

О ХАОТИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ТЕХНОГЕНЕЗЕ

Т. П. Мокрицкая

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

Поступила в редакцию 16 марта 2013 г.

Аннотация. На примере исследования значительного объема фактических данных о свойствах грунтов перигляциальной формации и их изменении в процессе функционирования природно-техногенной системы регионального уровня (1956–2007 гг.) выполнено построение аналога фазового портрета динамической системы. Введены понятия «емкость системы» и «параметр емкости», имеющие смысл координат траектории процесса деградации просадочных свойств. Установлено соответствие формы траектории и этапности строительной деятельности. Высказано предположение о форме аттрактора, доказана хаотичность процесса деградации просадочности.

Ключевые слова: просадочность, деградация, фазовый портрет.

Abstract. It has been built the phase portrait of the dynamic system on the example a significant volume of evidence on the properties of soils per glacial formations and its change in the functioning of natural and man-made system at the regional level (from 1956–2007). It were introduced the concept of “system capacity” and “setting capacity”, which represent the coordinates of the trajectory of degradation sagging properties. Forms trajectory and phasing of construction are correspondence. It is suggested about the form of the attractor, proved chaotic degradation subsidence.

Key words: subsidence, degradation, phase portrait

Введение

Особое поведение перигляциальной формации при техногенных воздействиях является объектом изучения с 30-х годов XX века. Современные представления о сущности и факторах просадочных деформаций разработаны Абелевым Ю.М., Ларионовым А.К., Денисовым Н.Я., Трофимовым В.Т. и др. Существующие методы прогноза просадочных деформаций основаны на результатах физического моделирования в лабораторных и натуральных условиях. Используется представление о развитии просадки как деформации линейно-деформируемой среды, в результате совместного действия давления и влажности, больших пороговых значений [1]. Верификация прогнозов фактическими данными о просадочных деформациях в реальных условиях выполняется редко. Закономерности развития просадочных деформаций во времени, в результате изменения инженерно-геологических условий, в условиях урбанизированных территорий с высокой интенсивностью техногенных воздействий плохо изучены.

Настоящее исследование выполнено по материалам инженерно-геологических исследований, выполненных в период 1956–2007 гг. на территории

г. Днепропетровска (Украина). Привлечены материалы инженерно-геологических съемок ГП «Укрюжгеология» (1931, 1962, 1981–1996 гг.); материалы ГП «ДнепроГИИНТИЗ» (1964–2007 гг.), ОАО «ДнепроГипротранс» (1956–2004 гг.), ОАО «Днепропетровский филиал Укргипродор», НИИ геологии ДНУ. Материалы переданы автору для научной обработки, результаты исследования принадлежат автору и указанным организациям. Общее количество проб, использованных в работе, составило 3171 (рис. 1 а).

Методика исследования

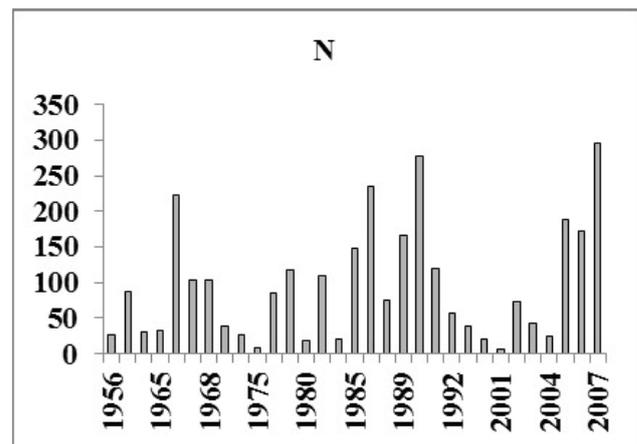
Изучена деградация просадочных свойств формации как инженерно-геологический процесс, развивающийся под действием комплексных многофакторных техногенных воздействий и сопровождающийся изменением свойств, структуры и состояния лессовидных и палеопочвенных горизонтов. Привлечены методы стохастического анализа, элементы теории динамических систем. Выполнен статистический, корреляционно-регрессионный анализ изменчивости показателей инженерно-геологических свойств в координатах, во времени, между показателями. Рассчитаны средние значения показателей свойств грунтов (зона аэрации) по результатам определения их на протяжении данного года. Неоднородности структуры массива,

неравномерности опробования формации на отдельных объектах не учитывались, так как общее количество данных достаточно велико. Объекты сосредоточены в границах высоких террас долинного комплекса р. Днепр, водораздельного плато и его склонов. Последовательное упорядочивание средних оценок по времени (году) их определения позволяет построить временной ряд показателей инженерно-геологических свойств. Выполнить анализ изменчивости свойств по короткому нестационарному временному ряду, содержащему пропуски, методами теории случайных процессов затруднительно [2]. О характере процесса можно судить по виду траектории движения объекта, при условии корректного выбора переменной. Так как предмет исследований – деградация просадочных свойств, в качестве переменной выбран коэффициент пористости, а в качестве параметра процесса – ненормированная разность деформаций образцов разного по влажности состояний, на каждой из ступеней компрессионных испытаний. Случайная совокупность значений переменной и параметра упорядочена по годам. Рассчитаны средние значения переменной (показателя емкостных свойств системы) и параметров емкости (разности деформаций) по результатам определений свойств формации за определенный год. Выполнена реконструкция аналогов фазового портрета перигляциальной формации в зоне влияния региональной природно-техногенной системы (г. Днепропетровск), характеризующего деградацию просадочности как хаотический процесс.

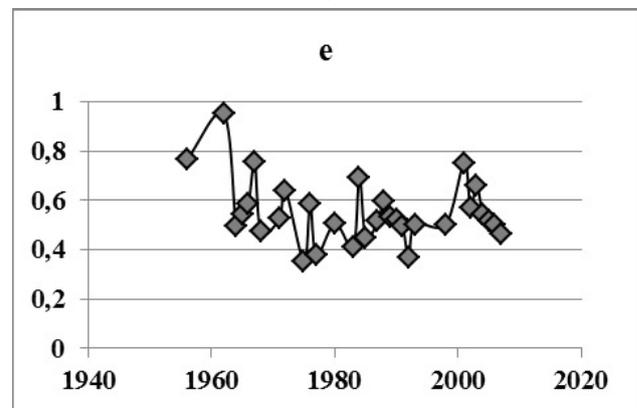
Обсуждение результатов

Объект исследований – геологическая среда природно-техногенной системы г. Днепропетровска, расположен в границах Украинского щита, Приднепровской возвышенной равнины. В составе геологической среды присутствуют стратиграфогенетические комплексы четвертичных эоловых, элювиально-делювиальных лессовидных и палеопочвенных суглинков и супесей, отложений долинного комплекса, морских и континентальных неогеновых, палеогеновых обложений, архей-протерозойских гранитов и их коры выветривания. К началу XX века на высоком правобережье р. Днепр, в границах города, сформировался техногенно-природный водоносный горизонт. Глубины залегания подземных вод пестрого гидрохимического состава к настоящему времени изменяются от 1,0 м до 11,0-12,0 м и более. Интенсивное строительство, подтопление привели к активизации опасных и

неблагоприятных геологических процессов: суффозии, просадкам, оползневым явлениям. В истории развития г. Днепропетровска выделяют этапы различной длительности, которым соответствует определенная численность населения, площадь территории и особенности строительной деятельности [3]. Ограниченность информации инженерно-геологического характера во времени не позволяет исследовать изменение свойств и состояния геологической среды (зоны влияния природно-техногенной системы регионального уровня) на начальных этапах. Изучено изменение свойств наиболее уязвимых элементов геологической среды – лессовидных и палеопочвенных горизонтов на протяжении 1956-1977; 1978-1991; 1992-2007 г. г. (I-III интервалы). I этап соответствует этапу массового строительства пятиэтажных зданий; II этап соответствует периоду масштабного строительства жилых микрорайонов, III является этапом строительства многоэтажных сооружений башенного типа.



a)



b)

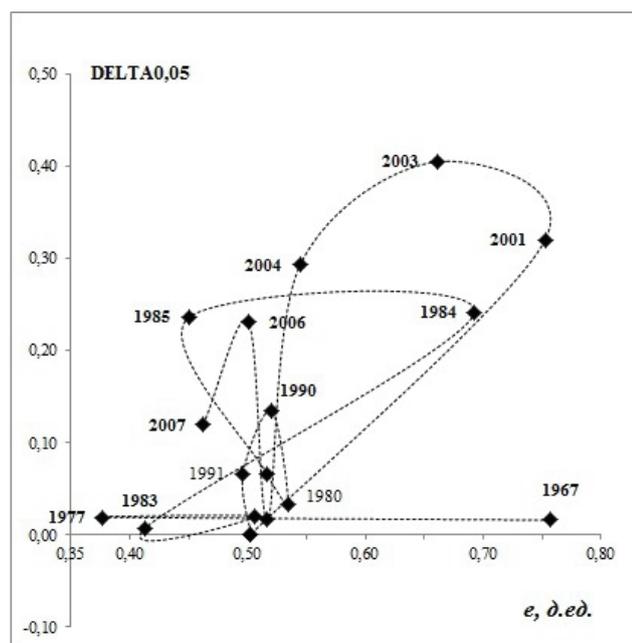
Рис. 1. Представительность данных об изменении свойств формации: а) количество проб (1956–2007 гг.), б) средние значения коэффициента пористости грунта (1956–2007 гг.)

Анализ изменений средних значений коэффициента пористости формации (кривая $e = f(t)$, рис. 1 б) показывает, что со временем область значений коэффициента пористости сокращается, выражена тенденция к уменьшению пористости формации.

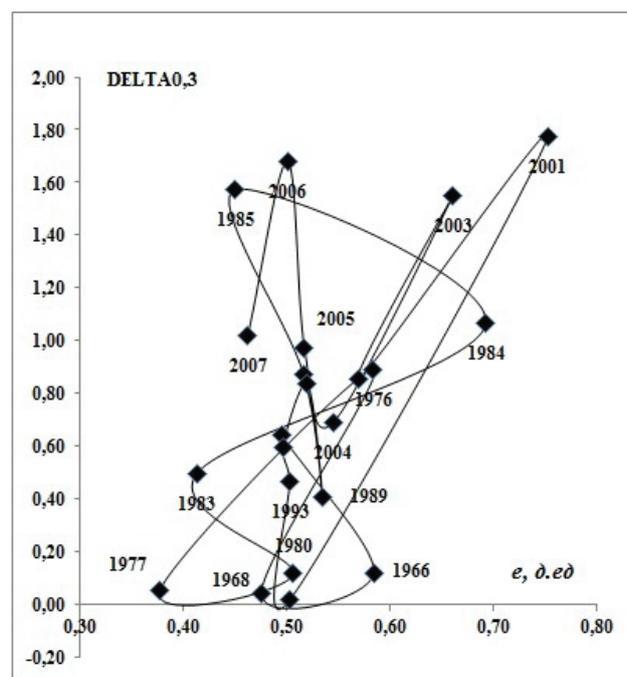
Деградация просадочных свойств – сложный процесс, сопровождающийся изменением дисперсности, физических и механических свойств лесовидных и палеопочвенных горизонтов [4]. В процессе развития городской инфраструктуры объем геологической среды, как зоны влияния природно-техногенной системы регионального уровня, увеличивается из-за возрастания дополнительных нагрузок и изменения конструкции сооружений. Техногенные воздействия от строящихся сооружений являются неупорядоченными в масштабах ПТС, интенсивность их резко отличается на протяжении изучаемого времени. Известно, что просадочные свойства при техногенезе имеет чет-

кую тенденцию к исчезновению, но закономерности развития и характер процесса плохо изучены. Построив траекторию движения системы [5] как последовательность точек с координатами «коэффициент пористости – ненормированные приращения коэффициента», можно определить вид аттрактора, что важно при обосновании математической модели процесса, анализе состояния массива. Координатная плоскость с указанными координатами представляет собой подобие фазовой плоскости (рис. 2 а, б).

В период 1967–1977 гг., состояние формации в интервале природных давлений стационарно, так как траектория параметра емкости выражается прямой линией. В период 1978–1991 гг. выполняется массовое строительство многоэтажных сооружений, интервал значений коэффициента и приращений коэффициента увеличивается, траектория сложная, присутствуют пересечения.



а)



б)

Рис. 2. Фазовые портреты деградации просадочных свойств формации: а) приращения параметра емкости перигляциальной формации, 1967–2007 гг., в интервале давлений 0–0,05 МПа; б) приращения параметра емкости формации в интервале давлений 0,25–0,3 МПа.

Примечания к рис. 2–4:

1. Ось ординат – значения параметра емкости, д. ед.
2. Ось абсцисс – значения коэффициента пористости, д. ед.
3. ● 1977 – среднее значение показателя в 1977 г.

К 1991 г. значения параметра приближаются к начальной области. Следующему этапу интенсивных строительных работ (2001–2007 гг.) соответствуют два цикла. В период 2001–2004 гг. площадь

фазовой области максимальна, выполняется строительство объектов повышенной этажности в историческом центре. Возрастание параметра емкости может быть связано с разуплотнением горизон-

тов с просадочными свойствами. Разуплотнение является следствием изменения дисперсности, состояния по влажности лессовидных суглинков в зоне аэрации при взаимодействии с электромагнитными, тепловыми полями, агрессивными средами и механическими воздействиями. Скачкообразные изменения параметра емкости формации (2004–2007 гг.) характеризуют тенденцию к восстановлению первоначального положения. Движение в интервале дополнительных напряжений хаотично, присутствуют пересечения. Анализ фазового портрета показывает, что этапы техногенных воздействий и состояния массива сопоставимы. Так как в составе формации присутствуют генетические разности, отвечающие разным палеогеографическим эпохам, выполнен анализ траекторий емкости субаэриальных лессовидных суглинков и супесей (причерноморско-дофиновского, бугского, днепровского горизонтов) и палеопочвенных горизонтов. Данные были подразделены на группы по стратиграфо-генетическим при-

знакам и году определения. Установлено, что поведение лессовых и палеопочвенных горизонтов принципиально отличается. Изменения средних значений коэффициента пористости палеопочвенных горизонтов имеют четко выраженную тенденцию к спаду. Для лессовидных суглинков периодически проявляется тенденция к восстановлению, уменьшение интервала действующих значений выражено слабо. Изменения коэффициента пористости сопровождаются увеличением области значений параметра емкости (рис. 3, а-г), что также указывает на признаки хаотического состояния грунтов при давлениях, превышающих структурную прочность, независимо от времени. Разбег траекторий при увеличении давления выражен сильнее в лессовидных суглинках, чем в палеопочвенных горизонтах (см. рис. 3 в, г). О различии поведения лессовых и палеопочвенных горизонтов можно судить по форме фазового портрета (рис. 4, а-г), особенно в области давлений, близких к природным.

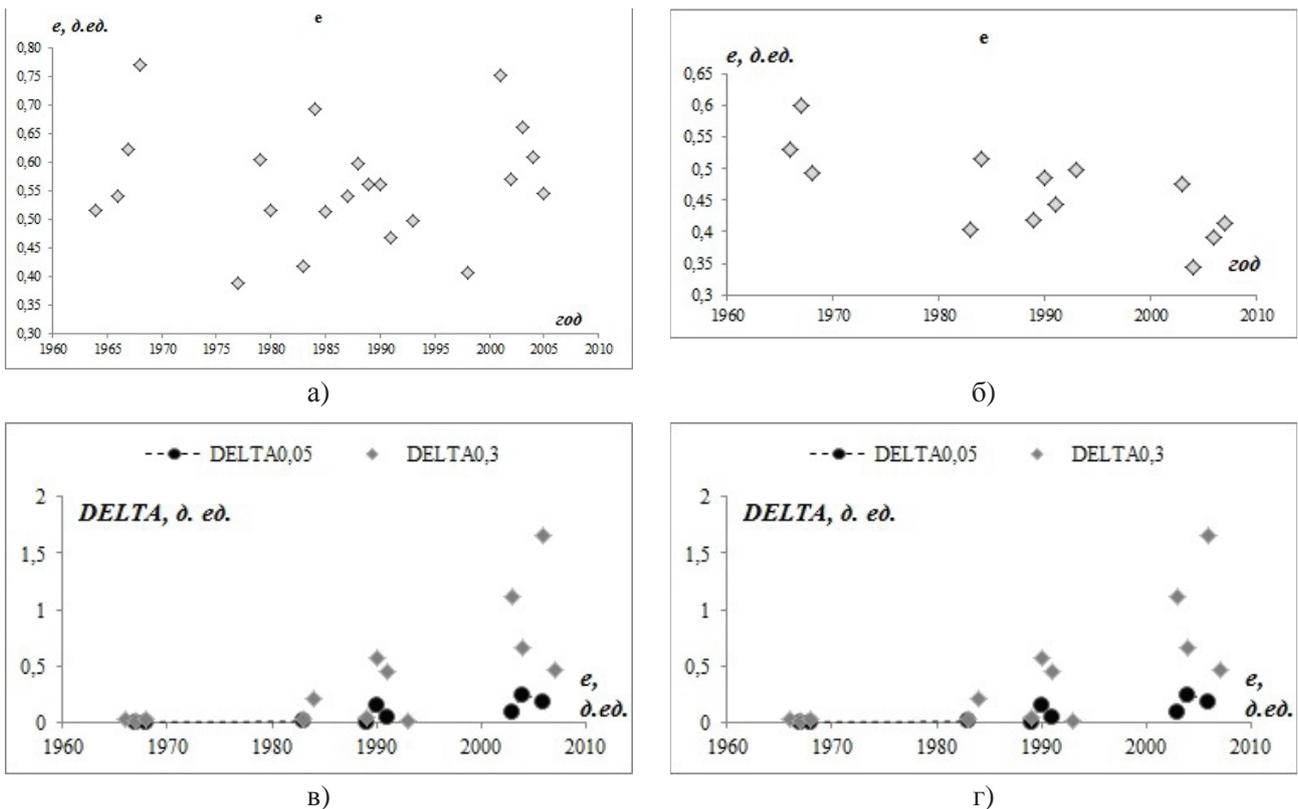


Рис. 3. Коэффициенты пористости и параметры емкости элементов формации (1956–2007 гг., г. Днепропетровск, Украина).

Примечания к рис. 3:

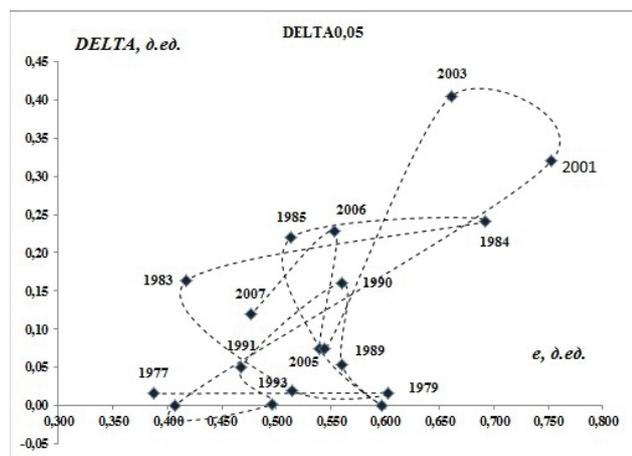
1. а) средние значения коэффициента пористости e лессовидных суглинков; б) то же, палеопочвенных горизонтов; в) ненормированные приращения коэффициента пористости $DELTA$, д. ед., лессовидных суглинков; г) то же, палеопочвенных горизонтов.

2. $DELTA 0,05$ – ненормированные приращения коэффициента пористости (выборочное среднее), на ступени компрессионных испытаний 0,05 МПа; $DELTA 0,3$ – то же, на ступени 0,3 МПа

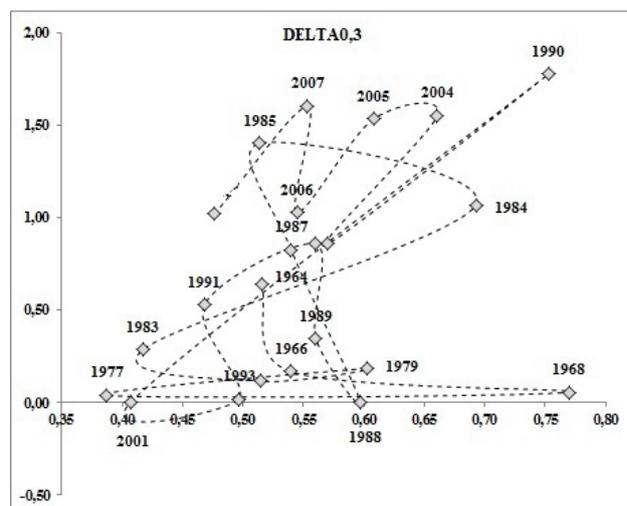
Анализ фазового портрета показывает, что деградация просадочности зависит от интервала давлений. Область способности к просадочным деформациям у лессовидных суглинков со временем увеличивается в интервале давлений, близких к природным, а в интервале давлений, близких к дополнительным – уменьшается.

Приращения коэффициента пористости палеопочвенных горизонты имеют выраженную тенденцию к спаду, что может быть связано со большей гидрофильностью и способностью к реологическим деформациям, по сравнению с

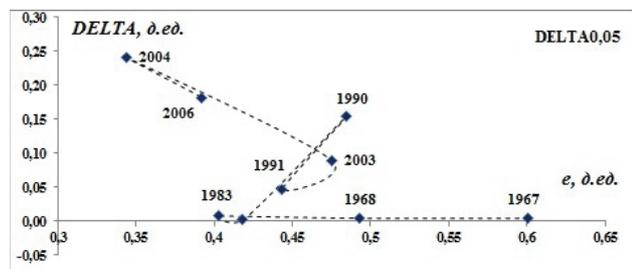
лессовидными суглинками зоны аэрации. В период 2001–2007 гг., область значений параметра емкости резко увеличивается. Анализ фазовых портретов показывает, что можно выделить два участка с разным типом связи между коэффициентом и изменением приращений коэффициента во времени. Горизонтальные отрезки траектории указывают на присутствие стационарной области состояний по просадочности, на протяжении интервалов 1977–1979 гг. (рис. 4а); 1964–1977 гг. (рис. 4б); 1967–1989 гг. (рис. 4в); период 1966–1968 гг. (рис. 4г).



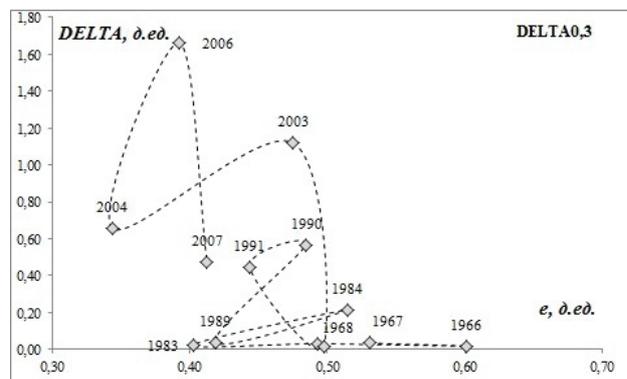
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Фазовые портреты емкости элементов формации (1966-2007 гг.).

Примечания: а) фазовый портрет деградации просадочных свойств лессовидных суглинков в интервале давлений 0–0,05 МПа; б) то же, в интервале давлений 0,25–0,3 МПа; в) фазовый портрет деградации просадочных свойств палеопочвенных горизонтов в интервале давлений 0–0,05 МПа; г) то же, в интервале давлений 0,25–0,3 МПа

Петли и спрямленные отрезки траектории группируются вокруг наклонных мод, в этих областях связь между коэффициентом и приращениями изменяется во времени. Со временем изменяется размах флуктуаций, пропорциональность и тенден-

ция. Хаотичность реакций в большей степени присуща лессовидным суглинкам, чем палеопочвенным горизонтам, тенденции приращений различны.

Заключение

- Этапы функционирования природно-технологической системы отражаются на фазовом портрете деградации массива просадочных грунтов.
- Особенности траекторий деградации просадочности горизонтов, отвечающих разным палеогеографическим эпохам, различны.
- Анизотропность механических реакций ритмично построенного массива просадочных грунтов (различные тенденции изменения коэффициента пористости и приращений коэффициента) – один из факторов хаотического состояния массива в процессе деградации.
- Анализ траекторий позволяет, в первом приближении, установить вид аттрактора, определить состояние массива.

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара
Т. П. Мокрицкая, кандидат геологических наук,
доцент кафедры геологии и гидрогеологии
Тел. +380982577019, +380567448603 (раб.)
mokritska@i.ua

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-математические основы / [под ред. акад. Е. М. Сергеева]. – М. : Недра, 1986. – 253 с.
2. Прохоров С. А. Моделирование и анализ случайных процессов: лабораторный практикум / С. А. Прохоров. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2001. – 191 с.
3. Кавун М. Е. Происхождение и ранняя история города Екатеринослава: автореф. дис. ... канд. ист. наук / М. Е. Кавун. – Днепропетровск, 2003. – 19 с.
4. Мокрицкая Т. П. Закономерности изменений состояния геологической среды на примере Криворожской ПГА (локальный уровень) : автореф. дис. ... канд. геол. наук / Т. П. Мокрицкая. – Днепропетровск, 2003. – 19 с.
5. Мун Ф. Хаотические колебания: вводный курс для научных работников и инженеров / Ф. Мун. – М. : Мир, 1990. – 312 с.

Dnepropetrovsk' National University Oles Gonchar,
Т. П. Mokritska, Candidate of Geological Sciences,
Associate Professor. Prof, Department geology and
hydrogeology, Faculty geology and geography
Tel. +380982577019, +380567448603 (office)
mokritska@i.ua