48 | 65,89 | 20,63 | 35,5 | 50,00 | 14,5 | 2,9 |
| | N | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| А-II | \bar{x} | 37,69 | 27,86 | 34,56 | 50,28 | 37,25 | 12,47 | 42,90 | 41,80 | 14,40 | 2,8 |
| | N | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | |
| | S | 12,102 | 9,783 | 9,623 | 9,791 | 13,119 | 5,605 | 8,659 | 5,769 | 3,658 | |
| А-III | \bar{x} | 32,47 | 33,32 | 34,23 | 33,92 | 58,16 | 8,43 | 49,92 | 31,17 | 17,17 | 4,1 |
| | N | 47 | 47 | 47 | 44 | 44 | 44 | 12 | 12 | 12 | |
| | S | 15,307 | 17,077 | 8,163 | 18,066 | 17,290 | 8,018 | 7,416 | 6,713 | 5,306 | |
| Б-I | \bar{x} | 21,38 | 36,46 | 42,21 | 24,76 | 70,48 | 4,01 | 62,80 | 24,20 | 12,60 | 10,5 |
| | N | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 5 | 5 | 5 | |
| | S | 17,674 | 14,993 | 11,200 | 17,206 | 17,112 | 3,382 | | | | |

Примечание: \bar{x} — среднее статистическое, N — количество определений, S — стандартное отклонение.

Т а б л и ц а 3

Микроагрегатный состав лессовых пород инженерно-геологических областей после замачивания и фильтрации воды

| Инженерно-геологическая область | Статистики | Содержание фракций, % | | | Коэффициент агрегированности глинистой фракции $K_{агр}$ |
|---------------------------------|------------|-----------------------|----------------------|------------------|--|
| | | песок > 0,05 мм | пыль 0,05...0,005 мм | глина < 0,005 мм | |
| А-I | \bar{x} | 16,75 | 63,73 | 19,55 | 3,07 |
| А-II | \bar{x} | 43,27 | 45,23 | 11,50 | 3,01 |
| | N | 9 | 9 | 9 | |
| | S | 11,00 | 9,60 | 3,52 | |
| А-III | \bar{x} | 22,43 | 66,80 | 10,77 | 3,18 |
| | N | 10 | 10 | 10 | |
| | S | 6,80 | 7,69 | 2,30 | |
| Б-I | \bar{x} | 37,86 | 59,64 | 2,50 | 16,88 |
| | N | 26 | 26 | 26 | |
| | S | 9,88 | 9,93 | 1,69 | |

Примечание: условные обозначения см. табл. 2.

Такие изменения в составе дисперсной и пылевой фракции лессовых пород наиболее южной части междуречья и остальной территории повлекли за собой соответствующие изменения в содержании песчаной фракции. Для области Б-I оно увеличилось в среднем на 13,1 %, для областей А-II и А-III — уменьшилось в среднем на 7,01...11,49 %. Следствием этих изменений в микроагрегатном составе является изменение коэффициента агрегированности дисперсной фракции (см. табл. 2, 3). У наиболее засоленных лессовых пород области Б-I его значение увеличилось примерно в 1,5 раза и составило в среднем 16,9 против 10,5. У лессовых пород других, более северных инженерно-геологических областей, значение коэффициента агрегированности дисперсной фракции в целом несколько увеличилось на величину 0,2...0,3.

Таким образом, выводы Ю. И. Олянского о том, что коэффициент агрегированности глинистой фракции при фильтрации воды через образец грунта практически не изменился, нами дополнены и уточнены применительно к лессовым породам регионально-генетических типов различной степени засоления, дисперсности и природной агрегированности.

Минеральный состав

Минеральный состав дисперсной (менее 0,002 мм) фракции лессовых пород изучался рентгеноструктурным и электронно-микроскопическим методами. Глинистая фракция для анализа выделялась из суспензии на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-1 при частоте 22 кГц. Время диспергации — 1 мин. Качественная оценка минерального состава производилась на просвечивающем электронном микроскопе УЭМВ-100К при увеличении 9,0 и 13,5 тыс раз. Количественные исследования выполнялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-0,5. Запись образцов осуществлялась в воздушно-сухом состоянии, после насыщения этиленгликолем и прогрева при температуре 550...580 °С в течение 1,5...2,0 часов. Всего выполнено 27 определений минерального состава глинистой фракции образцов четырех инженерно-геологических областей междуречья Прут — Днестр.

Исследованиями Е. М. Сквалецкого [11], В. И. Коробкина, С. И. Пахомова, А. М. Монюшко, О. И. Мозгового [12] и др. [8, 13—15] установлено, что за период лабораторного моделирования процессов взаимодействия глинистых пород с водой изменения в минеральном составе дисперсной фракции либо не происходят вообще, либо они незначительные и находятся в пределах точности минералогических анализов. В связи с этим минеральный состав дисперсной фракции образцов после их длительного взаимодействия с водой не определялся. Изменение вещественного состава оценивалось только по ионно-солевому комплексу пород и их микроагрегатному составу.

Характеристика минерального состава дисперсной фракции приведена в табл. 2. Анализ данных показывает, что по минеральному составу дисперсной фракции лессовые породы из всех четырех инженерно-геологических областей существенно различаются. В инженерно-геологической области А-I в дисперсной фракции преобладает гидрослюда (среднее 50,0 %), монтмориллонита — 35,5 %. В инженерно-геологической области А-II содержание гидрослюда и монтмориллонита в среднем 41,8 и 42,90 % соответственно. В инженерно-геологических областях А-III и Б-I в дисперсной фракции преобладает монтмориллонит — 49,92 и 62,80 % соответственно, содержание гидрослюда в среднем составляет 31,17 и 24,20 % соответственно.

Ионно-солевой комплекс

Состав водорастворимых солей и содержание некоторых компонентов засоленности лессовых пород инженерно-геологических районов до и после замачивания и фильтрации воды приведены в табл. 4, 5. Анализ данных свидетельствует о том, что длительное взаимодействие лессовых пород с водопроводной водой гидрокарбонатно-кальциевого состава привело к существенному изменению в их ионно-солевом комплексе. Общая минерализация уменьшилась в целом в 1,5...2,0 раза и для наиболее засоленных лессовых пород южной части междуречья (область Б-I-11) составила в среднем 0,158 г/100 г породы.

Минерализация менее засоленных пород центральной и северной частей междуречья (области А-II и А-III) уменьшилась в 3...4 раза и составила в среднем 0,060...0,074 г/100 г породы. Содержание гипса и общая карбонатность при взаимодействии с водой для лессовых пород различных инженерно-геологических районов изменились по-разному, но просматривается тенденция увеличения этих показателей. Содержание аморфного кремнезема в лессовых породах после опыта несколько изменилось в сторону уменьшения [2].

Емкость поглощения и состав обменных катионов

В таблицах 6 и 7 приведены сведения о емкости поглощения и составе обменных катионов лессовых пород природного сложения и после длительной фильтрации.

Существенного изменения по площади показателя емкости поглощения лессовых пород не установлено. Тем не менее, на крайнем севере и юге междуречья его значения несколько выше — 15,822...15,953 мг-экв/100 г породы, а на остальной территории — 11,822...13,552 мг-экв/100 г породы (средние значения для инженерно-геологических районов). В составе обменных катионов существенной изменчивости по площади не установлено. Однако в северной и центральной частях междуречья (области А-I и А-II) обменные катионы преимущественно выстраиваются в ряд $Mg^{+2} > Na^{+} > Ca^{+2} > K^{+}$, а в южной части (область А-III) — в ряд $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+} > K^{+}$ или $Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ [13].

Таблица 4

Состав водорастворимых солей и содержание некоторых компонентов засоленности лессовых пород инженерно-геологических районов природной влажности (в числителе) и после замачивания фильтрации (в знаменателе)

| Инженерно-геологический район | N | Минерализация, г / 100 г сухой породы | Катионы, г / 100 г сухой породы | | | Анионы, г / 100 г сухой породы | | | Карбонатность, % | Аморфный кремнезем, % | Гипс, % |
|-------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------|---------|
| | | | K ⁺ +Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | | | |
| А-I-1 | | 0,0900 | 0,0140 | 0,0032 | 0,0056 | 0,0062 | 0,0197 | 0,0501 | 17,2 | 0,78 | 0,060 |
| | $\frac{1}{2}$ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 0,074 | 0,0057 | 0,0114 | 0,0047 | 0,0044 | 0,0177 | 0,0544 | 13,7 | 0,88 | 0,50 |
| А-II-4 | | 0,1616 | 0,0105 | 0,0084 | 0,0074 | 0,0116 | 0,0159 | 0,0494 | 6,3044 | 0,5156 | 0,150 |
| | $\frac{8}{9}$ | 0,2207 | 0,0053 | 0,0044 | 0,0033 | 0,0133 | 0,0051 | 0,0080 | 42,527 | 0,1268 | — |
| | | 0,74 | 0,0045 | 0,0142 | 0,045 | 0,0088 | 0,0128 | 0,0484 | 7,45 | — | 0,27 |
| А-III-9 | | 0,0154 | 0,002 | 0,0056 | 0,0023 | 0,0070 | 0,0054 | 0,0111 | 5,593 | 0,1920 | 0,141 |
| | | 0,2751 | 0,0223 | 0,0144 | 0,0085 | 0,0032 | 0,0662 | 0,0543 | 6,75 | 0,4675 | 0,073 |
| | $\frac{7}{2}$ | 0,3572 | 0,0140 | 0,0248 | 0,0136 | 0,0016 | 0,1220 | 0,0311 | 4,094 | — | 0,1717 |
| | | 0,060 | 0,0052 | 0,0116 | 0,0049 | 0,0043 | 0,0113 | 0,0453 | 7,22 | 0,44 | 0,41 |
| А-III-10 | | — | — | — | — | — | — | — | 4,094 | — | — |
| | | 0,1283 | 0,0349 | 0,0065 | 0,0035 | 0,0088 | 0,0296 | 0,0683 | 6,65 | 0,87 | 0,09 |
| | $\frac{8}{7}$ | 0,0230 | 0,0052 | 0,036 | 0,0015 | 0,0059 | 0,0202 | 0,0129 | — | — | — |
| Б-I-11 | | 0,0680 | 0,0037 | 0,0104 | 0,0056 | 0,0054 | 0,0167 | 0,0407 | — | 0,76 | 0,09 |
| | | 0,0078 | 0,0016 | 0,0032 | 0,0015 | 0,0013 | 0,0024 | 0,0104 | — | — | — |
| | | 0,2496 | 0,0328 | 0,0051 | 0,0126 | 0,0099 | 0,0444 | 0,0621 | 11,3 | — | 0,045 |
| | $\frac{8}{7}$ | 0,2474 | 0,0273 | 0,0048 | 0,0330 | 0,0212 | 0,0869 | 0,0238 | 4,87 | — | — |
| | 0,158 | 0,0182 | 0,0075 | 0,0041 | 0,0044 | 0,0091 | 0,0641 | — | — | — | |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

Примечание: а — в числителе — до взаимодействия с водой, в знаменателе — после взаимодействия с водой; б — верхнее — среднее значение, нижнее — стандартное отклонение.

Таблица 5

*Состав воднорастворимых солей образцов лессовых пород природной влажности (в числителе)
и после замачивания фильтрации (в знаменателе)*

| Лабораторный номер образца | 456 | 493 | 494 | 498 | 525 |
|---|---|---|--|---|---|
| Геологический индекс | eoldQ ₃ | eoldQ ₁ | eoldQ ₁ | eoldQ ₃ | eoldQ ₃ |
| Ионы, г/100 г породы | | | | | |
| Na ⁺ +K ⁺ | $\frac{0,0078}{0,0064}$ | $\frac{0,0378}{0,0149}$ | $\frac{0,0552}{0,0456}$ | $\frac{0,0244}{0,0082}$ | $\frac{0,0020}{0,0058}$ |
| Ca ⁺² | $\frac{0,0045}{0,0117}$ | $\frac{0,0019}{0,0058}$ | $\frac{0,0022}{0,0034}$ | $\frac{0,0023}{0,0072}$ | $\frac{0,0052}{0,0092}$ |
| Mg ⁺² | $\frac{0,0103}{0,0046}$ | $\frac{0,0017}{0,0049}$ | $\frac{0,0022}{0,0031}$ | $\frac{0,0017}{0,0055}$ | $\frac{0,0044}{0,0036}$ |
| Cl ⁻ | $\frac{0,0036}{0,0053}$ | $\frac{0,0036}{0,0035}$ | $\frac{0,0071}{0,0036}$ | $\frac{0,0035}{0,0071}$ | $\frac{0,0018}{0,0053}$ |
| HCO ₃ ⁻ | $\frac{0,0824}{0,0610}$ | $\frac{0,0854}{0,0490}$ | $\frac{0,0915}{0,0977}$ | $\frac{0,0610}{0,0600}$ | $\frac{0,0366}{0,0488}$ |
| SO ₄ ⁻² | $\frac{0,0025}{0,0073}$ | $\frac{0,0133}{0,0122}$ | $\frac{0,0510}{0,0082}$ | $\frac{0,0020}{0,0053}$ | $\frac{0,0010}{0,0087}$ |
| Минерализация г / 100г породы | $\frac{0,139}{0,131}$ | $\frac{0,202}{0,132}$ | $\frac{0,326}{0,256}$ | $\frac{0,129}{0,120}$ | $\frac{0,065}{0,114}$ |
| pH | $\frac{7,90}{7,90}$ | $\frac{8,65}{7,20}$ | $\frac{8,00}{7,80}$ | $\frac{7,80}{7,70}$ | $\frac{7,80}{8,10}$ |
| Тип засоления (по Е. В. Аринушкиной) | $\frac{\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2}}{\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2} - \text{Ca}^{+2}}$ | $\frac{\text{SO}_4^{-2} - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+}{\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+}$ | $\frac{\text{SO}_4^{-2} - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+}{\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+}$ | $\frac{\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+}{\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2} - \text{Ca}^{+2}}$ | $\frac{\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2} - \text{Ca}^{+2}}{\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2} - \text{Ca}^{+2}}$ |

Емкость поглощения для лессовых пород центральной и северной частей междуречья после взаимодействия с водой понизилась, что находит свое объяснение агрегатизацией дисперсной фракции гипсом и карбонатными солями. До взаимодействия с водой обменные катионы в основном были выстроены в ряд $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+} > K^{+}$, а после фильтрации — в ряд $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} > K^{+}$. Если до взаимодействия с водой тип засоления лессовых пород мог быть весьма различным, то после фильтрации воды у образцов стал преобладать сульфатно-содовый кальциево-магниевый.

Таблица 6

Емкость поглощения и состав обменных катионов лессовых пород инженерно-геологических районов до взаимодействия с водой

| Инженерно-геологический район | Статистики | Емкость поглощения, мг-экв/100 г породы | Состав обменных катионов мг-экв/100 г породы | | | |
|-------------------------------|------------|---|--|-----------------|------------------|------------------|
| | | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² |
| А-I | \bar{x} | 15,953 | 0,167 | 0,696 | 6,002 | 7,259 |
| | N | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| А-II-4 | \bar{x} | 13,552 | 0,140 | 0,533 | 5,196 | 7,479 |
| | N | 11 | 11 | 9 | 11 | 11 |
| | S | 2,6329 | 0,0265 | 0,3747 | 1,2160 | 2,4212 |
| А-III-8 | \bar{x} | 12,713 | 0,135 | 0,677 | 5,004 | 7,572 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | S | 2,4096 | 0,0256 | 0,5141 | 2,3685 | 1,9112 |
| А-III-9 | \bar{x} | 11,824 | 0,160 | 0,130 | 3,078 | 7,807 |
| | N | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |
| А-III-10 | \bar{x} | 15,822 | 0,151 | 2,571 | 4,2933 | 8,645 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | S | 1,8401 | 0,0164 | 0,5761 | 1,1026 | 1,2378 |

Примечание: условные обозначения см. табл. 2.

Таблица 7

Емкость поглощения и состав обменных катионов лессовых пород инженерно-геологических областей после замачивания и фильтрации воды

| Инженерно-геологическая область | Статистики | Емкость поглощения, мг-экв/100 г сухой породы | Состав обменных катионов, мг-экв/100 г породы | | | |
|---------------------------------|------------|---|---|-----------------|------------------|------------------|
| | | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² |
| А-I | \bar{x} | 18,676 | 0,213 | 0,521 | 9,849 | 5,626 |
| | N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| А-II | \bar{x} | 14,922 | 0,305 | 0,353 | 6,796 | 5,009 |
| | N | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | S | 3,9644 | 0,2002 | 0,2599 | 2,8390 | 2,0291 |
| А-III | \bar{x} | 14,420 | 0,209 | 0,335 | 7,473 | 6,110 |
| | N | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | S | 2,5425 | 0,1397 | 0,2081 | 2,2902 | 1,6300 |

Выводы

Испытания лессовых пород в условиях замачивания и фильтрации показали, что длительное взаимодействие с водой ведет к полной их деградации. Уменьшается содержание крупных фракций, за счет чего повышается

содержание более мелких. Легкорастворимые соли вымываются, одновременно слабо- и среднерастворимые соединения преобразуются в сильнорастворимые. В породе повышается содержание гидрокарбонатов и гипса, она приобретает содово-кальциевые или содово-магниевое засоление.

Таким образом, в ходе послепросадочного уплотнения за счет разрушения водорастворимых структурно-коллоидных связей между частицами и распада водопрочных агрегатов заканчивается преобразование структурного порового пространства. В результате активные поры исчезают полностью, возникает объем неактивных пор, частицы размещаются более компактно и плотно. Увеличение объема неактивных пор приводит к росту предельной влагоемкости, а передвижение воды гравитационным путем прекращается. Вследствие выпадения углекислого кальция лессовая порода приобретает высокую плотность, а при высушивании — повышенную прочность. Приобретаются водоупорные свойства, что активизирует процесс техногенного подтопления прилегающих к гидротехническому объекту территории. Наиболее неблагоприятные условия для гидротехнического строительства в инженерно-геологических районах А-III и Б-I и как следствие — необходимость проектирования здесь дренажных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олянский Ю. И., Богдевич О. П., Вовк В. М. Инженерно-геологические особенности лессовых пород Молдавии // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1994. № 1. С. 65—75.
2. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Т. М. Тихонова, И. Ю. Кузьменко. Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2015. 204 с.
3. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Прогнозирование послепросадочного уплотнения замедленно просадочных лессовых грунтов при строительстве гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2019. № 8. С. 13—17.
4. Олянский Ю. И. Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Естественные науки. 2005. Вып. 4(14). С. 81—85.
5. Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Степанова Е. А. Цель и задачи инженерно-геологических изысканий для проектирования гидротехнического строительства на просадочных грунтах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 51(70). С. 5—13.
6. Olyansky Yu. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Features of assessment of subsidence properties of loess rocks in the design of bases and foundations in central Moldova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 042058.
7. Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A. Predicting the post-subsidence consolidation of slowly subsiding loess soils in constructing hydraulic structures // Power Technology and Engineering. 2020. Vol. 53. Iss. 5. Pp. 545—548.
8. Olyansky Yu. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Researches of the seismic properties of clay soils for seismic microzoning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference „FarEastCon 2019“. 2020. Pp. 022005.
9. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Махов И. Д. Исследование зависимости просадочности лессовых пород юга Русской плиты от географо-климатических факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 15—22.
10. Богомолов А. Н., Скибин Г. М., Олянский Ю. И., Махова С. И. Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 98—115.

11. *Сквалецкий Е. Н.* К количественному прогнозу послепросадочного уплотнения лессовых грунтов // Инженерная геология. 1983. № 2. С. 48—58.
12. *Мозговой О. И.* Исследование просадочности лессовых пород Дагестана разными методами // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. Вып. 3. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1972. С. 69—75.
13. *Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.* Forecast of magnitude post subsidence compaction at the bulding on slow-subsidence of loess soils // E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. 2019. Pp. 04001.
14. *Olyansky Yu. I., Kalinovskiy S. A.* Features of construction of buildings and constructions on loessial the basen in Moldova // XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction — The Formation of Living Environment. 2018. Pp. 062034.
15. *Olyansky Yu. I., Kuzmenko I. Y., Shchekochikhina E. V.* Features of construction buildings on the loessial soil of central Moldova // Procedia Engineering. 2016. Pp. 2208—2212.
16. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленно просадочных грунтах I и II типа по просадочности / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Л. А. Анисимов, Е. В. Щекочихина, А. Ф. Алексеев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 14—21.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Карапузова Н. Ю., Кузьменко Д. А., 2024

Поступила в редакцию
в январе 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Карапузова Н. Ю., Кузьменко Д. А. Вещественный состав лессовых пород Прут-Днестровского междуречья в связи с гидротехническим строительством // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 1(94). С. 138—150. DOI: 10.35211/18154360_2024_1_138.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, проф. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olyansk@list.ru

Щекочихина Евгения Викторовна — канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; karnat.1@yandex.ru

Карапузова Наталья Юрьевна — канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Кузьменко Денис Алексеевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Yurii I. Olyanskii, Evgeniya V. Shchekochikhina, Natalya Yu. Karapuzova,
Denis A. Kuzmenko**

Volgograd State Technical University

THE MATERIAL COMPOSITION OF LOESS ROCKS OF THE PRUT-DNIESTER INTERFLUVE IN CONNECTION WITH HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

The indicators of the mechanical composition, mineral composition of the clay fraction and the ion-salt complex of loess subsidence rocks of the territory between the Prut and Dniester rivers of natural composition and humidity and after prolonged interaction with water during soaking and filtration are analyzed. Changes in the structure and chemical composition that contribute to the trans-

formation of loess macroporous deposits into a dense solid rock with water-resistant properties, contributing to the activation of technogenic flooding of the territory, have been identified.

Key words: subsidence, leaching, microaggregate composition, absorption capacity, aggregation coefficient, type of salinity.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Karapuzova N. Yu., Kuzmenko D. A. [The material composition of loess rocks of the Prut-Dniester interfluvium in connection with hydraulic engineering construction]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 1, pp. 138—150. DOI: 10.35211/18154360_2024_1_138.

About authors:

Yurii I. Olyanskii — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olyansk@list.ru

Evgeniya V. Shchekochikhina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; karnat.1@yandex.ru

Natalya Yu. Karapuzova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Denis A. Kuzmenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation