

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

УДК 551.435.627: 004.94:502.65



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДАННЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.И. Кацко, С.И. Маций[✉]

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

Аннотация. Целью исследований являлась разработка методики моделирования и прогнозирования состояния оползня по результатам наблюдений, полученных в реальном режиме времени, с использованием автоматизированной системы мониторинга, включающей в себя геотехническое и геодезическое оборудование (поверхностные наклонометры, электрические трехмерные трещиномеры, датчики давления грунта, инклинометры). Объект исследований – реальные данные результатов геотехнического мониторинга при проведении работ по строительству и реконструкции подпорных стенок на автомобильной дороге А-147 Джубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия, Краснодарский край, на участке км 195+310 – км 196+985. Традиционные методы изучения результатов мониторинга ограничиваются визуализацией наблюдений и расчетом описательных характеристик. Между тем наблюдения представляют собой временную последовательность, которая может быть рассмотрена с точки зрения теории стохастических временных рядов. Задача исследований заключалась в выявлении закономерностей развития оползневых процессов, чтобы актуализировать подход, опирающийся на данные. Полученные результаты анализа данных мониторинга оползневого склона позволяют сделать вывод о том, что наблюдения могут описываться моделями многомерных временных рядов (авторегрессии, скользящего среднего, авторегрессии скользящего среднего, авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего и векторной регрессии), которые могут использоваться для прогнозирования развития оползней и количественной оценки риска.

Ключевые слова: охрана земель, оползень, геотехнический мониторинг, временные ряды, оценка, модель

Формат цитирования: Кацко А.И., Маций С.И. Оценка состояния оползневого склона на основе анализа многомерных временных рядов данных геотехнического мониторинга // Природообустройство. 2024. № 3. С. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

Original article

ASSESSMENT OF THE STATE OF A LANDSLIDE SLOPE BASED ON THE ANALYSIS OF MULTIDIMENSIONAL TIME SERIES OF GEOTECHNICAL MONITORING DATA

A.I. Katsko, S.I. Matsiy[✉]

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia

Abstract. The purpose of the work is to develop a methodology for modeling and predicting the state of a landslide based on the results of observations obtained in real time using an automated monitoring system including geotechnical and geodetic equipment (surface tilt meters, electric three-dimensional fracture meters, soil pressure sensors, inclinometers). The object of the study is the real data of the results of geotechnical monitoring during the work on the “Construction and reconstruction of retaining walls on the A-147 Dzhubga- Sochi-border with the Republic of Abkhazia, Krasnodar Territory. On the section km 195+310 – km 196+985”. Traditional methods of studying monitoring results are limited to visualization of observations and calculation of descriptive characteristics, meanwhile, observations represent a time sequence that can be considered from the point of view of the theory of stochastic time series. The aim of the study was to identify patterns of landslide processes in order to update the data-based approach. The obtained results of the analysis of landslide slope monitoring data allow us to conclude that observations can be described by models of multidimensional time series (autoregressive, moving average, moving average autoregression, pro-integrated moving average autoregression and vector regression), which can be used to predict the development of landslides and quantify risk.

Keywords: land protection, landslide, geotechnical monitoring, time series, assessment, model

Format of citation: Katsko A.I., Matsiy S.I. Assessment of the state of a landslide slope based on the analysis of multidimensional time series of geotechnical monitoring data // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 80-87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>

Введение. Отсутствие регуляции естественного водного режима той или иной территории может проявляться в негативном действии воды на почву территории, что выражается в размыве почвы и появлении оползней. Хозяйственная деятельность человека требует тесного взаимодействия с природой, обустройства природных ландшафтов с учетом возведения природно-технических сооружений, что влечет необходимость исследования приемов защиты от оползней, в том числе возникающих в результате антропогенного воздействия человека на природу [1, 2]. Мероприятия для предупреждения этих явлений предполагают выполнение комплекса агротехнических, лесоводственных и водохозяйственных приемов, которые относят к мелиорации почв, в том числе для прилегающих автомобильных дорог, мостов, подпорных сооружений.

Активация оползневых процессов приводит к деформации подпорных сооружений и объектов инфраструктуры [3, 4]. Одной из основных задач природообустройства в настоящее время является надежная и рациональная эксплуатация земель различного назначения, которая в условиях ползучести грунта достигается благодаря использованию геотехнического мониторинга для разработки мер инженерной защиты.

Одним из признаков технического совершенства мелиоративной системы является степень автоматизации, которая в настоящее время в России осуществляется недостаточными темпами. Инженерная защита агроландшафтов и гидромелиоративных сооружений предусматривает проведение инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, расчет коэффициента устойчивости склона, проектирование мероприятий противооползневой защиты и их дальнейшую эксплуатацию [2, 3].

Геотехнический мониторинг предполагает регулярные инструментальные наблюдения, позволяющие выявить неблагоприятные тенденции (развитие оползневых процессов) с последующим управлением ходом работ. Результаты автоматических измерений различных геотехнических параметров – таких, как давление грунта на стену, угол наклона стены, размер раскрытия трещин по стене, уровень грунтовых вод, сдвиг оползневых тел на определенной глубине, фиксируются в один момент времени, что приводит к пониманию многомерности данных (временных рядов).

Влияние отдельных изменений происходит не сразу, что требует введения лаговых переменных. Если подпорная стена возведена, то в качестве результирующей переменной можно выбрать давление на нее грунта, а в качестве факторных переменных – основные результаты мониторинга. Показания инклинометра на различной глубине описываются уравнениями векторной авторегрессии, позволяющими связать сдвиги на разных уровнях окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой [5-7].

В исследованиях основной задачей геотехнического мониторинга являлось изучение результатов измерений автоматизированного измерительного комплекса, способного производить мониторинг уровня режима закрытой мелиоративной сети, атмосферного давления и температуры.

Геотехнический мониторинг используется также для изучения явления ползучести грунта при строительстве и эксплуатации сооружений. Различают следующие типы ползучести (рис. 1): условно-мгновенная, затухающая или

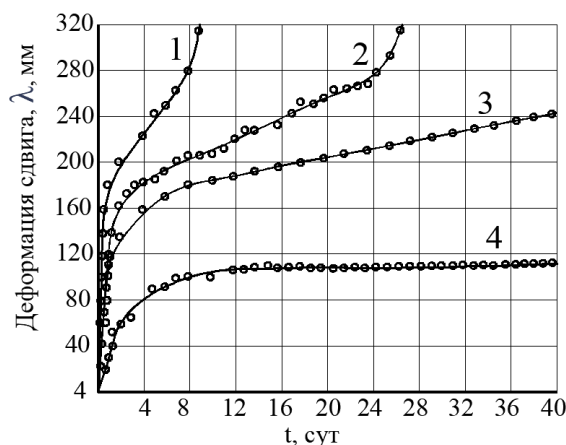


Рис. 1. Кривые ползучести при различных значениях касательного напряжения τ , выраженных в долях сопротивляемости грунта сдвигу, и постоянной нагрузке (нормальной напряжении), представленных на кривых:
1 – при $\tau = 0,55$; 2 – при $\tau = 0,47$;
3 – при $\tau = 0,43$; 4 – при $\tau = 0,40$

Fig. 1. Creep curves at different values of shear stress τ , expressed in fractions of soil shear resistance, and constant load (normal stress) presented on the curves:
1 – at $\tau = 0.55$; 2 – at $\tau = 0.47$;
3 – at $\tau = 0.43$; 4 – at $\tau = 0.40$

трециномеры (точки I, VI); датчики давления, наклономеры, трещиномеры (точка II); инклинометры, датчики давления, наклономеры, трещиномеры (точки III-V) (рис. 3). При использовании данных по трещиномерам и инклинометрам рассматривался итоговый общий вектор.

Рассмотрим третью группу наблюдений, так как именно с нее начинается изучение показаний инклинометров (рис. 4).

Рассмотрим для группы III расширенный тест Дики-Фуллера с константой на наличие единичного корня. Нулевая гипотеза – $H_0 : a = 1$, альтернативная гипотеза H_1 : ряд стационарен (табл. 1).

Для проверки гипотезы коинтеграции в третьей группе были выбраны нестационарные временные ряды g_{431} (датчик давления), $ab11$ (инклинометр на глубине 24 м), $ab13$ (инклинометр на глубине 16 м), для которых была принята гипотеза единичного корня (рис. 5). В результате выявлено, что гипотеза единичного корня не отвергается для отдельных переменных и отвергается для остатков. Это говорит о наличии оползневой процесса, от которого

зависят указанные переменные. Первые разности указанных выше измерений подтверждают стационарность, поэтому их модели могут быть описаны в виде $ARIMA(p, 1, q)$, а остальные временные ряды в точке 3 могут быть описаны моделью $ARMA(p, q)$ (табл. 2).

Рассмотрим построение модели VAR , в которой, согласно критерию Шварца, максимальный порядок лага составляет 2. Для примера рассмотрим только две переменные: $ab14, ab15$:

$$\begin{aligned} ab14_t &= 0,121^{***} + 0,347^{***} ab14_{t-1} + 0,271^{***} ab14_{t-2} + \\ &+ 0,029^{***} ab15_{t-1} - 0,022^{**} ab15_{t-2} \\ ab15_t &= 0,065^{***} + 0,345^{***} ab14_{t-1} - 0,040^{***} ab14_{t-2} + \\ &+ 0,474^{***} ab15_{t-1} - 0,445^{***} ab15_{t-2} \text{ м.} \end{aligned} \quad (2)$$

На рисунках 6, 7 представлены графики импульсного отклика влияния одной переменной на другую в модели VAR . Практически на всех графиках всплеск от импульса достигает максимума в 5-10 временных периодах и далее стабилизируется. Следовательно, максимальный сдвиг происходит в первые 2-3 ч после импульса на одном из уровней, отмеченных инклинометром.

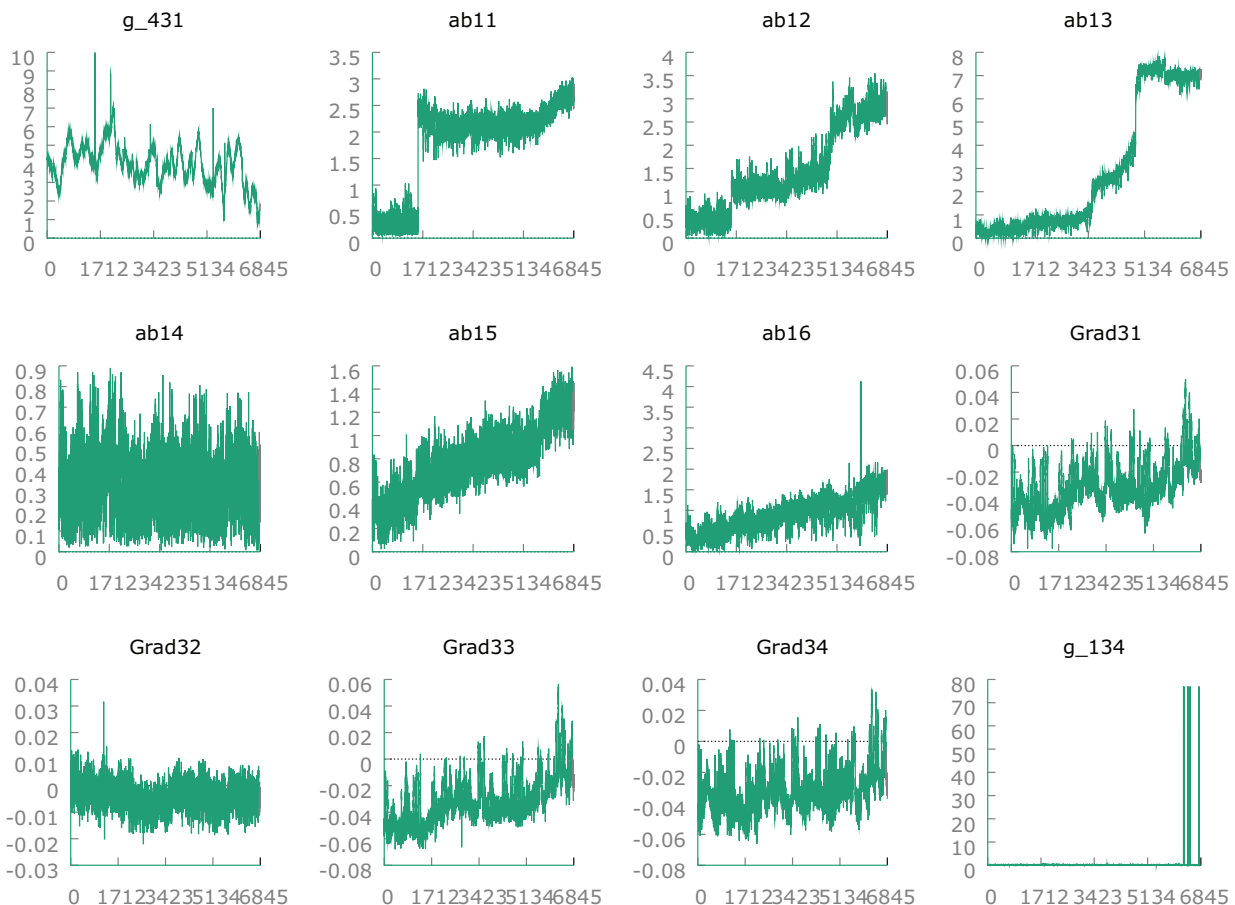


Рис. 4. Графики изменения показаний датчика давления, инклинометрических измерений, наклономера и трещиномера в точке 3

Fig. 4. Graphs of changes in the readings of the pressure sensor, inclinometric measurements, inclinometer and crack meter at point 3

Таблица 1. Расширенный тест Дики – Фуллера для III группы

Table 1. Extended Dickey-Fuller test for group III

Временной ряд <i>Time series</i>	р-значение для текущего уровня переменной <i>p-value for the current level of the variable</i>	р-значение для первой разности переменной <i>p-value for the first difference of the variable</i>	Нулевая гипотеза $H_0 : a = 1$, принимается <i>Null hypothesis $H_0 : a = 1$, accepted</i>	
			для текущего уровня переменной <i>for the current level of the variable</i>	для первой разности переменной <i>for the first difference of the variable</i>
g_431	0,00573	4,59e-52	да	нет
ab11	0,2585	1,277e-49	да	нет
ab12	0,0004294	5,658e-89	нет	нет
ab13	0,9568	9,069e-49	да	нет
ab14	4,728e-18	1,839e-50	нет	нет
ab15	2,844e-06	3,334e-81	нет	нет
ab16	3,271e-33	8,469e-79	нет	нет
Grad31	1,642e-22	8,58e-83	нет	нет
Grad32	2,494e-10	7,018e-52	нет	нет
Grad33	8,331e-20	2,638e-82	нет	нет
Grad34	1,915e-25	8,078e-79	нет	нет
g_134	3,634e-40	1,884e-50	нет	нет

Коинтеграционная регрессия –
МНК, использованы наблюдения 1-6848
Зависимая переменная: g_431

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	р-значение	
const	4.38657	0.0279043	157.2	0.0000	***
ab11	0.0389751	0.0170527	2.286	0.0223	**
ab13	-0.169124	0.00503986	-33.56	1.07e-228	***

Среднее завис. перемен 3.964992 Ст. откл. завис. перемен 1.072765
Сумма кв. остатков 6443.393 Ст. ошибка модели 0.970221
R-квадрат 0.182280 Исправ. R-квадрат 0.182041
Лог. правдоподобие -9508.365 Крит. Акаике 19022.73
Крит. Шварца 19043.22 Крит. Хеннана-Куинна 19029.80
параметр rho 0.997204 Стат. Дарбина-Уотсона 0.005899
обратите внимание на сокращенные обозначения статистики

Шаг 2: тестирование единичного корня для uhat

Расширенный тест Дики-Фуллера для uhat
включая один лаг для (1-L)uhat
объем выборки 6846
нулевая гипотеза единичного корня: a = 1

тест без константы
модель: (1-L)y = (a-1)*y(-1) + ... + e
оценка для (a - 1): -0.00405291
тестовая статистика: tau_c(3) = -4.77072
асимпт. р-значение 0.001856

Рис. 5. Тест на коинтеграцию для ряда g_431 (GRETl)

Fig. 5. Cointegration test for a series of g_431 (GRETl)

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что оползневые процессы, описываемые временными рядами в точке 3, описывают неустановившуюся (затухающую) ползучесть.

Аналогично рассмотрев в порядке возрастания порядкового номера групп, представим выводы по каждой из них: I группа – существует оползневой процесс; II группа – неустановившаяся ползучесть; IV группа – затухающая

ползучесть; V группа – затухающая ползучесть; VI группа – существует оползневой процесс.

Методика анализа, прогнозирования и оценки риска по результатам мониторинга. Данные, полученные по результатам геотехнического мониторинга, представляют собой многомерные временные ряды, которые имеют большой объем. Из трех основных фаз работы деформации основания сооружений вследствие ползучести глинистых грунтов (осадка, горизонтальное смещение, движение грунта по склону в сторону подпорной стены), в исследованиях рассмотрены изучение и прогнозирование оползневых процессов по склону во времени.

Результаты описания теории временных рядов и их использование на модельной задаче (было проанализировано более 150 временных рядов, в том числе более 90 – по результатам измерений инклинометров) позволили прийти к выводу о том, что неустановившаяся (затухающая) ползучесть без риска перехода в установившуюся или прогрессирующую может идентифицироваться на основании данных мониторинга с использованием моделей стационарных временных рядов или сводящихся к ним (ARMA, ARIMA, VAR) [11, 12, 14].

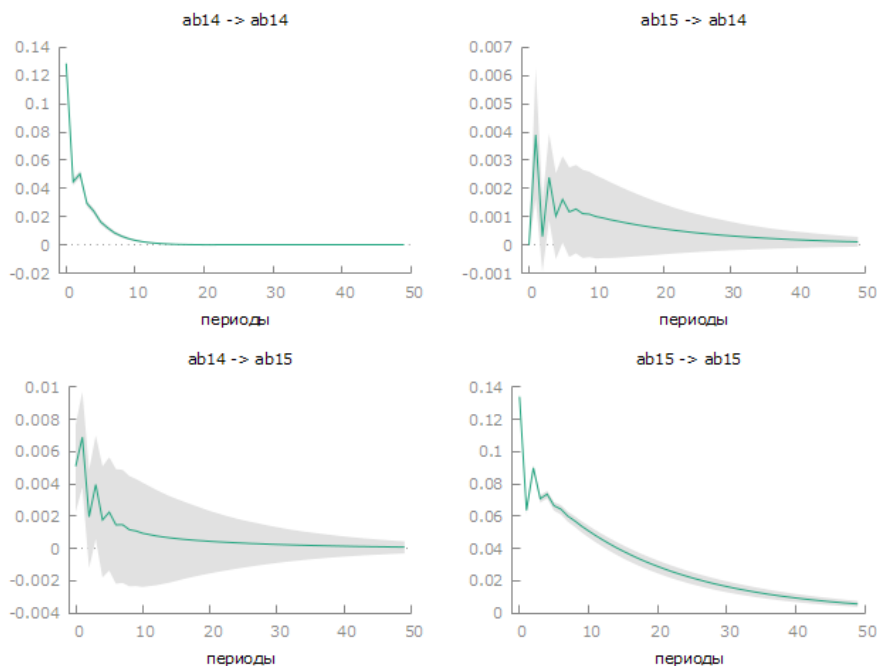
Предлагаемая методика изучения данных мониторинга заключается в выполнении изложенной ниже последовательности шагов.

1. Для имеющихся данных в виде временных рядов построим графики. Визуально по виду графика определяем, присутствует ли явный тренд, похож ли ряд на стационарный.

Таблица 2. Стохастические модели временных рядов в точке 3

Table 2. Stochastic time series models at point 3

Временной ряд	Модель	R^2
g_431	$\Delta^1 y_t = -0,0004 + 1,690^{***} y_{t-1} - 0,743^{***} y_{t-2} - 1,254^{***} \varepsilon_{t-1} + 0,337^{***} \varepsilon_{t-2}$	0,997
ab11	$\Delta^1 y_t = -0,0004 - 0,014^{***} y_{t-1} - 0,009^{***} y_{t-2} - 0,631^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,972
ab12	$y_t = 1,453^{***} + 0,984^{***} y_t$	0,582
ab13	$\Delta^1 y_t = -0,0001 - 0,533^{***} y_{t-1} - 0,236^{***} y_{t-2}$	0,420
ab14	$y_t = 0,029^{***} + 0,913^{***} y_{t-1} - 0,638^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,314
ab15	$y_t = 0,001^{***} + 0,999^{***} y_{t-1} - 0,896^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,723
ab16	$y_t = 0,908^{***} + 0,892^{***} y_{t-1}$	0,796
Grad31	$y_t = -0,032^{***} + 0,983^{***} y_{t-1} - 0,411^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,905
Grad32	$y_t = -0,004^{***} + 0,955^{***} y_{t-1} - 0,767^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,289
Grad33	$y_t = -0,032^{***} + 0,932^{***} y_{t-1}$	0,869
Grad34	$y_t = -0,032^{***} + 0,915^{***} y_{t-1}$	0,838
g_134	$y_t = 0,543^{***} + 0,615^{***} \varepsilon_{t-1}$	0,51

Рис. 6. Отклик на импульс размером в одну стандартную ошибку (статистический пакет GRETЛ):
ab_{ij} – общий вектор изменения (i – номер скважины, j – глубина)Fig. 6. Pulse response of one standard error (GRETЛ statistical package)
ab_{ij} is the general vector of change (i is the well number, j is the depth)

Определяем, позволяют ли взятие разности, преобразование данных (логарифмирование, извлечение квадратного корня и др.) получить ряд, близкий к стационарному.

2. Для статистической проверки ряда на стационарность (первоначального или преобразованного) проводим расширенный тест Дики-Фуллера на наличие единичного корня в характеристическом уравнении процесса (для исходного ряда или после взятия разности первого порядка).

3. Отклонение гипотезы о наличии единичного корня позволяет утверждать существование для изучаемого процесса автокорреляционной и частной автокорреляционной функции. По результатам изучения АКФ и ЧАКФ для исходного ряда или ряда первых разностей определяем вид процесса ARMA.

С использованием полученных результатов для одномерных временных рядов осуществляем прогноз. Если изучаемые временные ряды стационарны и существуют предположения об их

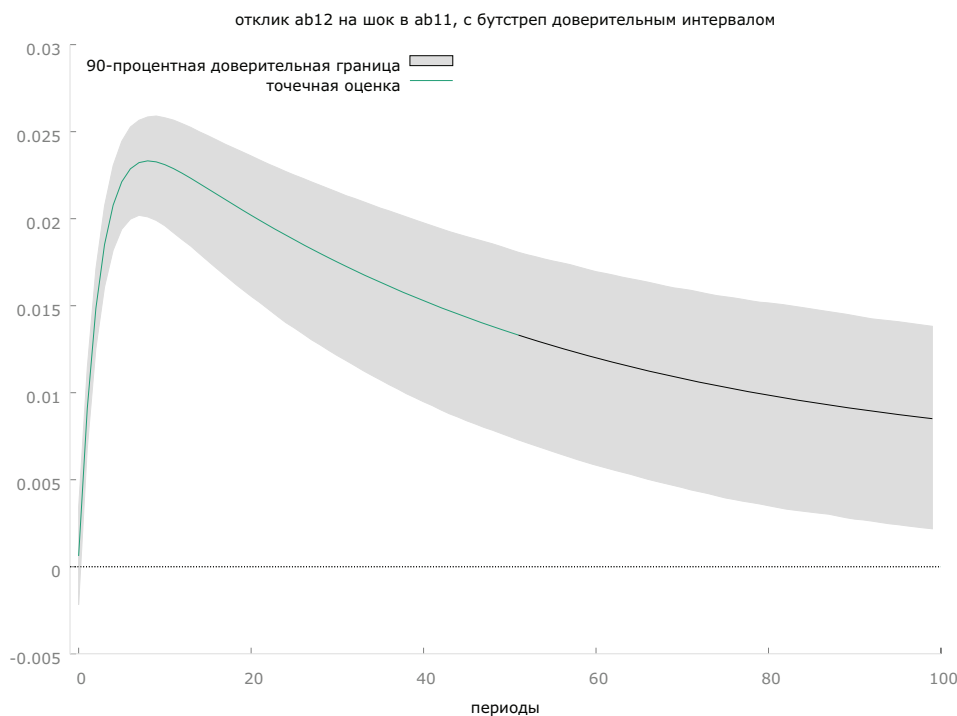


Рис. 7. Отклик на шок размером в одну стандартную ошибку в ab11 для ab12 (статистический пакет GRETЛ)

Fig. 7. Shock response of one standard error in ab11 for ab12 (GRETЛ statistical package)

взаимосвязи, то можно оценить векторную модель авторегрессии – VAR.

4. *Коинтеграция.* В случае нестационарности временных рядов, если они генерируются одним случайным процессом, возможно, их разность может быть стационарным процессом. Для проверки этой гипотезы используют тесты Йохансена и Энгла-Грэнжера.

5. Определяем лаг VAR-модели, опираясь на информационный критерий Шварца.

6. Оцениваем VAR-модель, переменные которой имеют один порядок интегрирования:

а) если переменные стационарны $I(d = 0)$, то строится VAR модель;

б) если переменные нестационарны $I(d = 1, 2)$, то возможны два случая:

– переменные коинтегрированы, и тогда строится векторная модель коррекции ошибок (VECM);

– переменные некоинтегрированы, тогда для достижения стационарности берутся разности $d = 1, 2$, и в случае отличной от нуля дисперсии строится VAR-модель.

7. На основе использования модели VAR строятся прогнозы и графики импульсных откликов.

Выводы

Надежная и рациональная эксплуатация противоэрозионных, противооползневых,

водоотводящих систем требует организации наблюдений за грунтовыми природоохранными сооружениями. При проведении геотехнического мониторинга для анализа и прогнозирования оползневых процессов рекомендуется использовать подход, опирающийся на данные, который дополняет возможности традиционных методов визуализации и описательной статистики, позволяя учитывать с использованием наблюдений во времени свойства и характеристики конкретного объекта.

Информация о состоянии изучаемого объекта и результаты прогноза его динамики являются основой для разработки мер защиты. Изучение временных рядов, полученных по результатам мониторинга, показало, что они (или разности) описываются моделями стохастических процессов (авторегрессии, скользящего среднего, авторегрессии скользящего среднего, авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, векторной регрессии). При опоре на результаты исследования предложена методика анализа, прогнозирования и оценки риска по результатам геотехнического мониторинга, включающая в себя использование указанных выше методов анализа временных рядов для выявления закономерностей ползучести грунтов и их прогнозирования с помощью импульсного моделирования.

Список использованных источников

1. **Базавлук В.А.** Инженерное обустройство территорий. Мелиорация: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2020. 139 с.
2. **Ильичев В.А., Мангушев Р.А.** Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.
3. **Маций С.И.** Противооползневая защита: монография. Краснодар: АлВидизайн, 2010. 288 с.
4. **Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.** Эрозия и охрана почв: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2021. 387 с.
5. **Маслов Н.Н.** Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 511 с.
6. **Нильсен Э.** Практический анализ временных рядов: прогнозирование со статистикой и машинное обучение. СПб.: Диалектика, 2021. 544 с.
7. **Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е.** Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 300 с.
8. **Гребнев Ю.С.** Инженерная защита от опасных геологических процессов. Руководство по расчету и проектированию противооползневых мероприятий. М.: GEOS, 2008. 274 с.
9. **Маслов Н.Н.** Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительстве. М.: Стройиздат, 1984. 176 с.
10. **Брантон С.Л., Куц Дж.Н.** Анализ данных в науке и технике. М.: ДМК Пресс, 2021. 542 с.
11. **Бокс Дж., Дженкинс Г.** Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. / Под ред. В.Ф. Писаренко. Кн. 1. М.: Мир, 1974. 406 с.
12. **Васьков И.М.** Крупномасштабные обвалы: геодинамика и прогноз. Владикавказ: ООО «Издательство ТРИУМФ», 2019. 365 с.
13. **Елисеева И.И.** Эконометрика: учебник для магистров. М.: Юрайт, 2014. 453 с.
14. **Бабешко Л.О.** Особенности построения и диагностики VAR-моделей в *GRET* // Фундаментальные исследования. 2022. № 3. С. 29-35.

Об авторах

Александр Игоревич Кацко, магистрант; sa_katsko@bk.ru

Сергей Иосифович Маций, д-р техн. наук, профессор; matsiy@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Кацко А.И., Маций С.И. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 15.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

References

1. **Bazavluk V.A.** Engineering arrangement of territories. Land reclamation: a textbook for universities. Moscow: Yurait Publishing House, 2020. 139p.
2. **Iyichev V.A., Mangushev R.A.** Handbook of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures: second edition, supplemented and revised. Moscow: Publishing House of the DIA, 2016. 1040 p.
3. **Mansii S.I.** Landslide protection: a monograph. Krasnodar: AlVidesign, 2010. 288p.
4. **Kuznetsov M.S., Glazunov G.P.** Erosion and soil protection: textbook for universities – 3rd ed., corrected and additional M.: Yurait Publishing House, 2021. 387p.
5. **Maslov N.N.** Fundamentals of engineering geology and soil mechanics: textbook for universities. Moscow: Higher School, 1982. 511p.
6. **Nielsen E.** Practical analysis of time series: forecasting with statistics and machine learning. St. Petersburg: Dialectics, 2021. 544p.
7. **Kuznetsov E.V., Khadjidi A.E.** Agricultural land reclamation complex for sustainable development of agricultural landscapes: a textbook. – St. Petersburg: Publishing house “Lan”, 2018. 300p.
8. **Grebnev Yu.S.** Engineering protection from dangerous geological processes. Guidelines for the calculation and design of landslide measures. M.: GEOS, 2008. 274p.
9. **Maslov N.N.** Physico-technical theory of creep of clay soils in construction practice. M.: Stroyizdat, 1984. 176p.
10. **Brunton S.L., Kutz J.N.** Data analysis in science and technology. Moscow: DMK Press, 2021. 542p.
11. **Box J., Jenkins G.** Time series analysis, forecasting and management: Translated from English // Edited by V.F. Pisarenko. – M.: Mir, 1974, book 1. – 406 p.
12. **Vaskov I.M.** Large-scale collapses: geodynamics and forecast. Vladikavkaz: 2019. Publishing house TRIUMPH Publishing House, 365 p.
13. **Eliseeva I.I.** Econometrics: textbook for masters / M.: Yurait, 2014. 453p.
14. **Babeshko L.O.** Features of construction and diagnostics of VAR models in *GRET* // Fundamental Research, 2022, No. 3. P. 29-35.

About the authors

Alexander I. Katsko, master's student; sa_katsko@bk.ru
Sergey I. Matsiy, DSc (Tech), professor; matsiy@mail.ru

Katsko A.I., Matsiy S.I. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.