

УДК 624.131 (477.65): 004.9

**В. М. Вовк**, канд. геол.-мин. наук, доцент  
кафедра географии и геоэкологии  
Кировоградский государственный педагогический университет  
имени Владимира Винниченка  
ул. Шевченка, 1, Кировоград, 25006

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ БАЗА ДАННЫХ «ЛЕССОВАЯ ТОЛЩА КИРОВОГРАДСКИНЫ» КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА ПРОСАДОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Создано пространственную базу данных лессовой толщи территории Кировоградской области (Центральная Украина) с использованием геоинформационных технологий и методов геостатистического анализа, дающая возможность изучить региональные закономерности распределения показателей мощности, физических свойств, а также прогнозировать проявления просадочных процессов. Установлены пространственно-временные взаимосвязи между недоуплотненностью лессовых пород и физико-географическими условиями их формирования и последующего преобразования.

**Ключевые слова:** пространственная база данных, лессовые породы, просадочные процессы.

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей инженерной геодинамики является разработка методов управления инженерно-геологическими процессами с целью защиты территорий и сооружений от их негативного воздействия. Техногенные факторы активизируют и трансформируют природные геологические процессы, поэтому в условиях активного антропогенного влияния практически все процессы в приповерхностной зоне литосферы необходимо рассматривать как инженерно-геологические.

В условиях Центральной Украины на территории Кировоградской области средой формирования инженерно-геологических процессов является толща лессовых пород. Это субэзральное образование преимущественно золово-делювиального генезиса, которое характеризуется покровным залеганием, ритмичным строением, небольшими мощностями (3-5 м до 10 м, изредка до 15 м), пылеватым составом, значительной карбонатной засоленностью, наличием открытых пор, а также недоуплотненным состоянием.

С литоэкологической точки зрения [7,8] лессовые породы рассматриваются как очень чувствительные к факторам внешней среды образования. Вследствие особенностей формирования в субэзральных условиях степной и полупустынной природных зон, эти породы приобрели ряд специфических черт, среди которых значительная чувствительность к изменению внешней среды, прежде всего влажности. Быстрое изменение влажностного режима приводит к активному проявлению геологических процессов, среди которых наиболее распространены эрозионные, суффозионные, просадочные. Известны многочисленные факты аварийных ситуаций вследствие проявления суффозионно-просадочных процессов в Кировограде, Новоукраинке, Долинской, Александрии.

Несмотря на активное изучение лессовых толщ изыскательскими организациями с инженерно-геологических позиций как оснований сооружений, в региональном плане на территории Кировоградской области они изучены недостаточно.

**Целью** данного исследования является создание пространственной базы данных, которая рассматривается как инструмент систематизации многочисленных результатов инженерно-геологических изысканий, а также установления закономерностей изменчивости свойств лессовых пород и прогноза проявления просадочных процессов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении лессовой толщи территории области было собрано значительное количество пространственно-распределенных данных. Результаты исследований содержат информацию о положении в пространстве, палеогеографических условиях формирования, мощностях отдельных горизонтов, составе, состоянии и свойствах. С целью ее систематизации и эффективного анализа были использованы геоинформационные технологии, которые дали возможность создать пространственную базу данных. Последняя предназначена не только для хранения данных, но и имеет черты интерактивности.

В процессе проектирования структуры геоинформационной базы данных учитывались особенности получения информации в полевых, лабораторных и камеральных условиях. Количественные показатели свойств лессовых грунтов структурировались также с учетом пространственно-временных взаимосвязей условий их формирования.

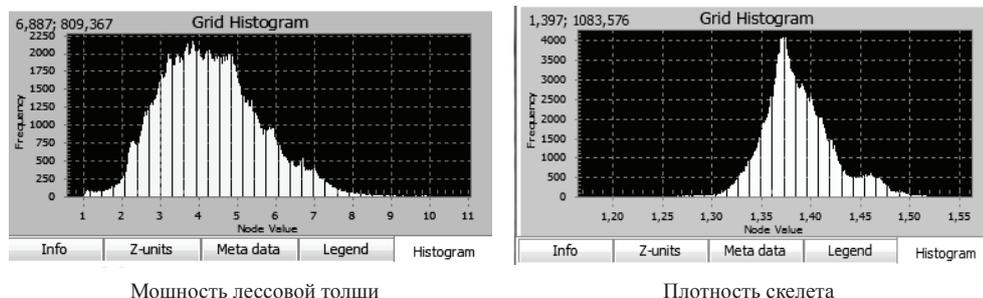
Методы построения непрерывных поверхностей на основе дискретных (точечных) массивов пространственно-координированных данных основываются на процедуре интерполяции. При этом используются как стохастические, так и детерминистические подходы [2,17].

Чаще всего под интерполяцией понимают вычисление промежуточных значений анализируемого показателя по известным его значениям. Для создания интерполированной карты как минимум необходим набор точек с данными о их пространственном положении (координаты  $x$ ,  $y$ ) и количественное значение параметра ( $z$ ) в этих точках. В данном исследовании речь идет о показателях лессовой толщи. Как правило, пространственная сеть исходных точек имеет нерегулярный характер, незначительно различаясь по плотности.

Главной целью пространственной интерполяции является построение на основе сетки исходных точек сплошной поверхности с заданным шагом сетки рассчитываемых узлов. Размер шага выбирается в зависимости от необходимой пространственной точности. Для каждого узла производится расчет значений параметра. Чаще всего процедура интерполяции выполняется в области прямоугольной формы – раstra [15, 17, 19].

Модули геостатистического моделирования чаще всего включаются в состав инструментальных ГИС с развитыми аналитическими возможностями. Они позволяют исследовать структуру дискретных наборов пространственно-координированных данных, осуществлять построения на их основе непрерывных поверхностей и проводить оценку (прогноз) значений переменной в точках (ячейках раstra), в которых она не определялась, а также оценивать точность (или погрешность) этого построения с использованием статистических методов.

В данном исследовании для создания пространственной базы данных использовались функции ГИС MapInfo Professional v11.5. Геостатистическое моделирование реализовано при помощи модуля Vertical Mapper v3.1.



Мощность лессовой толщи

Плотность скелета

Рис. 1. Статистическое распределение значений исследуемых показателей

С учетом количества точечных данных каждого параметра (около 300), характера их пространственного размещения (равномерное распространения в пределах территории), ожидаемой точности геостатистического моделирования и соответствия наборов данных нормальному закону распределения (рис. 1), был использован локально-стохастический метод интерполяции – *точечный кригинг* с линейной вариограммой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Каждый точечный объект в базе данных был охарактеризован показателями расположения, мощности, свойств, а также подстилающими породами (рис. 2).

В результате интерполяции для каждого показателя получено непрерывные растровые поверхности распределения с разделительной способностью 1000 x 340 узлов интерполированной сетки.

Созданные интерполированные карты отражают непрерывное распределение количественных показателей (мощности, плотности, пористости) в пределах территории исследования и дают возможности оценить их изменчивость. Визуализация проведена в виде цветовой гаммы.

При анализе полученных результатов использовался литоэкологический подход [7,8,9], при котором лессовые толщи могут формироваться и существовать лишь в определенных условиях окружающей среды. При этом их главные отличительные особенности – недоуплотненность и способность к просадочным деформациям необходимо анализировать в связи не только с современными физико-географическими условиями, но и с учетом палеогеографических особенностей территории.

Большая часть разрезов инженерно-геологических скважин на анализируемых объектах свидетельствует о наличии двух лессовых горизонтов. Залегающие ниже породы не имеют достаточной недоуплотненности для проявления просадочных деформаций. На значительной площади второй лессовый горизонт залегает непосредственно на красно-бурых глинах и породах кристаллической основы. На основании данных о составе, структуре и свойствах можно сделать вывод о верх-

Number	x	y	RusName	District	Les	Skeleton	e	Poroda
1	32,10512	47,82308	Костомаровка	Бобринецький район	3,4	1,37	0,4907	0,9635 красно-бурые глины
2	32,16135	47,78944	Весёловка	Бобринецький район	1,5	1,43	0,4684	0,8811 гранит
3	32,18458	47,84605	Новониколаевка	Бобринецький район	2,6	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
4	32,12961	47,91277	Кетрисановка	Бобринецький район	1,5	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
7	32,23957	48,04699	Алексеевка	Бобринецький район	5,4	1,38	0,4870	0,9493 красно-бурые глины
8	32,19624	48,05195	Бобринец	Бобринецький район	5,6	1,38	0,4870	0,9493 красно-бурые глины
9	32,14094	48,07789	Коржево	Бобринецький район	4,1	1,32	0,5093	1,0379 красно-бурые глины
10	32,03101	48,11479	Червоная долина	Бобринецький район	3	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
11	32,05896	48,00593	Чаривное	Бобринецький район	2,3	1,37	0,4907	0,9635 красно-бурые глины
12	32,12119	47,98732	Тарасовка	Бобринецький район	5,2	1,39	0,4833	0,9353 красно-бурые глины
13	31,91807	47,81165	Буховецкое	Бобринецький район	3,9	1,39	0,4833	0,9353 красно-бурые глины
14	31,95904	47,85707	Владимиро-Ильинка	Бобринецький район	2,5	1,4	0,4796	0,9214 красно-бурые глины
15	31,98482	47,98376	Бобринка	Бобринецький район	3,8	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
16	31,90721	47,94312	Николо-Бабанка	Бобринецький район	1,9	1,41	0,4758	0,9078 красно-бурые глины
17	31,81823	47,96649	Федоровка	Бобринецький район	5,3	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
18	31,7613	48,03075	Федиевка	Бобринецький район	4,6	1,36	0,4944	0,9779 красно-бурые глины
22	32,38232	48,25179	Петровка	Компаниевский район	4	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины
23	32,18687	48,1789	Полтавка	Компаниевский район	5,8	1,42	0,4721	0,8944 красно-бурые глины

Рис. 2. Фрагмент атрибутивной информации пространственной базы данных лессовой толщи

неплейстоценовом візрасі лессової товщі території. При цьому в поняття «лессова товща» ми вкладаємо наявність недоуплотненості і просадочності.

По-видимому, в палеогеографічних умовах днепровського часу [4, 5] більш древні лессові утворення були снесені з території або деградировані до стану лессовидних порід. Не мають значущої потужності і значущим просадочним потенціалом і товщи, утворені в умовах витачевського, удайського, прилуцького, тясминського і кайдацького палеогеографічних етапів (по схемі М.Ф. Веклича [5]). Найбільшою недоуплотненістю характеризуються лессові породи бугського і причорноморського візрасу. Іменно ці горизонти виділяються як головні «лессових» інженерно-геологічних елементів. Вони ж і склали основну частину виділеної нами лессової товщі.

Потужність просадочної товщі (рис. 3) порівняльно невелика. Середні значення (рис. 1) складають 3-5 м. Закономерне збільшення потужностей зафіксовано в напрямленні центральних частин водорозділів рек Дніпр-Ингулець, Ингулець-Ингуль, Синюха-Ингуль-Тясмин, де значення показателя на окремих ділянках досягає 8-10 м.

Значущий інтерес представляють результати просторового аналізу пористості лессів (рис. 4) в зв'язі з тим, що цей показник тісно зв'язаний з недоуплотненістю і характеризує здатність породи до просадочних деформацій. Максимальні значення пористості (50-56%) тяготеють до водорозділним ділянкам, мінімальні (42-44%) – до річковим долинам. Також існує тісна взаємозв'язок пористості з висотними відмітками рельєфу – з збільшенням висоти поверхності пористість порід зростає. Найбільшими значеннями характеризується центральна, найбільш піднята частина території.

Конфігурація полігонів розподілу показників потужностей і пористості в основному повторює конфігурацію водорозділів, і в багатьох зв'язана з напрямленнями стоку атмосферних опадів. Останнє свідчить про значущу роль водорозділних просторів, як територій формування і послідовного збереження недоуплотнених і просадочних лессів, а також про істотний вплив делювіальних і ерозійних процесів на лесоутворення.

Аналіз просадочності лессової товщі території дозволяє зробити попередній висновок про істотну змінюваність цього показника. Просадочні процеси при природному тиску в товщах лессових порід можуть відбуватися тільки на окремих ділянках водорозділних просторів. На решт території товщі мають перший тип ґрунтових умов по просадочності. Значущою просадочністю при додаткових навантаженнях характеризуються товщі з потужним горизонтом бугського лесса. Вони також тяготеють до водорозділам. Сумарна просадка поверхності при додаткових навантаженнях  $P=0,3$  МПа може перевищувати 50 см. Більш детальний просторовий аналіз прогнозу розвитку просадочних процесів може бути предметом подальших досліджень.

## ВИВОДИ

Сучасні методи геоінформаційних технологій дозволяють ефективно вирішувати складні задачі обобщення результатів інженерно-геологічних досліджень, збереження і систематизації даних в формі просторових баз даних.

На території Центральної України в межах Кіровоградської області значущий інтерес представляє лессова товща, як середовище формування біль-

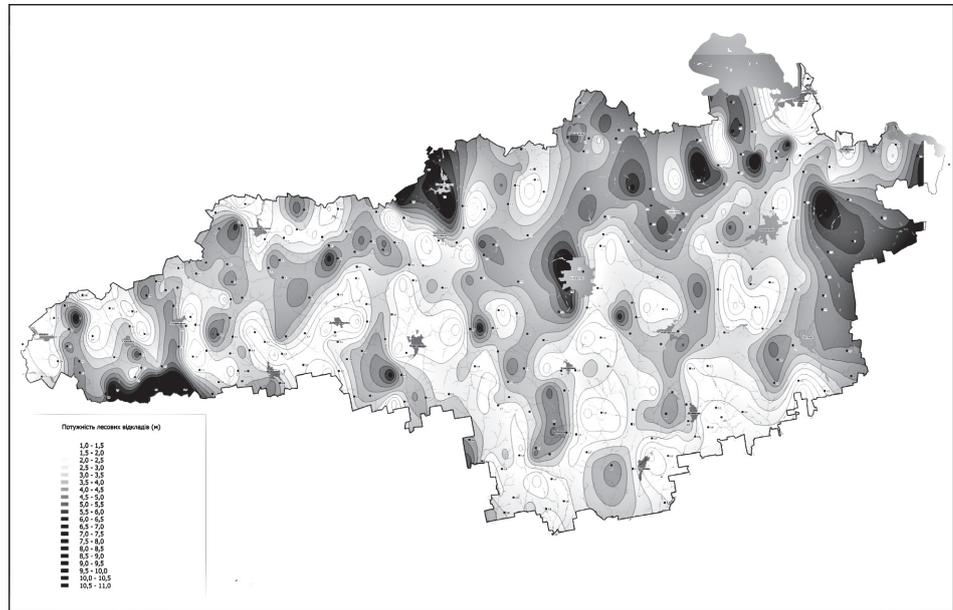


Рис. 3. Пространственное распределение мощности лессовой толщи территории Кировоградской области

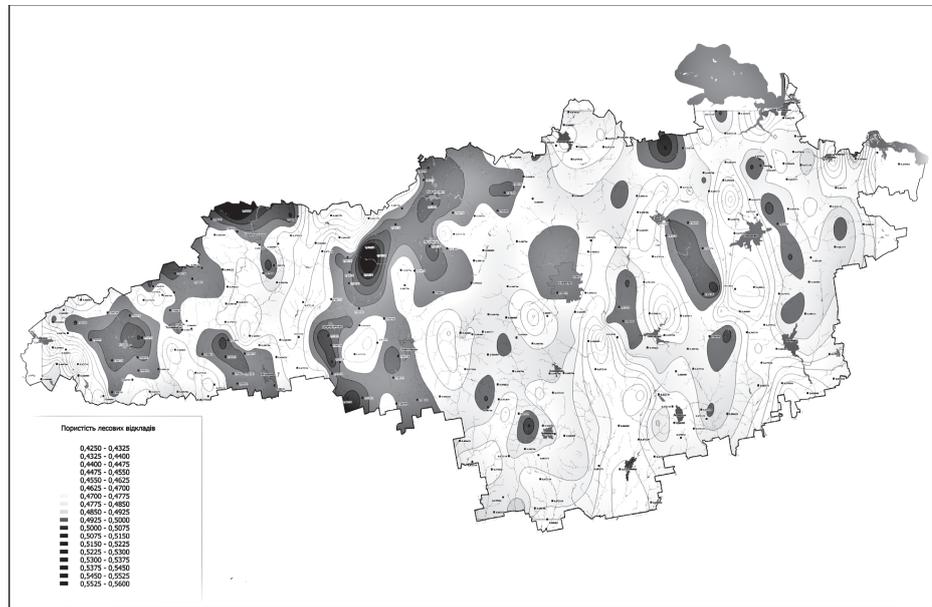


Рис. 4. Пространственное распределение пористости лессовой толщи территории Кировоградской области

шинства инженерно-геологических процессов, среди которых особого внимания заслуживают процессы просадки.

С использованием программного ГИС-продукта MapInfo Professional v11.5 создана пространственная базы данных «Лессовая толща Кировоградщины», которая позволяет решать различные теоретические и прикладные задачи.

Методами интерполяции созданы цифровые модели пространственного распределения показателей мощности, плотности, пористости. Установлены закономерные увеличения показателей недоуплотненности и мощности просадочной толщи в направлении водоразделов. Выявлены причинно-следственные связи между состоянием и свойствами лессовых пород и палеогеографическими условиями территории. Дана предварительная прогнозная оценка просадочности с учетом полученных результатов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенные отложения Украины / [Шелкопляс В.Н., Гожик П.Ф., Христофорова Т. Ф. и др.] – Киев: Наукова думка, 1986. – 152 с.
2. Бондарик Г.К. Математические методы в региональной инженерной геологии// Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Г.К. Бондарик – М.: Недра, 1986. – 254 с.
3. Быкова В. С. Карты прогноза просадочности лессовых пород и их значение для строительства / В.С. Быкова // Проблемы инженерной геологии: Сб. научн. трудов. – М.: Наука, 1991. – С. 126-131.
4. Веклич М. Ф. Опорные геологические разрезы антропогена Украины. Часть II. / М.Ф. Веклич, Н.А. Сиренко, В.А. Дубняк и др. – Киев: Наукова думка, 1969. – 174 с.
5. Веклич М. Ф. Палеозападность и стратотипы почвенных формаций верхнего кайнозоя / М.Ф. Веклич – Киев: Наук. думка, 1982. – 208 с.
6. Краев В. Ф. Инженерно-геологическая характеристика лессовой формации Украины / В.Ф. Краев. – Киев: Наукова думка, 1971. – 228 с.
7. Кригер Н. И. Закономерности формирования просадочных свойств лессовых пород Средней Азии и Южного Казахстана / Н.И. Кригер, Н.Е. Котельникова, С.И. Лаврусевич, С.И. Севостьянов. – М.: Наука, 1981. – 132 с.
8. Кригер Н.И. Лесс, его свойства и связь с географической средой / Н.И. Кригер. – М.: Наука, 1965. – 296 с.
9. Кригер Н. И. Принцип Денисова и его значение для понимания проблемы лесса / Н.И. Кригер // Материалы республиканского совещания по инженерной геологии. – Кишинев: Штиинца, 1969. – С. 194-197.
10. Лессовые породы СССР: В двух томах. Том I. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / Под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.И. Коммисаровой. – М.: Недра, 1986. – 232 с.
11. Лессовые породы СССР: В двух томах. Том II. Региональные особенности / Под ред. Е.М. Сергеева, В.С. Быковой, Н.И. Коммисаровой. – М.: Недра, 1986. – 276 с.
12. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики /Ж. Матерон. – М.: Мир, 1968. – 408 с.
13. Національний Атлас України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
14. Олянский Ю. И. Инженерно-геологическая оценка лессовых пород территории Молдовы / Ю.И. Олянский, О.П. Богдевич, В.М. Вовк // Геоэкология: инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 1994, №1. – М.: Наука. С. 65-75.
15. Основы геоинформатики / [Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 352 с.
16. Саенко Т. С. Влияние техногенеза на инженерно-геологические процессы в лессовых породах территории Украины / Т.С. Саенко, Л.Г. Сергеева // Инженерная геология лессовых пород. Кн. 1. – М. 1989. – С. 47-48.
17. Світличний О. О. Основы геоинформатики / О.О. Світличний, С.В. Плотницький. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.

18. *Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы* / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
19. *Филатов Н. Н. Географические информационные системы. Применение ГИС при изучении окружающей среды* / Н.Н. Филатов. – Петрозаводск: Изд-во КГПУ, 1997. – 104 с.

Статья поступила в редакцию 26.06.2013

**В. М. Вовк**

кафедра географії та геоecології  
Кіровоградський державний педагогічний університет  
імені Володимира Винниченка  
вул. Шевченка, 1, Кіровоград, 25006 Україна

**ПРОСТОРОВА БАЗА ДАНИХ  
«ЛЕСОВА ТОВЩА КІРОВОГРАДЩИНИ» ЯК ОСНОВА ПРОГНОЗУ  
ПРОЦЕСІВ ПРОСАДКИ**

**Резюме**

Створено просторову базу даних лесової товщі території Кіровоградської області із застосуванням геоінформаційних технологій та методів геостатистичного аналізу, яка дає можливість вивчити регіональні закономірності розподілу показників потужності, фізичних властивостей, а також прогнозувати прояв процесів просадки. Установлено просторово-часові взаємозв'язки між недоуцільненістю лесових порід і фізико-географічними умовами їх формування та наступного перетворення.

**Ключові слова:** просторова база даних, лесові породи, процеси просадки.

**V. M. Vovk**

PhD geology, associate professor  
Department of Geography and geoecology,  
Kirovohrad Volodymyr Vynnychenko State  
Pedagogical University

**THE SPATIAL DATABASE «LOESS THICKNESS OF KIROVOHRAD  
REGION SOILS» AS THE BASIS FOR PROGNOSTICATING THEIR  
DRAWDOWN PROCESSES**

**Summary**

The article offers a spatial database of the thickness of the Kirovohrad region loess soils (Central Ukraine) completed with the instruments of geo-information technologies and the methods of geo-statistical analysis. Its findings allow studying the regional regularities of the distribution of rocks thickness and their physical properties as well as prognosticating the drawdown processes. The author has also revealed time-spatial relations between incomplete denseness of loess soils and physico-geographical conditions of their formation and further transformations.

**Key words:** spatial database, loess soils, drawdown processes.