

**К ВОПРОСУ ОБ УСЛОВИЯХ, ФАКТОРАХ И КРИТЕРИЯХ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РИСКА  
В ГРАНИЦАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

При прогнозе геодинамического риска территорий городов в зоне распространения лессовых отложений необходимо принимать во внимание изменения состояния, свойств всех компонентов геологической среды, в том числе – изменения свойств грунтов в зоне аэрации. Изменение микроагрегатного состава можно установить, проанализировав данные, собранные за достаточно длительный период времени. По результатам применения статистического анализа, метода группового учета аргументов (МГУА) возможно установить прогнозные значения показателей физико – механических свойств при разных сценариях. Предполагали, что время деградации просадки из-за распада агрегатов больше, чем время просадки при аварии. Первый сценарий деградации просадочных свойств описывали, задавая изменение плотности, пластичности и дисперсности при прогнозной влажности. Второй – как изменение физического состояния без изменения дисперсности. Показано, что при реализации первого сценария, при увеличении влажности на 30%, происходит значительная по величине просадка, значения прочности оказываются несколько выше. При аварийном замачивании снижается прочность. Результаты не противоречат известным данным об изменении свойств лессовых грунтов в других регионах.

**Ключевые слова:** лесс, микроагрегатный состав, прочность, прогноз, метод группового учета аргументов.

**Т. П. Мокрицька. ДО ПИТАННЯ ПРО УМОВИ, ЧИННИКИ ТА КРИТЕРІЇ ГЕОДИНАМІЧНОГО РИЗИКУ В МЕЖАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.** При прогнозі геодинамічного ризику на територіях міст в зоні поширення лесових відкладів необхідно брати до уваги зміни стану, властивостей всіх компонентів геологічного середовища, в тому числі - зміни властивостей ґрунтів в зоні аерації. Зміна мікроагрегатного складу можна встановити, проаналізувавши дані, зібрані за досить тривалий період часу. За результатами застосування статистичного аналізу, методу групового обліку аргументів (МГУА) можливо встановити прогнозні значення показників фізико - механічних властивостей при різних сценаріях. Припускали, що час деградації просадки через розпад агрегатів більше, ніж час просадки при аварії. Перший сценарій деградації ґрунтів описували, задаючи зміни щільності, пластичності і дисперсності при прогнозній вологості. Другий - як зміна фізичного стану без зміни дисперсності. Показано, що при реалізації першого сценарію, при збільшенні вологості на 30%, відбувається значна за величиною просадка, значення міцності виявляються вище. При аварійному замочуванні знижується міцність. Результати не суперечать відомим даним про зміни властивостей лесових ґрунтів в інших регіонах.

**Ключові слова:** лес, мікроагрегатний склад, міцність, прогноз, метод групового врахування аргументів.

**Постановка проблемы.** К основным факторам геодинамического риска территории Приднепровского промышленного региона относят просадочные, суффозионные явления, оползневые и эрозионные процессы [1]. Условиями возникновения риска являются сочетания особенностей структуры, свойств и состояния компонентов геологической среды сложных природно-техногенных систем локального уровня. Принято считать, что подземные воды, рельеф являются более динамичными компонентами геологической среды, чем горные породы [2]. В состав пород, подвергающихся техногенному воздействию в условиях региона, чаще входят плейстоценовые внеледниковые отложения, обладающие просадочностью. В результате изменения состояния грунтов по влажности, комплексных техногенных воздействий (электромагнитных, вибрационных, температурных) изменяется не только состояние, но и структура просадочных грунтов. Анализ влияния деградации просадочных свойств и структуры на прочностные и деформационные свойства важен. Анализ и прогноз связей между парагенетически взаимосвязанными инженерно-геологическими процессами необходим для прогноза интенсивности геодинамического риска на застроенных территориях. В данной работе приведены результаты анализа и прогноза различных вариантов реализации геодинамических опасностей - деформаций, изменения

устойчивости склонов как следствие изменения свойств грунтов на примере конкретного объекта.

**Анализ последних публикаций.** Изучение, региональных и зональных условий и факторов оползневых процессов все чаще выполняется по результатам дистанционного зондирования (Klose M. и др. (2017); F. Guzzetti and others (2012); K. Gaidzika and others (2017); Rosi, A. and others (2017)). Применение дистанционных методов позволяет выполнить общий анализ пораженности, выделить главные природные факторы, способствующие формированию оползневых явлений конкретного типа (Tom R. Robinson and others (2017); Shengwen Qi and others (2010); Tanyaş, H. and others (2017)). Изучение грунтов и геологической среды как особых природных объектов - фракталов является актуальным научным задачей современности, к решению которого причастны известные украинские научные школы (ИГТМ НАНУ, [10]). Теоретические и инженерные модели, применяемые для количественного прогноза деформаций просадки, не учитывают особенности поведения грунта как конкретного природного фрактала. Количество зарубежных публикаций, в которых изучается поведение лессовых грунтов с позиций теории фракталов стремительно увеличивается [11-13]. Вопросы совершенствования количественных прогнозов реакций грунтовой среды на механиче-

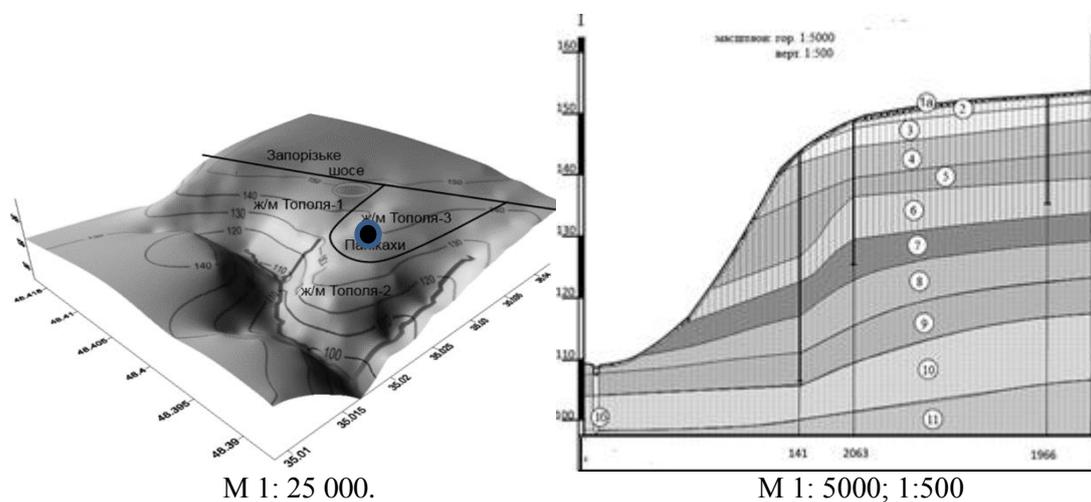
ские и гидродинамические воздействия, особенно в зонах развития оползневых явлений, является актуальным. Остроту проблеме в границах крупных городов придает истощение земельных ресурсов, в том числе, в связи с развитием опасных инженерно-геологических процессов.

**Нерешенные вопросы, которым посвящена публикация.** Обзор современной научной литературы показывает, что для решения научных и производственных задач в области управленческих проблем по оценке и прогнозу геодинамического риска необходим поиск методов, позволяющих связать изменение свойств, состава и структуры среды с вероятностью развития неблагоприятных или опасных процессов по нескольким сценариям.

**Цель настоящей работы** – показать возможности оценки последствий реализации неблагоприятных событий (деформаций просадки

грунтового основания типичного объекта и снижения устойчивости склона) посредством моделирования процесса деградации при изменении микроагрегатной структуры лессового грунта на примере условного объекта.

**Изложение основного материала исследований.** Территория г. Днипро расположена в границах фрагментов первично-морской неогеновой поверхности выравнивания, с абсолютными отметками до 160 м и выше, изрезанной крупными овражно-балочными эрозионными системами: Тоннельная, Встречная, Красноповстанческая, Монастырская, Сухой Яр. Длина балок достигает 5,0 км, глубина вреза достигает 40 м. Склоны эрозионных форм сложены просадочными лессовидными суглинками. Величины уклонов склонов балки Встречная местами составляют более 15 градусов.



● – участок расположения условного объекта – жилого дома.  
 1 – номер инженерно-геологического элемента.

Рис. 1. Схема расположения объекта и инженерно-геологический разрез склона эрозионной системы б. Встречная.

В геологическом разрезе исследуемой территории до изученной глубины 36.0 м от поверхности земли присутствуют эолово – делювиальные, элювиально – делювиальные отложения лессового комплекса, образующие восемь инженерно – геологических элементов. В подошве их залегают красно – бурые суглинки средне-нижнеплейстоценового возраста и пестрые неогеновые глины (инженерно – геологические элементы 10-11). Суглинки лессовые причерноморского, бугского, удайского и днепровского горизонтов (2, 4, 5, 6 элементы) характеризуются значительной просадочностью. Они разделены палеопочвенными горизонтами с существенно большим содержанием глинистых частиц и меньшей просадочностью. На территории микрорайонов "Тополь-1,2" уровень водоносного горизонта в эолово-делювиальных отложениях на

период изысканий был зафиксирован на глубинах от 14.0 м (плато и его склоны) до 0.5-4.5 м (склоны и дно балки). Максимальное положение уровня подземных вод приходится на апрель-май, минимальное - на октябрь-ноябрь, амплитуда сезонных колебаний составляет 0.6-1.0 м. По результатам выполненного прогноза, при средней величине инфильтрационного питания 0,00595 м/сут, вероятно повышение уровня грунтовых вод на 1.55 м за 10 лет.

Применение статистического анализа к материалам многолетних инженерно-геологических изысканий, выполненных на территории микрорайонов (1964 – 2012 гг.) показало, что значения прочностных, деформационных и физических свойств горизонтов, содержания отдельных фракций, выборочно коррелируют. Выполнен расчет прогнозных значений показателей физи-

ческих свойств при заданных значениях естественной влажности. Полагали, что значения влажности могут изменяться на 30% и 60% от возможного приращения. Величина теоретически возможного приращения определялась как разность значений природной влажности и

влажности полного водонасыщения. Прогнозные значения показателей физико-механических свойств (рис. 2), необходимые для оценки деформируемости основания и устойчивости склона, получены методом МГУА.

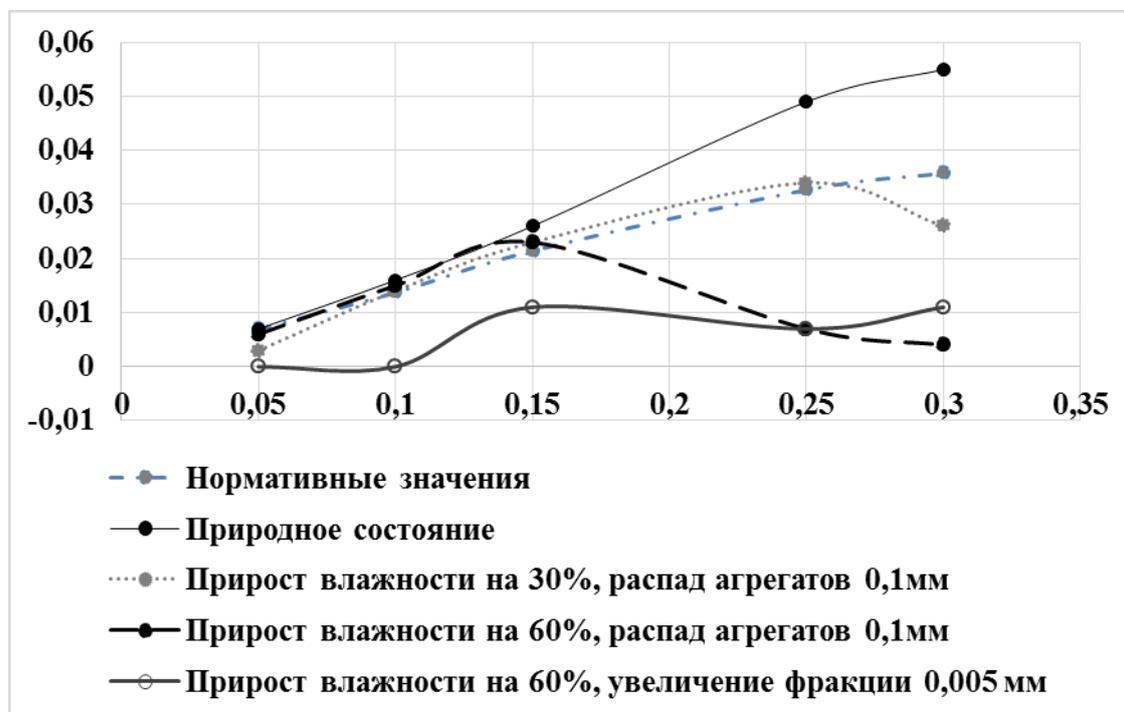


Рис. 2. Нормативные и прогнозные значения относительной просадочности лессовых горизонтов при различных сценариях изменений (природное состояние; изменение состояния по влажности и дисперсности).

Примечания к рис. 2:

1. По оси абсцисс указаны значения нормального давления, Мпа. По оси ординат указаны прогнозные значения относительной просадочности массива лессовых грунтов.
2. Нормативные значения приведены как средние, рассчитанные по результатам стандартных испытаний на просадочность.
3. Прогнозные значения получены для состояния по влажности, равной природной, при повышении на 30 % и 60% от возможного интервала.

По результатам индуктивного моделирования (МГУА), в соответствии с описанными выше сценариями, был выполнен прогноз параметров прочности. Оказалось, что величина удельного сцепления бугского лессового горизонта при умеренном повышении влажности по второму сценарию, когда длительность увлажнения мала по сравнению со временем деградации микроагрегатов, стремительно падает. В том случае, если реализуется первый сценарий, сцепление возрастает и незначительно изменяется угол внутреннего трения. Результаты были использованы в расчетах суммарных деформаций грунтового основания и расчетах устойчивости. Расчеты показали, что значения осадки мало изменяются при различных вариантах прогноза. Величины просадки в основании жилого дома в объеме активной зоны максимальны в случае умеренного по-

вышения влажности, которое сопровождается увеличением содержания частиц размером 0.005 мм.

При расчетах устойчивости уменьшение значений коэффициента в наибольшей степени произошло в условиях, моделирующих аварийное замачивание. Задавались прогнозные значения влажности и плотности грунта, другие показатели физических свойств, содержания тонких фракций не изменяли. Прогнозное значение удельного сцепления оказалось равным нулю. Прогнозное значение коэффициента устойчивости склона уменьшилось в 2,4 раза по сравнению с нормативными оценками коэффициента. Тем не менее состояние склона, без учета дополнительных нагрузок, вне зон влияния сооружений, будет далеким от предельного.

**Выводы:**

- применение МГУА к прогнозу показателей свойств грунтов позволяет количественно, на этапе проектирования, оценить деформации оснований, сопровождающиеся изменением микроагрегатного состава;

- при длительном повышении влажности лессовой толщи, при распаде микроагрегатов (первый сценарий), вероятно уплотнение грунта, рост значений удельного сцепления и незначительное снижение величин угла внутреннего трения;

- в результате аварийного увлажнения из-за утечек из водных коммуникаций, неупорядоченного экстремального поступления атмосферных осадков возможна резкая потеря прочности лессовых золово-делювиальных отложений;

- величина осадки меньше изменяется при различных вариантах изменения состояния грунта по сравнению с просадкой, что подчеркивает необходимость учета особого поведения лессовых просадочных грунтов при проектировании.

**Література**

1. Мокрицкая, Т. П. Формирование и эволюция геологической среды Приднепровского промышленного региона [Текст] / Т. П. Мокрицкая. — Д. : Акцент ПП, 2013. — 274 с.
2. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності [Текст] / Л. М. Климчук, П. В. Блинов, В. Ф. Величко та ін. ; під заг. ред. Л. М. Климчук. — К. : ВПЦ «Експрес», 2008. — 191 с.
3. Klose, M. Landslide Hazards and Climate Change Adaptation of Transport Infrastructures in Germany. [Text] / M. Auerbach, C. Herrmann, C. Kumerics, A. Gratzki // *Advancing Culture of Living with Landslides*. — 2017. — Vol. 1. — P. 535-541.
4. Guzzetti, F. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. [Text] / A. C. Mondini, M. Cardinali, F. Fiorucci, M. Santangelo, Kang-Tsung Chang // *Earth-Science Reviews*. — 2012. — Vol. 112, Issues 1–2. — Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>
5. Gaidzika, K. Landslide manual and automated inventories, and susceptibility mapping using LIDAR in the forested mountains of Guerrero, Mexico. [Text] / M. T. Ramirez-Herrera, M. Bunn, B. A. Leshchinsky, M. Olsenb and N. R. Regmi // *Geomatics, natural hazards and risk*. — 2012. — Vol. 1. — P. 1-26. — Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2017.1292560>
6. Rosi, A. The new landslide inventory of Tuscany (Italy) updated with PS-InSAR: geomorphological features and landslide distribution. [Text] / V. Tofani, L. Tanteri, et al. // *Landslides*. — 2017. — P. 1-15. — Режим доступа : <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0861-4>
7. Robinson, T. R. Rapid post-earthquake modelling of coseismic landslide intensity and distribution for emergency response decision support [Text] / N. J. Rosser, A. L. Densmore, J. G. Williams, M. E. Kincey, J. Benjamin, H. J. A. Bell // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* — 2017. — Vol. 17. — P. 1521–1540. — Режим доступа : <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1521-2017>
8. Qi, S. Spatial distribution analysis of landslides triggered by 2008.5.12 Wenchuan Earthquake, China [Text] / Q. Xu, H. Lan, B. Zhang, J. Liu // *Engineering Geology*. — 2010. — Vol. 116, Issues 1. — P. 95-108. — Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.07.011>
9. Tanyaş, H. Presentation and analysis of a worldwide database of earthquake-induced landslide inventories [Text] / C. J. Westen, K. E. Allstadt, A. J. Nowicki, M. Görüm, R. W. Jibson, N. Hovius // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. — 2017. — Vol. 22, Issue 10. — P. 1991–2015. — Режим доступа : <https://doi.org/10.1002/2017JF004236>
10. Булат, А.Ф. Фракталы в геомеханике / А.Ф. Булат, В.И. Дырда. — К. : Наукова думка, 2005. — 357 с.
11. Russell, A. R. A fractal basis for soil–water characteristics curves with hydraulic hysteresis [Text] / O. Buzzì // *Geotechnique*. — 2012. — Vol. 62, Issue 3. — P. 269–274.
12. Russell, A. R. A compression line for soils with evolving particle and pore size distributions due to particle crushing [Text] / A. R. Russell // *Geotechnique Letters*. — 2011. — Vol. 1. — P. 5–9.
13. Mokritskaya, T. P. On the Fractal Characteristics of Loess Subsidence [Text] / A. V. Tushev, E. V. Nikulchev, K. A. Samoylich // *Contemporary Engineering Sciences*. — 2016 — Vol. 9, Issue 17. — P. 799-807.