

Анализ просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых грунтов Ростовской области и Республики Калмыкия

В.Н. Жур, А.П. Александров, А.С. Куликов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: По результатам инженерно-геологического обследования реальных объектов строительства на территории г. Ростова-на-Дону и Республики Калмыкия исследована динамика просадочных процессов на лабораторных образцах лессового грунта, испытанных на сжатие по схеме «одной кривой» согласно ГОСТ 23161–2012.

Ключевые слова: просадочность, компрессионное сжатие, одометр, лессовый грунт, просадочное давление, изыскания, геомеханика, механика грунтов.

Процесс замачивания лессовых пород, сопровождающийся последующим приращением деформации, при постоянном давлении описывается сложными физико-химическими процессами преобразования структуры скелета грунта. Накопление знаний в данной области позволит в скором времени провести анализ полученных данных и сформулировать концепцию развития применимости численных методов расчета, а также применение САПР для расчетов просадочных оснований. Замачивание может иметь локальный и площадной характер, различную длительность. Кратковременное локальное замачивание распространяется лишь на верхнюю часть просадочной толщи, а длительное площадное – на всю просадочную толщу [1].

Лёссовые покровы Северного Кавказа отличаются выраженным циклическим строением, обусловленное чередованием лёссовых горизонтов и ископаемых почв. Лёссовые горизонты отражают холодные и сухие ледниковые периоды плейстоцена, а ископаемые почвы - теплые и влажные межледниковья, к которым относится и современный голоцен, начавшийся 10 тысяч лет назад. [2]

Просадочный процесс и послепросадочное уплотнение 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 (просадка) и плавную постепенно затухающую послепросадочную стадию [3].

Исследованиями установлено, что длительное взаимодействие лессовых пород с водой в условиях капиллярного водонасыщения и длительной фильтрации изменяется солевой состав и степень засоления скелета грунта. Возникающие при этом послепросадочные деформации соизмеримы с величиной просадки, определяемой по ГОСТ 23161-2012 [4]

Таким образом, изучение динамики процесса просадки во времени с момента начала водонасыщения массива грунта позволит прогнозировать негативные последствия влияния неравномерных деформаций основания под подошвой фундаментов зданий и сооружений.

Наиболее точным методом определения характеристик просадочности является опытное замачивание грунта в котловане, с периодической регистрацией показателя деформации основания после замачивания при постоянном давлении.

Учитывая гранулометрический состав пород, установлено влияние размеров частиц на динамику просадочного процесса, которая может быть разной для различных видов глинистых грунтов. Это объясняется тем, что контакты между элементарными пылеватыми частицами менее прочны, чем между микроагрегатными. Следовательно, наиболее просадочными являются грунты с содержанием крупных частиц, а грунты с содержанием глинистых частиц более устойчивы к просадкам. [5]

Для легких суглинков методика ГОСТ 23161–2012 позволяет установить 85-90% просадочных деформаций. Для тяжелых же суглинков время стабилизации должно быть увеличено, так как в нормативное время реализуется только 70-80% деформаций. Это приводит к занижению

величины относительной просадочности и завышению начального просадочного давления. Следовательно, в ГОСТе время стабилизации следует устанавливать дифференцированно в зависимости от вида грунта [6].

Используя данные по результатам наблюдения за состоянием объектов жилищного строительства Ростовской области, установлена зависимость расположения аварийных многоквартирных жилых зданий в пределах зон залегания просадочных грунтов [7].

В лабораторных условиях определение характеристик просадочности регламентируется ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» и ГОСТ 23161–2012 «Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности». Использование метода «одной кривой» позволяет определить просадочность при заданном давлении, которое принимается равным значению суммарного давления от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии и от проектируемого фундамента, или только от веса грунта.

Для отслеживания динамики процесса просадки во времени при испытаниях в компрессионных приборах рассмотрены результаты сжатия десяти образцов под номерами КП-1, КП-2, КП-3, отобранных на объекте № 1; образцов КП-4 и КП-5, отобранных на объекте № 2; образец КП-6, отобранный на объекте № 3. Объекты № 1 – 3 расположены в пределах г. Ростова-на-Дону. Образцы КП-7, КП-8, КП-9, КП-10 отобраны на объекте № 4 в Республике Калмыкия.

Все образцы отобраны с сохранением природной влажности, структуры и плотности. Перед началом испытаний на сжатие для каждого образца определены физические характеристики по ГОСТ 5180–2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик». Согласно классификации, приведенной в ГОСТ 25100–2011 «Грунты.

Классификация», испытываемые образцы с объектов № 1 - 3 определены как тяжелые пылеватые суглинки с числом пластичности I_p в пределах от 12,5% до 15,7 %. Показатель текучести I_L находится в пределах от минус 0,25 до 0,25, что соответствует консистенции от твердой до полутвердой [8, 9]. Образцы с объекта № 4 относятся к тяжелый пылеватым суглинкам ($I_p = 12,2\%$) твердой консистенции ($I_L = -0,07$), при водонасыщении – мягкопластичные ($I_{L,sat} = 0,72$). Информация по каждому испытываемому образцу приведена в таблице 1.

Таблица № 1

Исходные данные для образцов при проведении испытаний

№ образца	№ объекта	Глубина отбора d , м	Удельный вес при природной влажности γ , кН/м ³	Коэффициент пористости e	Бытовое давление p_e , кПа	Заданное давление при замачивании p_z , кПа	Относительная просадочность ε_{sl} при заданном давлении p_z
КП-1	1	2,3	17,0	0,869	39,1	100	0,01
КП-2	1	2,3	17,0	0,869	39,1	200	0,02
КП-3	1	2,0	16,9	0,883	33,8	300	0,037
КП-4	2	2,0	19,0	0,709	38,0	100	0,038
КП-5	2	2,0	19,0	0,707	38,0	200	0,04
КП-6	3	2,35	17,7	0,806	41,6	100	0,01
КП-7	4	3,5	17,1	0,880	60	100	0,022
КП-8	4	3,5	16,9	0,845	59,2	100	0,019
КП-9	4	3,5	16,2	0,923	56,7	100	0,017
КП-10	4	3,5	17,1	0,880	60	200	0,020

При проведении испытаний скорость условной стабилизации деформации после приложения ступени нагружения принята 0,01 мм за 16 часов. Согласно методу «одной кривой» по ГОСТ 23161–2012 [8] каждый из образцов после условной стабилизации деформации при заданном давлении p_z , был подвергнут замачиванию путем подачи воды в поддон одометра снизу, тем самым имитируя восходящий поток влаги. Регистрация показаний датчика, измеряющего вертикальные перемещения штампа одометра на поверхности образца, осуществлялась через каждые 30 минут вплоть до стабилизации деформаций.

Бытовое давление для всех десяти образцов определено как вертикальное напряжение от собственного веса грунта:

$$p_e = \sigma_{zg} = d \cdot \gamma,$$

где d – глубина отобранного образца относительно поверхности планировки, м;

γ – удельный вес грунта, кН/м³.

Для удобства анализа полученных результатов измерений величина абсолютной деформации образца после стабилизации при заданном давлении принимается за нулевое значение. По полученным данным построены графики зависимости вертикальной деформации просадки от времени:

$$\Delta h = f(t),$$

где Δh – приращение вертикальной деформации, мм;

t – промежуток времени с момента начала замачивания образца, ч.

Графики испытаний приведены на рисунках 1 – 3.

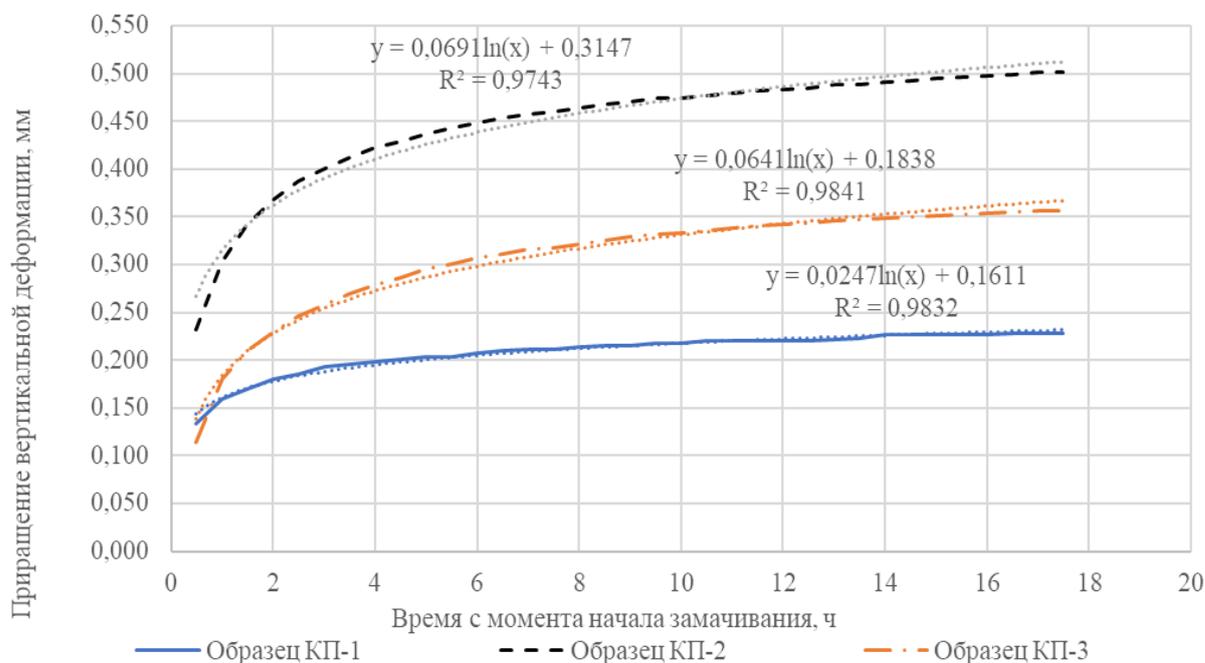


Рис. 1. – График зависимости $\Delta h = f(t)$ для образцов КП-1 – КП-3.

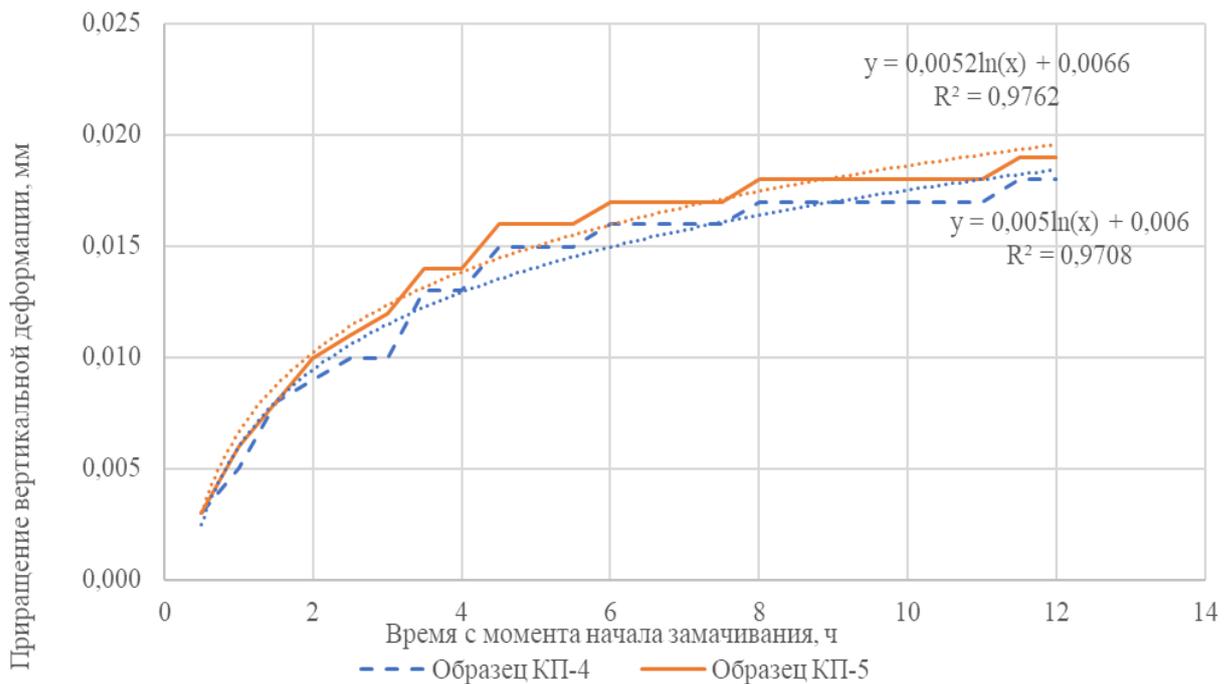


Рис. 2. – График зависимости $\Delta h = f(t)$ для образцов КП-4 – КП-5.

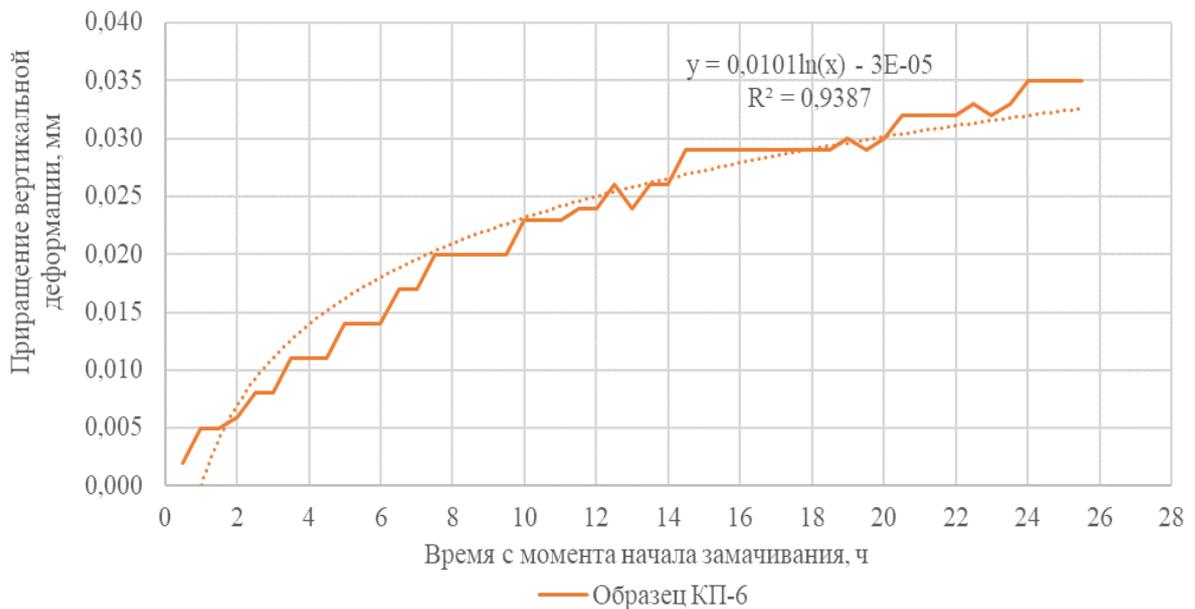


Рис. 3. – График зависимости $\Delta h = f(t)$ для образца КП-6.

Учитывая, что образцы подвергались замачиванию при заданных давлениях P_3 , превышающих бытовое давление от собственного веса грунта $p_e = \sigma_{zg}$, то развитие просадочных деформаций вполне ожидаемо. Следует рассмотреть аналогичные испытания идентичных образцов грунта, отобранных на различных глубинах одного инженерно-геологического

элемента, имеющих разное бытовое давление от собственного веса p_e , и произвести аналогичные испытания с замачиванием при давлениях P , равных 0,1 МПа, 0,2 МПа и 0,3 МПа с последующим построением графиков зависимости абсолютной деформации во времени [10].

Из полученных экспериментальных данных отмечено, что наиболее интенсивные просадочные деформации (до 80 %) развивались в первые 5 часов после начала водонасыщения образца.

Отдельно рассмотрены образцы лессового грунта, отобранные в Республике Калмыкия. Анализ графиков зависимости $\Delta h = f(t)$ показал результаты иные результаты (Рис. 4 – 5).

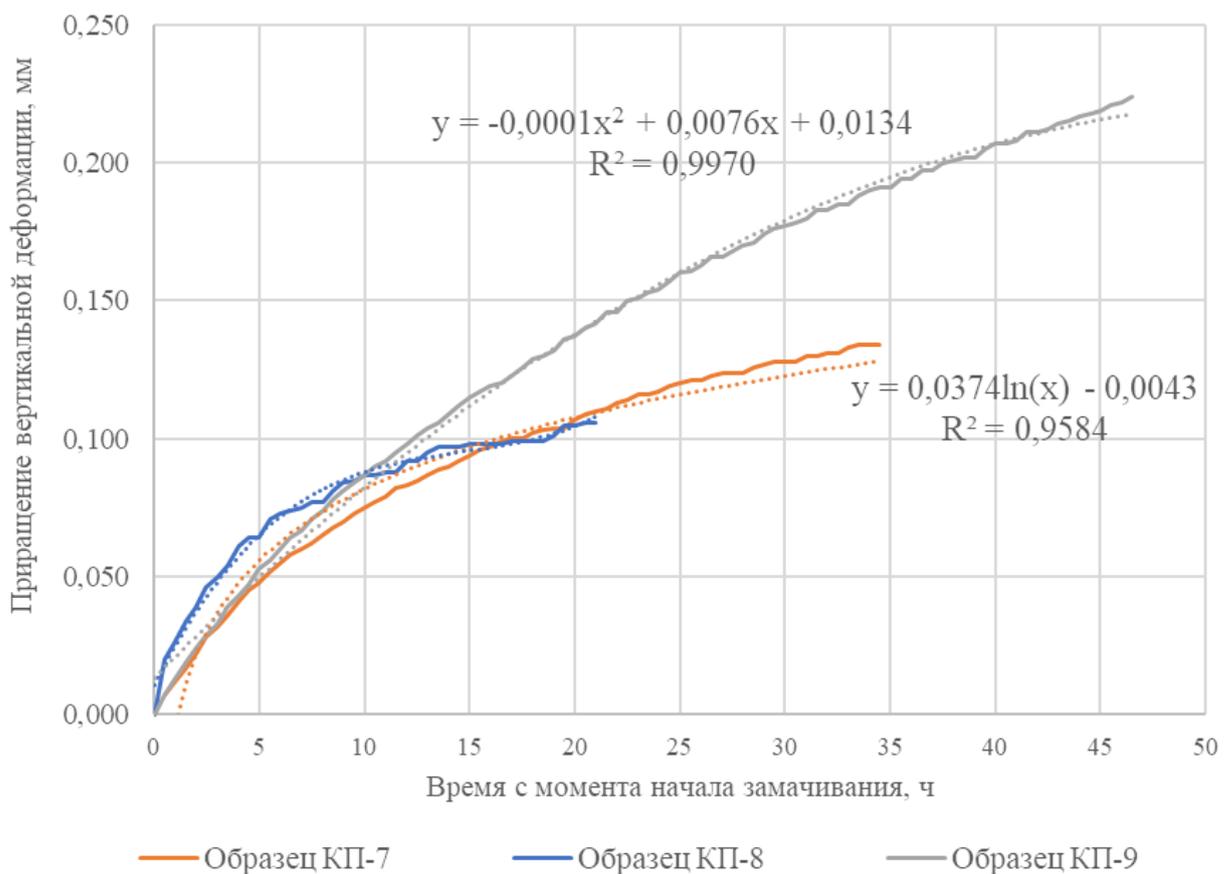


Рис. 4. – График зависимости $\Delta h = f(t)$ для образцов КП-7, КП-8, КП-9.

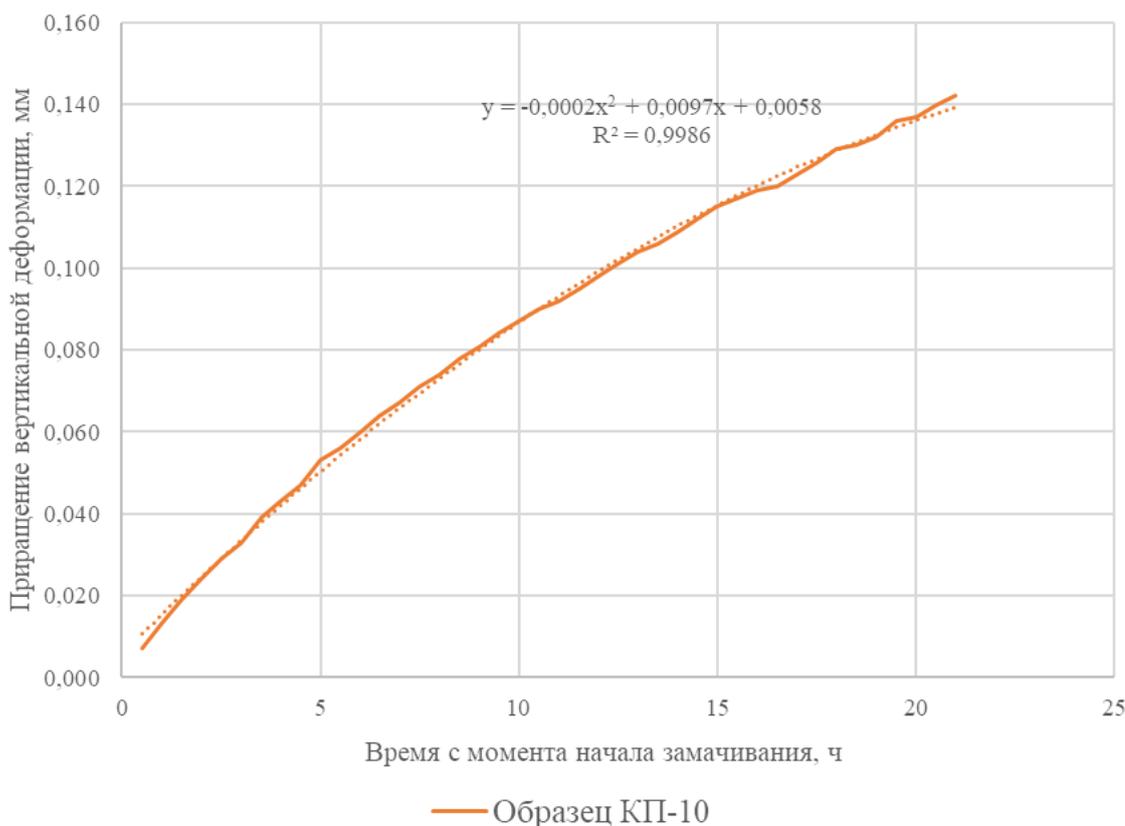


Рис. 5. – График зависимости $\Delta h = f(t)$ для образца КП-10.

На рис. 4-5 видно, что график деформации просадки практически идентичен графику стабилизации деформации при сжатии без водонасыщения.

Результаты испытаний показали, что протекание процесса просадки во времени различается для грунтов, отобранных в разных геоэкологических зонах. Это связано с особенностями строения скелета, гранулометрического и минералогического состава. Не менее важное влияние оказывают эрозионные процессы, вследствие воздействия ветра, атмосферных осадков, таяния ледников и других факторов происхождения лессовых грунтов на территории Юга России. Накопление данных о динамике просадочных процессов позволит оперативно оценивать уровень сложности инженерно-геологических условий, на основании которых назначается геотехническая категория объекта строительства.

Литература

1. Востриков Н.Г., Антошкина Е.В., Максимов Д.В. Геоэкологические последствия просадочно-суффозионных процессов // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1414.

2. Галай Б.Ф., Сербин В.В., Плахтюкова В.С., Галай О.Б. Лессовые грунты Северного Кавказа и Крыма (сравнительный анализ) // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 2. С. 97-108.

3. Богомоллов А.Н., Олянский Ю.И., Махова С.И., Осипова О.Н., Киселева О.В. Изменение состава и свойств Лессовых просадочных пород при замачивании и фильтрации воды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 26 (45). С. 16-25.

4. Олянский Ю.И., Богомоллов А.Н., Осипова О.Н., Тихонова Т.М., Киселева О.В. Опыт прогноза послепросадочного уплотнения по лабораторным испытаниям // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2012. Т. 4. С. 80-86.

5. Востриков Н.Г. Особенности инженерно-геологических изысканий в районах распространения просадочных грунтов // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 4 (47). С. 208-212.

6. Чмшкян А.В. Совершенствование методов расчета просадочных деформаций // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256

7. Жур В.Н., Прокопов А.Ю. Анализ аварийного многоквартирного жилого фонда шахтерских городов Восточного Донбасса // Инженерный вестник Дона, 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4412.

8. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don // MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. 02001.

International Science Conference SPbWOSCE-2017 «SMART City», URL: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001

9. Wang A., Ma L., Zhang D., Li K., Zhang Y., Yi X., Wang Z. Soil and water conservation in mining area based on ground surface subsidence control: Development of a high-water swelling material and its application in backfilling mining. // Environmental Earth Sciences. 2016. V. 75. № 9. p. 779.

10. Жур В.Н. Динамика просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых лессовых грунтов // В книге: Актуальные проблемы науки и техники. 2020. Материалы национальной научно-практической конференции. Отв. редактор Н.А. Шевченко. 2020. С. 610-613.

References

1. Vostrikov N.G., Antoshkina E.V., Maksimov D.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. No. 4-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1414

2. Galaj B.F., Serbin V.V., Plaxtyukova V.S., Galaj O.B. Nauka. Inovacii. Texnologii [Innovation. Technologies]. 2017. No. 2. pp. 97-108.

3. Bogomolov A.N., Olyanskij Yu.I., Maxova S.I., Osipova O.N., Kiseleva O.V. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arxitektura. 2012. No. 26 (45). pp. 16-25.

4. Olyanskij Yu.I., Bogomolov A.N., Osipova O.N., Tixonova T.M., Kiseleva O.V. Modernizaciya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse [Modernization and scientific research in the transport sector]. 2012. Vol. 4. P. 80-86.

5. Vostrikov N.G. Geology, geography, and global energy. 2012. No. 4 (47). pp. 208-212.

6. Chmshkyan A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256

7. Zhur V.N., Prokopov A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. No. 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4412.



8. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. 02001. International Science Conference SPbWOSCE-2017 «SMART City», URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001

9. Wang A., Ma L., Zhang D., Li K., Zhang Y., Yi X., Wang Z. Environmental Earth Sciences. 2016. V. 75. No. 9. p. 779.

10. Zhur V.N. Aktual'ny'e problemy` nauki i texniki. 2020. Materialy` nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. [Actual problems of science and technology. 2020. Materials of the national scientific and practical conference]. Editor N. A. Shevchenko. 2020. pp. 610-613.