

УДК 624.131

Т.П. Мокрицкая, канд. геол. наук, доц.

Днепропетровский Национальный университет
им. Олеса Гончара, г. Днепропетровск, Украина,
e-mail: mokritska@i.ua

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПИСАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ЛЕССОВОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ СЛАБОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ

T.P. Mokritskaya, Cand. Sci. (Geol.), Associate Professor

Oles Gonchar Dnipropetrovsk National University,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: mokritska@i.ua

SOME POSSIBILITIES OF DESCRIPTION OF LOESS MASSIF PROPERTIES VARIABILITY IN CONDITIONS OF WEAK TECHNOGENETIC DISTURBANCE

Цель. Апробация методики идентификации математической модели изменчивости свойств лессовой формации в условиях техногенной нарушенности урбанизированных территорий. Решение эпигнозных задач о закономерностях изменчивости свойств грунтов массива в прошлом. На примере анализа данных о свойствах грунтов с особыми просадочными свойствами, уязвимых при техногенных воздействиях, выполнен эпигноз пространственной изменчивости свойств.

Методика. Выбор представительных данных, определение переменных, анализ изменчивости инженерно-геологических свойств, математическое моделирование. Неоднородность и изменчивость физических и механических свойств просадочных грунтов, на разных уровнях изучения массива, являются результатом направленных сингенетических изменений палеогеоморфологических условий на протяжении времени формирования массива и современных условий. Достоверной будет математическая модель, отражающая сложную изменчивость свойств в пространственных координатах. Применена наиболее изученная и апробированная методика построения сложных моделей – стохастическое математическое моделирование.

Результаты. В статье приведены результаты моделирования изменчивости свойств лессовых грунтов на основании привлечения модели случайного процесса. Идентификация модели случайной последовательности выполнена с использованием широко известной методики, применяемой при исследовании экономических процессов. На примере двух сходных по инженерно-геологическим условиям природно-техногенных систем выполнено моделирование изменчивости последовательностей свойств грунтов перигляциальной формации в условиях техногенных воздействий малой интенсивности.

Научная новизна. Подтверждена применимость модели марковского случайного процесса к описанию последовательности инженерно-геологических свойств на разных уровнях изучения геологической среды. Доказано, что увеличение интенсивности техногенных воздействий влияет на вид и параметры модели случайной последовательности. Получены модели стационарного процесса, нестационарного случайного блуждания с дрейфом. Установлена возможность хаотических состояний геологической среды в зоне влияния локальной природно-техногенной системы (город).

Практическая значимость. Развитие теории и практики стохастического моделирования изменчивости инженерно-геологических свойств грунтов в зоне влияния сооружений позволит повысить точность и обоснованность инженерно-геологических прогнозов.

Ключевые слова: автокорреляция, случайное блуждание, лесс, техногенез

Постановка проблемы. Описание пространственной изменчивости свойств в инженерной геологии традиционно выполняется с привлечением классических методов стохастического моделирования. Методы стохастического моделирования были привнесены

в геологические и инженерно-геологические исследования в середине XX века трудами Ж. Маттерона, Дж. Девиса, И.С. Комарова, Г.К. Бондарика. Использование новейших методов геостатистики при решении специальных инженерно-геологических задач, при всей привлекательности, малоперспективно из-за препятствий методологического характера. В частности, степень приближения геолого-

математической модели к реальным нестационарным состояниям геологической среды, как подсистемы природно-техногенной системы (ПТС), не всегда достаточна для решения специализированных инженерно-геологических задач. Анализ изменений свойств и состояния геологической среды под действием внешних, в том числе техногенных факторов, относится к классическим проблемам, не потерявшим актуальности в связи с развитием представлений о геологической среде как о динамической системе. Изучение динамических систем и их состояния требует привлечения специализированного математического аппарата, в частности, методов анализа временных последовательностей [1]. Современное программное обеспечение [2] позволяет выполнять обработку значительного объема данных.

Формулировка цели. Особенностью инженерно-геологической информации является ее избирательность, что составляет одну из важных научных проблем, затрудняющих дальнейшее развитие методов моделирования. Исследование полей свойств методами анализа случайных процессов предъявляет ряд требований к данным по количеству, качеству и регулярности в пространственных и временных координатах. При анализе изменчивости свойств грунтов во времени, в результате техногенных воздействий, возникает необходимость воссоздания первоначального состояния массива. На территориях промышленно-городских агломераций этот вопрос практически не может быть реализован, так как преобразование природной и геологической среды происходило прежде, чем была получена информация, характеризующая инженерно-геологические свойства грунтов в зоне влияния. Недостаточная разработанность методики анализа состояния среды, в условиях относительно слабой нарушенности, влияет на объективность выводов о динамике временных рядов данных об инженерно-геологических свойствах. Методика создания региональных банков данных о компонентах инженерно-геологических условий, анализ прошлых состояний, изменений свойств грунтов в зоне влияния природно-техногенных систем разного уровня, – актуальная научная задача. В статье рассматриваются аспекты решения эпигнозных задач на конкретных примерах.

Методика исследований. Изучены результаты определений свойств грунтов лессовой перигляциальной формации и их частичной обработки на территории городов Днепропетровск и Запорожье в 50-х и 60-х годах XX века, на участках со сходной плотностью застройки, выполненные под руководством проф. Скабаллановича И.А. (НИИ геологии, ДНУ), Джолоса С.Д. (Днепрогипротранс). Высокая степень сходства региональных и зональных факторов инженерно-геологических условий на объектах обусловила возможность анализа свойств формации. Совокупность результатов определений каждого из показателей инженерно-геологических свойств грунтов была представлена в виде случайного ряда, упорядоченных по глубине отбора, значений. Изучались ряды:

природной влажности W , плотности грунта PL и частиц PLS , пределов пластичности WL и WP , относительных деформаций при компрессионных испытаниях и модуля деформации. Выборочные совокупности были упорядочены двумя способами, с использованием единого критерия – абсолютной глубины отбора. В первом случае группировка выполнялась по результатам определения свойств стратиграфо-генетического горизонта в границах ПТС, во втором – в одной из скважин. Случайные в плановых координатах последовательности характеризуют изменчивость свойств по глубине в границах однородного стратиграфо-генетического тела (в первом случае). Во втором случае изучается изменчивость свойств по глубине как случайное вертикальное сечение массива (формации) в точке. Выбирались скважины с достаточной глубиной и максимальным количеством определений, что не всегда превышало минимально допустимое количество наблюдений [2], с равномерным, но не одинаковым шагом. Анализ состоял в идентификации модели случайного процесса, описывающей выбранную последовательность, моделью авторегрессии и скользящего среднего $ARIMA$ средствами *trial*-версии программы „STATISTICA“. Идентификация состояла в оценке стационарности последовательности по результатам анализа частных коррелограмм, устранении линейного тренда при условии выявленной нестационарности ряда, определении порядка и структурных параметров модели. Общая методика идентификации хорошо известна и разработана для решения экономических задач [1]. К инженерно-геологическим данным ранее данная методика не привлекалась.

В работе [1] указывается, что абсолютное значение параметра структурной модели $p(I)$ имеет смысл значимого частного коэффициента корреляции соседних в ряду значений. Там же указано, что при величине структурного параметра авторегрессионной модели $p(I)$, стремящегося к 1, процесс приближается к нестационарному процессу типа случайного блуждания. Если шкала качественной оценки тесноты корреляционной связи [3] может быть применима к корреляции соседних в ряду значений, то величина параметра $p(I)$ имеет смысл косвенной меры вероятности процесса случайного блуждания. В этом случае параметр можно рассматривать как количественный критерий для объективного выбора типа модели нестационарного процесса. Стационарный авторегрессионный ряд вида $AR(I)$ обладает марковскими свойствами, является процессом с короткой памятью. Для нестационарного ряда тенденции изменения во времени будут иными. Процесс случайного блуждания (DSP , [1]) не стационарен по дисперсии, обладает бесконечной памятью, что отличает его от нестационарного процесса с детерминированным трендом (TSP , [1]). Найденная по результатам регрессии трендовая компонента модели случайного процесса может быть истинной (процесс TSP) либо ошибочной (процесс DSP). „В геологическом смысле“ истинность или ошибочность вида модели задается на-

хождением связи между абсолютным значением показателя и оптимальным для данных конкретных условий способом задания времени (по геологической или „физической“ шкале). Фиктивность в случае анализа инженерно-геологических данных означает поиск корреляционной связи между координатами и показателями в условиях, когда нестационарный процесс с детерминированным трендом ошибочно принимается в качестве единственно подходящей модели, а процесс случайного блуждания не рассматривается как маловероятный.

Известно, что ордината (глубина) является косвенным показателем как геологического времени формирования породы, так и современных физико-географических условий, определяющих состояние массива. Можно предположить, что „важность“ современных или палеогеографических условий, как факторов изменчивости показателя, влияющих на вид модели, действуют различно в условиях техногенных воздействий. Проверка наличия или отсутствия изменчивости переменных в пространственных координатах (по глубине) не всегда достаточна. Анализ важности палеогеоморфологических условий соответствует анализу истинной связности значений в ряду, сформировавшихся в границах сходной палеогеоморфологической эпохи, в некоторых случаях, способствует большей адекватности математической модели. Наличие краткосрочной или бесконечной памяти повлияет на метод решения прикладных задач: о механическом поведении, проектировании наблюдательных систем и т.п. Вид и параметры модели последовательности, наилучшим образом описывающей ряд данных, могут быть индикатором состояния и прогнозного поведения динамических систем, описываемого теорией марковских или хаотических процессов.

Фактический материал. В основу работы положены результаты инженерно-геологических исследований, выполненных в 1965–1968 гг. на территории г. Днепропетровск и в 1951–1956 гг. на территории г. Запорожье, выполненные под руководством проф. Скабаллановича И. А. (НИИ геологии ДНУ), Джолоса С.Д. (Днепрогипротранс). Количество данных составляет 915 записей в базе данных по г. Днепропетровск и 120 записей в базе данных по г. Запорожье. Данные представляют собой результаты лабораторных определений полного комплекса свойств грунтов лессовой формации, отобранных из скважин, пройденных на территории города, и результаты документирования скважин. Данные отличаются представительностью, регулярностью и полнотой.

Изложение основных результатов исследований. По результатам анализа изменчивости свойств грунтов г. Днепропетровск, выполненных в 1925–1949 гг. на отдельных строительных площадках (из материалов Скабаллановича И.А.), можно получить представление об отчетливой зональности гранулометрического состава, природной влажности, плотности грунта и пористости, характеризующей условия с относительно низкой, по сравнению с совре-

менными условиями, интенсивностью техногенных воздействий. Такие же закономерности были характерны для территории г. Запорожье [4]. При обработке более поздних данных (г. Днепропетровск, 1965–1968 гг.) подтверждено влияние палеогеографической зональности на распределение средних значений показателей физических свойств грунтов в зоне аэрации, так как эпохи ритмических климатических изменений отражались в ритмичности классификационных показателей грунтов формации. Изменчивость физических свойств сопровождалась однообразием плотности частиц, что характерно для перигляциальной формации (рис. 1). По результатам моделирования случайных последовательностей свойств отдельных горизонтов, в подавляющем большинстве (рис. 2), получены оптимальные стационарные модели авторегрессии первого порядка типа $AR(1)$. Исключение составила модель распределения плотности бугского горизонта (тип модели $ARIMA(0,0,1)$).

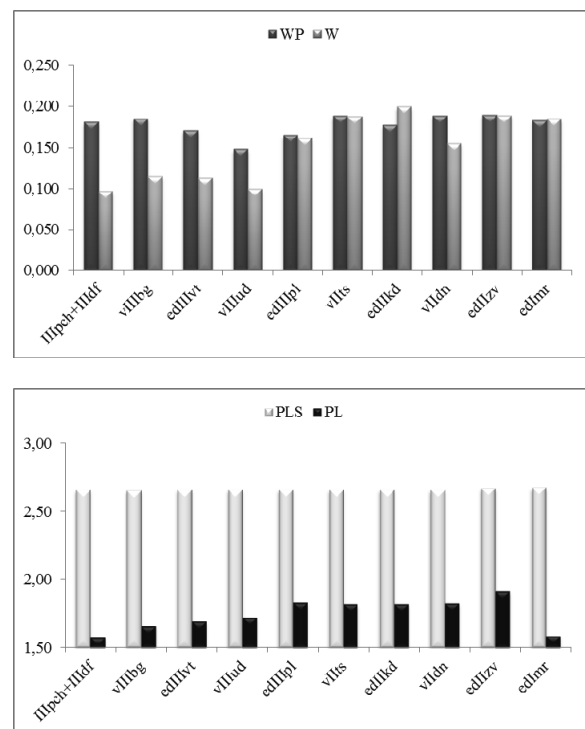


Рис. 1. Изменчивость средних значений показателей влажности на границе раскатывания WP, природной влажности W, д. ед., плотности частиц PLS и грунта PL, г/см³, лессовой формации (1965–1968 гг., г. Днепропетровск, исторический центр.): IIIpch+df – нерасчлененные причерноморско-дофиновские отложения; vIIIbg; vIIkn – бугский и днепровский лессовидные горизонты; edIIIvt, edIIIpl, vIIkd, edIIzv, edImr – витачевский, кайдакский, прилукский, завадовский и мартоношский палеопочвенные горизонты

Анализируя значения структурного параметра модели $p(1)$, при указанных выше допущениях, можно сделать вывод о большей вероятности хаотического состояния распределений классификационных показателей причерноморско-дофиновского IIIpch+df и завадовского edIIzv, выборочно днепровского vIIkn,

горизонтов, так как значения структурного параметра моделей авторегрессии последовательностей свойств (днепровский горизонт: пределы пластичности и плотности) больше 0,7 или близки к 1. Причерноморско-дофиновские нерасчлененные отложения входили в зону влияния малоэтажных строений в исторической части города, транспортных сооружений и коммуникаций.

Завадовский горизонт часто рассматривается как местный водоупорный слой, часто под этим названием выделяют образования сложного генезиса (нерасчлененные завадовско-лубенско-мартоношские отложения). Днепровский климатолит, наоборот, отличается однородностью, наибольшим содержанием песчаных фракций среди лессовидных пород перигляциальной формации, описывается как песок мелкозернистый или супесь, является водовмещающим на участках формирования техногенно-природного горизонта в лессовидных суглинках. Так как по данным Скабаллоновича И.А., в конце XIX и начале XX века, первый от поверхности водоносный горизонт был встречен в дочетвертичных отложениях, состояние днепровского и завадовского горизонта, в период формирования техногенно-природного водоносного горизонта, следует считать измененным. Иные последовательности, независимо от генезиса, состояния, приуроченности к определенным гипсометрическим уровням, описывающие процессы изменения свойств в координатах (во времени), являются моделями авторегрессии, значения параметра модели первого порядка $p(1)$ изменяются от 0,362 до 0,589.

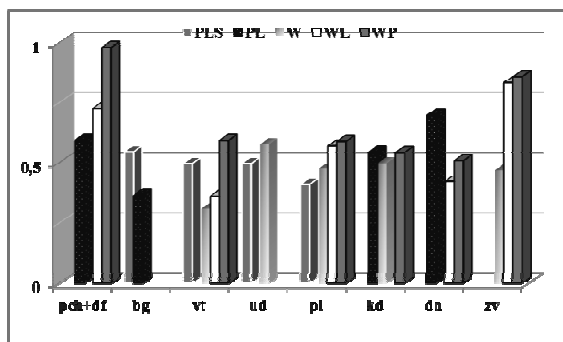


Рис. 2. Параметр $p(1)$ моделей авторегрессии свойств грунтов лессовой формации. Условные обозначения (см. рис. 1): WL – влажность на границе текучности, д. ед.; показатели свойств горизонтов: 1 – Шрч+df; 2 – vllbg; 3 – edllvt; 4 – vdlud; 5 – edllpl; 6 – vllkd; 7 – vlldn; 8 – edllzv; ■ – последовательности значений плотности частиц PLS; ■ – плотности PL; ■ – влажности W; ■ – влажности на границе текучности WL; ■ – влажности на границе раскатывания WP

Изученные последовательности, по результатам анализа частной корреляционной функции, были стационарными. Вывод о зависимости типа модели, наилучшим образом описывающей последовательность в условиях с разной длительностью техноген-

ных воздействий и интенсивностью, можно считать подтвержденным.

Результаты анализа последовательностей данных о свойствах грунтов из отдельных скважин, в целом, не противоречат полученным выводам о возможности идентификации состояния среды по типу и параметрам модели. Общее количество изученных инженерно-геологических скважин глубиной 10,5–30,5 м, с количеством монолитов более 20, составило 17 (г. Днепропетровск). Нестационарными оказались ряды природной влажности W и нижнего предела пластичности WP в двух скважинах с близкими гипсометрическими отметками. Нестационарность уступала стандартизации и взятием первой разности с коэффициентами, определенными по эмпирическому ряду. В восьми скважинах ни одна из последовательностей физических свойств не проявила признаков автокорреляции, что подтверждает зависимость состояния среды от интенсивности техногенных воздействий. В слабонарушенных условиях г. Запорожья признаки автокорреляции рядов инженерно-геологических свойств проявлялись также избирательно [4].

Последовательности, обладающие значимой автокорреляцией, обнаруживали зависимость абсолютной величины структурного параметра модели авторегрессии $p(1)$ от геоморфологической зональности (рис. 3). Так, на более высоком гипсометрическом уровне (плато и его склоны), значения параметра меньше, чем на более низких гипсометрических уровнях высоких террас р. Днепр. Интересно, что принадлежность к локальному участку техногенного подтопления (уровень грунтовых вод залегал на глубине 10,5 м против 26 и более метров на других строительных площадках) повлияла на рост значений структурного параметра модели авторегрессии ряда показателей свойств $p(1)$, следовательно, на вероятность хаотического состояния среды и ее поведения.

В ненарушенных условиях последовательности связностью в ряду не обладают, в слабонарушенных условиях предпочтительнее модель Марковского стационарного процесса. При усилении интенсивности обосновано применение модели нестационарного процесса с детерминированным трендом, при высокой степени восстановления памяти – модели случайного хаотического блуждания с дрейфом.

В работе [1] указано, что применение регрессионного анализа к нестационарным рядам, типа DSp , сопровождается ошибочными оценками регрессии как достаточно устойчивой. Выполнен множественный корреляционный и регрессионный анализ последовательностей (сечений) рядов физических свойств в отдельных точках массива. Регрессионный анализ выполнялся методом пошаговой регрессии, что позволяет проанализировать изменение ситуативных наборов показателей свойств в различных природных и техногенных условиях. В качестве зависимой переменной выбирались значения природной влажности (или плотности, верхнего предела пластичности). Независимые переменные представляли собой, соответ-

ственно, плотность или влажность грунта, нижний предел пластичности, плотность частиц, глубину отбора. Вид полученных уравнений указывает на то, что зависимые переменные имеют смысл пространственных, так как в число зависимых переменных включена ордината (глубина отбора). Абсолютные значения коэффициента детерминации AR^2 выше 0,44 для рядов показателей, определенных в 60-х годах, и меньше 0,44 для значений, полученных на этой же территории в 50-х гг. (таблица). Значения коэффициента указывают на возможность возникновения моделей типа DSP в первом случае, так как выполняется условие о достаточно высокой корреляции в моделях типа случайное блуждание с дрейфом и без дрейфа.

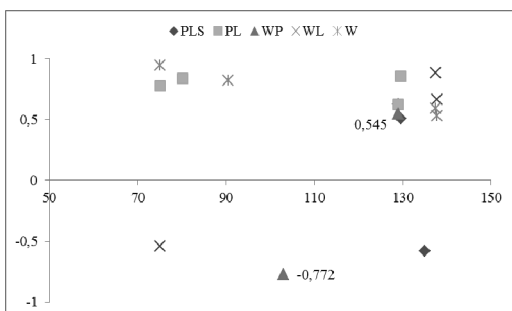


Рис. 3. Зависимость параметра модели авторегрессии $p(1)$ последовательностей плотности PL и влажности грунта W от гипсометрии точки отбора: ■ – точки с координатами: абсолютная отметка точки отбора; величина параметра $p(1)$ последовательности плотности грунта PL , $кН/м^3$; ◆ – точки с координатами: абсолютная отметка точки отбора; параметр $p(1)$ последовательности значений плотности частиц грунта PLS , $кН/м^3$; ▲ – точки с координатами: абсолютная отметка точки отбора; параметр $p(1)$ последовательности влажности на границе раскатывания WP , д. ед.; X – точки с координатами: абсолютная отметка точки отбора; параметр $p(1)$ влажности на границе текучести грунта WL , д. ед.; * – точки с координатами: абсолютная отметка точки отбора; параметр $p(1)$ влажности грунта W , д. ед.; PLS , PL , WP , WL , W – ряды значений показателей: плотности частиц и грунта; пределов пластичности; природной влажности соответственно. Значения были упорядочены по глубине отбора; 0,545 – значение параметра модели авторегрессии $p(1)$; ось аргумента – абсолютная отметка точки, м; ось ординат – значения структурного параметра авторегрессии $p(1)$ в рядах показателей свойств

По результатам моделирования полей физических свойств лессовых грунтов, в зоне влияния локальной природно-техногенной системы на этапе относительной слабой интенсивности техногенных воздействий (Днепропетровск и Запорожье, 1925–1968 гг.), доказана обоснованность применения модели авторегрессии первого порядка.

В зависимости от параметров автокорреляции методика расчета числовых характеристик и нормативных значений показателей должна быть различна.

Таблица

Параметры выборочных уравнений изменчивости физических свойств лессовидных грунтов (г. Днепропетровск, 1965–1968 гг.)

Номер точки (год отбора)	Вид модели	Уточненное значение коэффициента детерминации AR^2
72/1966	$PL=1,894+0,017Z$	0,694
72/1966	$W=0,008Z$	0,786
7/1956	$W=0,016Z$	0,231
73/1966	$WL=0,006 Z$	0,550
162/1966	$W=0,0045 Z$	0,519

Выводы.

- В ненарушенных условиях последовательности инженерно-геологических свойств лессовой формации, упорядоченные по глубине, связностью в ряду не обладали.
- В слабонарушенных условиях изменчивость формации по глубине и в границах слоя описывалась моделью марковского стационарного процесса.
- Рост интенсивности техногенных воздействий приводил к изменению вида модели: от нестационарного процесса с детерминированным трендом до модели случайного хаотического блуждания с дрейфом.
- Вид и параметры модели последовательности, наилучшим образом описывающей ряд упорядоченных по глубине данных о физических и классификационных свойствах грунта, являются индикатором марковского или хаотического процесса.
- Тип случайного процесса необходимо учитывать при создании модели среды для разработки инженерно-геологического прогноза.

Список литературы / References

1. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов / Г.Г. Канторович // Экономический журнал ВШЭ – 2002. – №1; 2. – С. 85–116; 251–273.
Kantorovich, G.G. (2002), “Time series analysis”, *HSE Economic Journal*, no.1;2, pp. 85–116; 251–273.
2. Потапов Ю.В. Использование пакета программ STATISTICA для анализа выборочных данных. Учебно-методическое пособие: Потапов Ю.В. – Томск: ТГУ, 2003. – 45 с.
Potapov Yu.V. (2003), *Ispolzovaniye paketa programm STATISTICA dlya analiza vyborochnykh dannykh* [Using STATISTICA Software to Analyze Sample Data], TGU, Tomsk, Russia.
3. Лукьянова Н.В. Статистика: Корреляционно-регрессионный анализ статистической связи на персональном компьютере / Н.В. Лукьянова // Методические указания. Калининградский университет. – 2009. – 5 с.

Lukyanova, N.V. (2009), *Statistika: Korrelyatsionno-regressionnyi analiz statisticheskoy svyazi na personalnom kompyutere* [Statistics: Correlation-Regression Analysis of the Statistical Relation on a Personal Computer], KGU, Kaliningrad, Russia.

4. Мокрицкая Т.П. К вопросу о методах и результатах эпигноза изменчивости свойств лессового массива / Т.П. Мокрицкая, А.В. Тушев // Материали III міжнародної науково-практичної конференції: „Системний аналіз. Інформатика. Управління“, 2012, (Запоріжжя, 14–16 бер. 2012 р.) – Запоріжжя: ЗПУ, 2012. – 189 с.

Mokritskaya, T.P. and Tushev, A.V. (2012), “About methods and results in back calculations of variability properties of loess massif”, *Proc. of the 3-rd International Conference “System analysis. Informatics. Management”*, SAIU, ZPU, Zaporizhia, Ukraine.

Мета. Апробація методики ідентифікації математичної моделі мінливості властивостей лесової формації в умовах техногенної порушеності урбанізованих територій. Рішення епігнозних завдань щодо закономірності мінливості властивостей ґрунтів масиву в минулому. На прикладі аналізу даних щодо властивості ґрунтів з особливими просадними властивостями, уразливими при техногенному впливі, виконаний епігноз просторової мінливості властивостей.

Методика. Вибір представницьких даних, визначення змінних, аналіз мінливості інженерно-геологічних властивостей, математичне моделювання. Неоднорідність і мінливість фізичних та механічних властивостей просідаючих ґрунтів, на різних рівнях вивчення масиву, є результатом спрямованих епігенетичних змін палеогеоморфологічних умов протягом часу формування масиву та сучасних умов. Достовірною буде математична модель, що відображає складну мінливість властивостей у просторових координатах. Застосована найбільш вивчена та апробована методика побудови складних моделей – стохастичне математичне моделювання.

Результати. У статті наведено результати моделювання мінливості властивостей лесових ґрунтів на підставі залучення моделі випадкового процесу. Ідентифікація моделі випадкової послідовності виконана з використанням широко відомої методики, застосовуваної при дослідженні економічних процесів. На прикладі двох схожих за інженерно-геологічними умовами природно-техногенних систем виконано моделювання мінливості послідовностей властивостей ґрунтів перігляціальної формації в умовах техногенних впливів малої інтенсивності.

Наукова новизна. Підтверджено придатність моделі марківського випадкового процесу до опису послідовності інженерно-геологічних властивостей на різних рівнях вивчення геологічного середовища. Доведено, що збільшення інтенсивності техногенних дій впливає на вид і параметри моделі випадкової послідовності. Отримано моделі стаціонарного процесу, нестаціонарного випадкового блукання з дрейфом.

Встановлено наявність хаотичних станів геологічного середовища в зоні впливу локальної природно-техногенної системи (місто).

Практична значимість. Розвиток теорії та практики стохастичного моделювання мінливості інженерно-геологічних властивостей ґрунтів у зоні впливу споруд дозволить підвищити точність і обґрунтованість інженерно-геологічних прогнозів.

Ключові слова: автокореляція, випадкове блукання, лесові ґрунти, техногенез

Purpose. To test the methods of identification of mathematical models of the loess formation properties variability in urban areas affected by anthropogenic disturbance. To determine regularities of the soil properties variability occurred in the past. Analyzing data concerning the properties of loess unstable to the anthropogenic impact we have made back calculations of spatial variability of its properties.

Methodology. We have selected the representative data, identified the variables, and performed analysis of the variability of geotechnical properties. Heterogeneity and variability of the physical and mechanical properties of sagging soils at different levels of study of the massif are caused by change of paleo-geomorphic conditions occurred during its formation and by modern conditions. The most accurate mathematical model should reflect the complex variability of properties in spatial coordinates. We used the most reliable method of stochastic mathematical modeling to create the mathematical model.

Findings. The results of loess soil properties variability modeling on the basis of a random process model is presented in the article. The random model identification has been carried out by means of well-known method widely used in economic processes study. On the example of two natural-anthropogenic systems similar by geological conditions we have simulated variability of periglacial formation soil properties affected by anthropogenic impacts of low intensity.

Originality. We have proved the applicability of the Markov Process Model for description of the sequence of geotechnical properties at different levels of study of the geological environment. The increase of anthropogenic influence affects the form and parameters of the model of a random sequence. We have obtained the model of steady process and non-stationary random motion with drift. We have determined the presence of the chaotic state of the geological environment in the zone of the local anthropogenic system (city).

Practical value. The theory and practice of stochastic modeling of variability of geotechnical properties of the soils in the area affected by urban buildings will improve the accuracy and validity of the geological engineering predictions.

Keywords: autocorrelation, random motion, properties, loess, technogenesis

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук Г.П. Євграшкіною. Дата надходження рукопису 28.11.12.