

## К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ РЕШЕНИЯ ЭПИГНОЗНЫХ ЗАДАЧ ПО ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ МАССИВА

Наведена методика оцінки властивостей ґрунтів масиву за результатами досліджень, виконаних в 1951 р. на території міста Запоріжжя. Завдання відновлення минулих станів виникають при необхідності оцінки зміни стану масиву при виконанні моніторингу геологічного середовища.

*Ключові слова:* мінливість, епігноз, геологічне середовище.

Приведена методика оценки свойств грунтов массива по результатам исследований, выполненных в 1951 г. на территории г. Запорожья. Задачи восстановления прошлых состояний возникают при необходимости оценки изменения состояния массива при мониторинге геологической среды.

*Ключевые слова:* изменчивость, эпилгноз, геологическая среда.

A method for evaluation of soil properties on an array of research (1951, Zaporozhye) is findings. Problem of recovering the previous states are need to assess for changes of the state array until monitoring of geological environment.

*Keywords:* volatility, back calculations, the geological environment.

**Введение.** Наблюдение, оценка и прогноз представляют собой последовательные операции [1], в результате которых разрабатывают научно обоснованные рекомендации о методах и способах оптимизации состояния геологической среды [2]. С позиций системного анализа, прогнозирование требует установления закономерностей развития. Достоверность прогноза определяется «информацией, накопленной к моменту разработки прогноза» [3]. Разрыв между временем получения информации и временем поступления запроса на прогноз может быть значительным при решении эпилгнозных задач в процессе мониторинга. Изменение представлений о закономерностях развития процессов могут приводить к неполному соответствию качества и количества требуемой и имеющейся информации, особенно при изучении процессов с длинным «характерным временем» [4]. На примере обработки материалов изысканий, выполненных в 1951г. на территории г. Запорожья для проектирования и строительства Южно-Украинского канала, рассмотрены некоторые аспекты реконструкции полей свойств лессового массива, важные для оценки и сравнительного анализа современного состояния.

Реконструкция выполнена для создания математической модели изменчивости пространственных переменных (показателей свойств) в зоне аэрации в слабонарушенных условиях. Предполагалось, что изменчивость свойств гетерогенной многофазной системы (лессового массива) в пространстве возможных состояний, как и в реальном одномерном пространстве (по глубине), может быть описана с позиций теории случайных процессов. Изменчивость гранулометрического и минералогического состава, состояния по влажности и плотности, как результат техногенных воздействий, приводят к многовариантности © Т. П. Мокрицкая, 2012 регрессионных уравнений по типу, составу зависимых и независимых переменных. В общем виде, функция (зависимая переменная) должна характеризовать состояние как результат связей между переменными, обоснованно выбранными из стандартного набора. При обработке обычных результатов инженерно-геологических изысканий возможно построение регрессионных моделей различных типов. Во-первых,

отражающих связи между показателями физических свойств и между физическими и механическими свойствами. Уравнения второго типа характеризуют изменчивость в координатах.

Был выбран метод пошаговой регрессии прямых показателей: плотности и влажности, абсолютных деформаций, предельных напряжений при срезе, упорядоченных по глубине. На подготовительном этапе была выполнена оценка однородности и расчет параметров выборочных распределений, оценка тесноты связи между показателями на уровне отдельных точек, массива в объемах стратиграфо-генетических разностей и формации. Привлечены методы: первичный статистический анализ, параметрическая оценка выполнимости нормального закона распределения, кластерный анализ, непараметрическая корреляция, аппроксимация трендовой компоненты функции состояний методом пошаговой множественной регрессии. Изменчивость в координатах изучалась как временная последовательность на том основании, что ордината точки отбора (глубина) пропорциональна геологическому времени [5]. Выполнена аппроксимация трендовой и периодической компонент моделями случайных процессов типа ARIMA. Вид моделей указывает на вероятность развития случайных процессов разного типа: от нестационарного случайного блуждания до нестационарного временного ряда [7]. Использовано ПО «STATISTICA», «STATIST». Интерпретация результатов статистического анализа выполнена с учетом рекомендаций [6 – 9].

**Результаты исследований.** Для характеристики особенностей реконструкции свойств в точке, приведены результаты обработки материалов по данным опробования шурфа, пройденного на водораздельном плато. Общее количество монолитов – 21, по генезису все грунты однородны, так как относятся к одной формации, представлены субаквальными и субаэральными фациями всех отделов плейстоцена. Интервал по глубине между точками отбора 0,3 - 2 м, распределение интервалов несимметричное, нормальный закон выполняется. Ряд значений, упорядоченных по глубине, строго говоря, не является эквидистантным [9], но случайность ошибок задана выполнимостью нормального закона. Первичный статистический анализ показал, что нарушения однородности связаны с изменениями гранулометрического и минералогического состава по глубине, на что указывает несимметричность распределений плотности частиц из-за повышенного содержания фракций размером 0,1 – 0,25 мм. Как результат, неоднородны распределения показателей просадочных свойств, прочности. Асимметричность абсолютных деформаций на ступени давления 0,2 МПа (компрессионные испытания в состоянии полного водонасыщения) вызвана скачкообразным изменением величины деформаций на предыдущей ступени давления. Распределения показателей подчиняются нормальному закону, за исключением верхнего предела пластичности, абсолютных деформаций (давление 0,2 МПа, состояние полного водонасыщения) и касательных напряжений, определенных в результате испытаний на срез на начальных ступенях нормального давления. Деление на кластеры «показатели плотности», «показатели влажностей» четкое. На величине деформации (на начальных ступенях давления) сказывается содержание крупнопылеватых и песчаных частиц в большей степени, чем мелкопылеватых. Судя по тесноте связей между кластерами, состояние массива следует считать природным на том основании, что деление на кластеры не противоречит известным представлениям о тесноте связи между показателями. Корреляционный непараметрический анализ подтвердил зависимость от глубины отбора практически всех показателей физических свойств, коэффициенты корреляции Спирмена изменяются от 0,64 до 0,71. Получены однотипные уравнения множественной линейной регрессии связи абсолютных деформаций и влажности на границе текучести (табл. 1). Уравнения линейны, характеризуют трендовую составляющую многомерной функции, автокорреляция остатков отсутствует. Анализ параметров уравнений показал, что давление, превышающее начальное просадочное

[10] и состояние полного водонасыщения являются факторами, влияющими на тип связи между абсолютными значениями деформаций и физическими свойствами грунта. Уточненные значения коэффициента детерминации выше в состоянии полного водонасыщения, чем при естественной влажности при тех же значениях нормального давления. В ходе компрессии, после того, как давление превысило начальное просадочное давление, резко изменился тип связи, что доказывается резким увеличением скорректированного коэффициента детерминации. Абсолютное значение скорректированного коэффициента детерминации в этом случае указывает на степень близости связи между переменными к линейному типу [6].

Таблица 1

**Выборочные результаты аппроксимации многомерной переменной состояния  
лессовой формации в ненарушенных условиях  
(г. Запорожье, 1951 г.).**

Модель	AR <sup>2</sup>	Пере- менная	Параметры переменных		
			Beta	Partial	Tolerance
DEF0,15= - ,001Z+0,217WL	0,347	z	- 0,769	- 0,579	0,532
		WL	1,393	0,633	0,810
DEF0,25= -0,001Z+1,354WL	0,375	z	- 0,848	- 0,625	0,468
		WL	1,354	0,631	0,190
DS0,15= - 0,003Z+0,522WL	0,428	z	- 0,973	- 0,703	0,465
		WL	1,159	0,591	0,180
DS0,25= -0,006Z+0,535WL	0,649	z	- 1,157	- 0,824	0,465
		WL	0,812	0,669	0,363

**Примечания:** 1. DEF 0, 15 – величина абсолютной деформации при компрессионных испытаниях грунта естественной влажности, д. ед. на ступени давления 0,15 МПа; DS0,15 – величина абсолютной деформации при компрессионных испытаниях грунта полного водонасыщения, д. ед. на ступени давления 0,15 МПа; Z- глубина отбора, м; WL – верхний предел пластичности, д. ед.;

2. AR<sup>2</sup> – скорректированное значение коэффициента множественной корреляции; Beta – бета - коэффициент при зависимой переменной; Partial – частный коэффициент корреляции; Tolerance – показатель толерантности.

По мере изменения состояния, при большей интенсивности внешнего воздействия, нелинейные связи между деформациями и физическими свойствами сменяются линейными, что подтверждает полученные ранее, в других региональных условиях, выводы [11]. Параметры двух независимых переменных изменяются различно: частные коэффициенты корреляции увеличиваются при деформировании грунта в состоянии полного водонасыщения, а показатели толерантности сильнее изменяются при компрессии грунта естественной влажности.

При анализе отдельных случайных последовательностей свойств, определенных в одном шурфе, методами автокорреляционного анализа, зависимость тесноты и типа связи от интенсивности внешнего воздействия подтверждена. Упорядоченные по глубине последовательности значений физических свойств обнаруживают признаки периодичности, что является результатом флуктуаций палеогеографических условий разных порядков на протяжении формирования лессовой формации в плейстоцене. Создание модели изменчивости последовательности выполнялось по стандартной процедуре [8 – 9]. По значениям частной корреляционной функции оценивалась автокорреляция, стационарность ряда. Исключение тренда (первой разности соседних в ряду значений) приводило к стационарности ряда. Коэффициенты линейного тренда

определялись по экспериментальному ряду. Повторно проверялось наличие автокорреляции (лаг был принят равным минимально возможному значению, трем). Аппроксимация связности соседних остаточных значений выполнялась моделями авторегрессии типа ARIMA перебором вариантов. Выбор модели осуществлялся по условию минимума дисперсии нормально распределенных остатков, не имеющих признаков автокорреляции. Получены уравнения двух видов: с константой и без нее. Анализ параметров уравнений показал, что состояние грунта по влажности, величина нормального давления являются факторами, влияющими на тесноту связи. Теснота связи соседних значений абсолютных деформаций выше в состоянии полного водонасыщения, чем при естественной влажности. В интервале давлений, больших 0,15 МПа, значения параметра авторегрессии  $p(1)$  резко увеличиваются и в дальнейшем меняются незначительно. Вероятно, после разрушения структурных связей, поведение грунтов, относящихся к одной формации перигляциальных внеледниковых отложений, однотипно. Результаты авторегрессионного анализа отдельных упорядоченных последовательностей не противоречат результатам множественного регрессионного анализа многомерной переменной.

Анализ всей совокупности частных значений (количество значений – 118), показал, что статистически однородны распределения показателей физических свойств (исключение - природная влажность), физико-механических – неоднородны. Все распределения не подчиняются нормальному закону распределения. Дерево кластеров имеет стандартный вид. Корреляция с глубиной выше у плотности грунта, чем у показателей пластичности. Теснее коррелируют значения влажности и плотности грунта, верхнего предела пластичности и плотности частиц грунта. Коэффициенты ранговой корреляции изменяются от 0,23 до 0,64. Низкие значения скорректированного коэффициента детерминации  $AR^2$  указывают на «нелинейность» связей, как между физическими характеристиками, так и между физическими и механическими во всем интервале напряжений. Неоднородность геоморфологических условий, изменчивость мощности не повлияла на структуру дерева кластеров и тесноту связи между показателями физических свойств. С ростом нормальных напряжений в ходе компрессионных испытаний увеличивается количество включенных в модель переменных, значения скорректированного коэффициента детерминации. Начиная с напряжения 0,15 МПа, толерантность объясняющих (независимых) переменных (плотность грунта и глубина отбора) практически не изменяется, резкие изменения частного коэффициента корреляции и толерантности выражены в интервале нормальных напряжений 0,1–0,15 МПа. Анализ упорядоченных данных показал, что связностью последовательности физических свойств на уровне массива не обладали, частная автокорреляция, в основном, не значима. Получено единственное уравнение вида ARIMA (1,0,0) стандартизированных остатков от линейного тренда нижнего предела пластичности. Теснота связи остаточных значений низкая: параметр  $p(1)$  равен 0,218. Автокорреляция остатков абсолютных деформаций (состояние полного водонасыщения, нормальное напряжение больше 0,15 МПа) устраняется стандартизацией и снятием разностного тренда первого порядка, как и автокорреляция значений плотности частиц грунта.

**Выводы.** В зависимости от интенсивности внешних факторов тип связи между показателями физических и механических свойств в однородных инженерно - геологических условиях изменяется. В состоянии, близком к природному, изменчивость свойств по глубине описывается линейным трендом, при росте внешних воздействий - моделями авторегрессии первого порядка (Марковский процесс), которые сменяются нестационарным случайным блужданием, так как параметр  $p(1)$  становится близким к единице [7].

#### Библиографические ссылки

1. **Королев В. А.** Мониторинг геологической среды. Учебник для вузов. /В. А. Королев-М, – 1995
2. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності, Л. М. Климчук, П. . Блинов, В. Ф. Величко, С. І. Примушко, О. В. Фесенко, В. М. Шестопалов. – Київ, – 2008, 254 с.
3. **Антонов А. В.** Системный анализ. Учебник для вузов./А.В. Антонов – М:В.Ш, 2004
4. **Ситников А. Б.** Вопросы миграции в грунтах. /А. Б. Ситников. – К:, 2010.
5. **Дж. Дэвис.** Статистический анализ данных методы в геологии. В 2 кн. /Дэвис Дж. – М.,1990
6. **Бородич С. А.** Вводный курс эконометрики. Учебное пособие. /С. А. Бородич – Мн:БГУ, 2000
7. **Сухарев М. Г.** Методы прогнозирования. Уч. Пособ./М. Г. Сухарев. –М.:, 2009
8. **Садовникова Н. А.** Анализ временных рядов и прогнозирование. Учебное пособие./ Н. А. Садовникова, Р. А. Шмойлова – М., 2001 г.
9. **Безручко Б. П.** Математическое моделирование и хаотические временные ряды. / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов – Саратов, 2005.
10. **Мустафаев А. А.** Расчет оснований и фундаментов на просадочных грунтах: Учебное пособие для вузов/ А. А. Мустафаев.- М:, 1979, 168 с.
11. **Mokritskaya T. P., Shestopalov V. M.** Features of conduct ground loess formation by technogenetic impact on the example Dnipropetrovsk/Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety (EngeoPro-2011)/International Conference under the aegis of IAEG, Moscow, Russia, September 6-8, 2011/ absrtact-174 p.

*Надійшла до редколегії 24.11.11*