

# МЕТОД АНАЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ И ОТКОСОВ С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ

Профессор, доктор геолого-минералогических наук Л. Б. РОЗОВСКИИ

*Резюме.* Для проверки результатов расчета устойчивости склонов может быть применен метод аналогий. Иногда он может употребляться как независимый метод анализа с помощью информационно-поисковых систем. Эти системы состоят из перфокарт с подобными краями, которые содержат информацию о существующих склонах (природные модели) как количественных и качественных критериях подобия. Описывается способ многостороннего поиска с помощью компьютера необходимой природной модели, имеющей соответствующую интервальную степень подобия.

Методы аналогий давно применяются для оценки устойчивости склонов и откосов. Несмотря на то, что высказывались соображения о неповторимых индивидуальных особенностях каждого оползня и, в связи с этим, отсутствия достаточного близких аналогов, отмечалась необходимость консервативность метода аналогий, используемого лишь что многие исследователи, выполнив расчет устойчивости одним из шестидесяти известных способов, свертывают его результаты с известными им прецедентами и собственным опытом, т. е. пользуются методом аналогий.

Это объясняется некоторым недоверием к расчетным методам, что связано с их общезвестными недостатками—трудностью выбора пары метров прочностных свойств массива пород, неясностью во многих случаях физической модели оползня, многообразия расчетных способов и др. В этих условиях исследователи нуждаются в принципиально новых методах и могут контролировать друг друга. Если результаты расчетов подтверждаются лабораторным воспроизведением оползня (на центробежной машине, на модели из эквивалентных материалов и др.) или наблюдением на аналогах, то точность результатов повышается.

Лабораторные испытания устойчивости склонов сложны и выполняются редко. Использование же природных аналогов более доступно, но оно связано с рядом трудностей. Дело в том, что многофакторный характер нарушений устойчивости склонов требует, чтобы аналогия охватывала сходством (подобием) многих свойств и условий. Поиск аналогов по многим факторам в природе весьма затруднителен, так как у

ных факторов и свойств двух сравниваемых склонов степень сходства может быть разной. В этих условиях использование аналогий носит субъективный характер.

Аналогии нередко применяются на уровне одной лишь типологии субъективных характеристик. В этом случае метод аналогий не может быть квалифицирован как строгий научный. Роль субъективных моментов снижается по мере выбора аналога, основывается на соотнесении требований теории подобия и моделирования и контролируется научно обос-

Факторграфические информационно-поисковые системы (ИПС), основанные на факторном анализе, могут рассматриваться как

[illegible][illegible]

формирование ИТС

Метод аналогий в инженерной геологии представляет собой систему исследований объектов, для которого нужно дать прогноз, — объектов исследования при помощи подобных аналогов. Прогноз ополз-

Важнейшим из них является метод аналогии, который применяется в геологии и географии. В основе его лежит сравнение объектов, имеющих сходные признаки. В геологии метод аналогии применяется для изучения геологических процессов, происходящих в настоящее время, на основании изучения геологических процессов, происходивших в прошлом. В географии метод аналогии применяется для изучения географических процессов, происходящих в настоящее время, на основании изучения географических процессов, происходивших в прошлом.

Метод аналогии для прогноза устойчивости включает следующие операции:

- 1) предварительный («пристрелочный») поиск природного аналога по качественным критериям подобия;
- 2) уточненный поиск аналога по количественным критериям подобия;

3) перенесение данных с аналога на объект прогноза. Можно заметить, что задачей первых двух операций является до-казательство подобия сравниваемых объектов. В нашей работе (По-зовский, 1969) вводится понятие «геологического подобия», обобщаю-щее принципальную возможность такого вида подобия у сложных и устанавливая возможность установления соответствия необходимых и достаточных условий для установления подобия.

геологических процессов и явлений, для моделирования геологических систем. Наличие условий подобия в явлении констатируется при выполнении требований трех теорем геологического подобия, которые представляют собой интерпретацию с рядом допущений трех теорем физическое подобия для условий геологических явлений и образования. Напомним

1. В подобных геологических процессах, явлений и образований некоторые характеристики совпадают (инварианты), другие изменяются (коварианты), третьи не совпадают и изменяются не-ся согласованно (коварианты), третьи не совпадают и изменяются не-ся согласованно (коварианты). Сходство критериев геологического по-добия (безразмерных комбинаций величин, представляющих инвари-

анти и коварианты) означает подобие явлений, процессов, образований. Подобные геологические явления, процессы, образования ха-

2. Подобные геологические явления, процессы, образования ха-  
рактеризуются качественными оценками или уравнениями, в которые  
входят критерии геологического подобия. Такие уравнения являются  
прогнозными в пределах границ, между которыми влияние монова-  
риантов не установлено.

надежные общие условия кинематической однозвучности. ИМС создаются из отдельных опознавательных районов, карбюратор, крупных строительных котлованов, железнодорожных выемок и т. т. Для каждого такого района формирования ИМС проходит в определенной последовательности, которая показана на блок-схеме формирования информационной системы для прогнозирования устойчивости склонов и откосов. ИМС начинается с унификации систем описания

склонов и откосов. ИПС начинается с унификации систем описания склонов или откосов. С этой целью разрабатывается анкета для опи-

Для конкретных оползневых районов, групп карьеров классификацию устойчивости склона и их эффективность.

Заполнение янкет для каждого конкретного профиля склона или откоса проводится по непосредственным наблюдениям, по данным снятым с крупномасштабных маркшейдерских и геологических карт, и другим материалам. Судя по нашему опыту, группа в 2—3 человека может подготовить в течение года «библиотеку аналогов» из 1000—

Унификация систем сбора информации о склонах и откосах; разработка макета анкеты и классификаций для отдельных лесконтуров

"Перепись" склонов и откосов; создание "библиотекки анкет", описывающих склоны и откосы района

Выбор качественных критериев подобия; вычисление количественных критериев подобия

Кодирование критериев подобия для записи на перфокарты и ввода в ЭВМ

Программа "Поиск аналога"

Программа "Статистика"

Запись данных об аналогах на перфокарты и в запоминающие устройства ЭЛВМ

Комплексный статистический анализ данных форматов; вычисление статистик парных и множественных коэффициентов корреляции и уравнений регрессии

Вычисление коэффициентов устойчивости на графику "заожение—высота склона"

Запись данных об аналогах в запоминающих устройствах ЭЛВМ

Счет по порамке "Критерии подобия"; вычисление критериев подобия и показателей их информативности; выбор существенных критериев

Предъявление испытуемого образца—ввод информации об объекте прогноза

Вычисление попарных критериев подобия; выбор наилучшего аналога

Перенос прогнозной величины с ближайшего аналога на объект прогноза

Запись данных на перфокарты; создание массива перфокарт аналогов

Выбор прогнозной величины

Запись информации об объекте прогноза (перфокарта "А")

Предъявление испытуемого образца—составление перфокарт "А" с массивом перфокарт аналогов; выделение перфокарт с совпадающими критериями ( $b_1; b_2; b_3; \dots; b_n$ )

Вычисление на ЭВМ попарных ( $A \text{ с } b_1; A \text{ с } b_2; A \text{ с } b_3; A \text{ с } b_4$  и т. д.) интегральных мер подобия—ИМП; определение наименьшего значения ИМП—выбор ближайшего аналога

1500 анкет—массив, вполне достаточный для функционирования ИПС. Таксоны классифицирующий являются одновременно качественными или атрибутивными критериями подобия. В ряде случаев уже при подобном счете может оказаться, что одних лишь этих критериев будет достаточно для выбора аналогов. Но применение и количественных критериев во всех случаях повышает точность выбора. Количественные критерии подобия представляют собой безразмерные величины, отражающие взаимное влияние существенных сторон явлений. Способы получения стратиграфических критериев для геологических процессов, явлений, образований—анализ размеров, комбинация по-казателей существенных факторов в безразмерные показатели, анализ дифференциальных уравнений, использование универсальных критериев теории физического подобия показаны в работе (Розовский, 1969). Для прогнозирования поведения склонов и откосов целесообразно пользоваться следующими количественными критериями:

$$K_1 = \mathcal{E}/h^2; K_2 = \mathcal{E}/h; K_3 = c/h; K_4 = c/h^2$$

критерии литологического подобия:

$$K_5 = \bar{\psi}; K_6 = \bar{\psi}^2$$

критерии геоморфического подобия профиля склона:

$$K_7 = l/l_1; K_8 = l_2/l_1$$

критерии геоморфического подобия контура склона:

$$K_9 = J$$

Здесь  $\mathcal{E}$ —общая энергия сил, разрывающих склон (энергия волн и др.);  $\mathcal{E}$ —то же, удельная;  $\gamma$ —объемный вес породы;  $h$ —высота склона;  $c$ —сцепление;  $\psi$ —средний угол сдвига выхлупа пород;  $l, l_1, l_2$ —соответственные линейные характеристики сравниваемых систем;  $J$ —коэффициент извилистости контура склона. Критерии  $K_1$  и  $K_2$  рекомендуется применять для выявления подобия абрадируемых или подсекаемых речной эрозией склонов.  $K_3$ —для одnorodных и изотропных склонов с горизонтальным залеганием пород. Этот критерий является важнейшим и представляет собой модификацию критерия Ньютона ( $Ne$ ). Остальные уточняют соответствие венные критерии. Очевидно, что приведенные критерии подобия могут быть дополнены в зависимости от конкретных условий. Например, А. Н. Лужецкий, разрабатывая ИПС «Оползни г. Одессы», предусматривает дополнения критерии «критерии оползня и два критерия геоморфического подобия—отношение ширины оползня к его длине и отношение средней мощности оползневых накоплений к ширине оползня.

Из одного лишь обзора количественных критериев подобия видно, что они сами по себе не являются достаточными для выявления подобия сложных геологических процессов, но, дополняя качественные критерии, в комплексе выполняют эти функции. Кроме того, количественные критерии создают условия для математической формализации оползневых процессов.

После накопления массива анкет необходимо перенести их содержание на такие носители информации, которые позволяют автоматизировать поиск нужного аналога. Этим целям могут служить перфокарты и запоминающие устройства ЭВМ.

Для описания склонов и откосов используются перфокарты руч-  
ной сортировки типа К-5 с двухрядной перфорацией. Каждый из ка-  
чественных критериев геологического подобия (классификаций) имеет  
свое поле на перфокарте, в зависимости от количества таксонов (гра-  
даций) в каждой классификации. Имеющаяся система «ключей» (лу-  
чистости даже развитых классификаций с числом таксонов до 25—30.  
На свободном поле перфокарты помещаются количественные кри-  
терии подобия или исходные данные для их вычисления с помощью  
ЭВМ, геолого-литологический разрез и адресные данные.  
Перевод информации из анкет на перфокарты производится после  
понимания кодирования информации соответствующим избранным клю-  
чевым. Массив перфокарт составляет «библиотеку природных анало-  
гов» — основную часть ИПС.

## IV Прогнозная характеристика

Следующим шагом является выбор так называемой прогнозной  
характеристики, которую желательно получить для склона и откоса —  
объекта прогноза. Основные условия выбора этой характеристики  
заключаются в том, что она неизвестна для объекта прогноза, но вы-  
яснена у всех природных аналогов. Это может быть одна из ХХI, ХХII  
или ХХIII классификаций.

Вторым требованием при выборе прогнозной характеристики являются  
связь со всеми остальными характеристиками склона, включенными  
в перфокарту.

Напомним, что в основе применения метода аналогии лежит пред-  
положение, по которому при наличии  $n$  сходных признаков у срав-  
няемых объектов характеристика « $n+1$ », неизвестная для объекта  
прогноза, может быть принята равной соответствующему признаку на  
аналоге. Если между признаком « $n+1$ » и остальными « $n$ » признаками  
нет связи, то применение аналогии невозможно.  
Качественные оценки устойчивости (неустойчив, временно устой-  
чив, длительно устойчив), эффективность осуществления мероприя-  
тий, длительность цикла «шат» оползня обычно легко определяются  
для каждого склона и откоса-аналога. Прогноз этих характеристик  
не имеет практического значения и, в общем, может быть осуществлен лю-  
бой ИПС «Оползни-откосы». Труднее прогнозировать коэффициенты ана-  
логов и не может быть вычислен из-за отсутствия физико-механиче-  
ских характеристик пород. В этом случае имеется возможность опре-  
делить коэффициент устойчивости по графику «заложение  $B$  — высота  
склона  $H$ » (сравнительно-геологический метод Е. П. Емельяновой  
(Емельянова, 1971). Этот график, для расчета которого имеется про-  
грамма для ЭВМ, эффективно используется для вычисления коэффи-  
циента устойчивости в том случае, если в «библиотеке аналогов», на-  
ходясь с устойчивыми откосами, имеется не менее трех аналогов, нахо-  
дящихся в состоянии активного оползневых движений, характеристи-  
ки заложения и высоты которых позволяют построить огибающую на  
графике  $B=f(H)$ . Как правило, в оползневых районах такие профи-  
ли имеются, и поэтому коэффициент устойчивости также может быть  
включен в число прогнозных характеристик.

## Выбор базисного аналога и прогноз

Дальнейший поиск природных аналогов может быть выполнен не-  
сколькими путями.

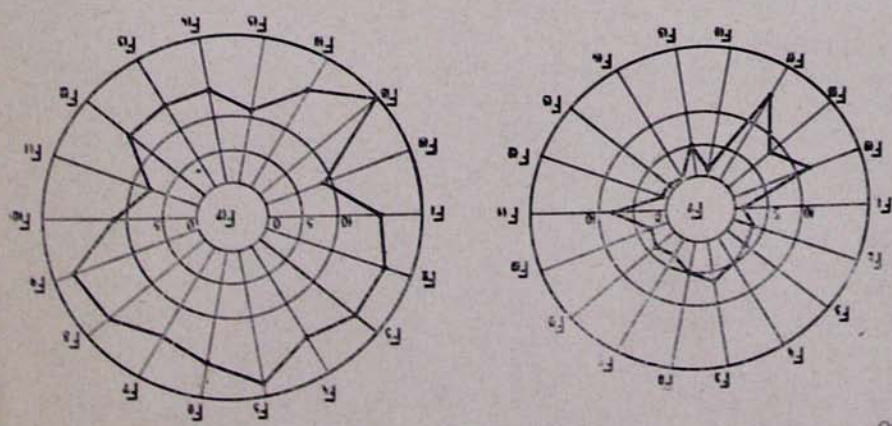


Fig. 1. The comparison of  $F_2$  and  $F_1$  profiles with other landslide profiles by the

integral measure of similarity.

интегральной мере подобия.

Fig. 1. Сравнение профилей  $F_2$  и  $F_1$  с другими оползевыми профилями по

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

интегральной мере подобия.

Если «библиотека аналогов» представляется массивом перфокарт, то выбор аналога производится или ручной сортировкой, или с помощью селктора. При сопоставлении с перфокартной картой объекта можно заметить, что некоторые из массивов будут выпадать те карты, у которых вырез на перфорационном поле оказались одинаковыми. Приемущество применения перфокарт заключается в том, что они путем несложной сортировки обеспечивают многоаспектный (по ряду признаков) выбор аналога. При этом не требуется располагать перфокарты в массиве в какой-то определенной последовательности. При первой же операции сравнения с перфокартной картой объекта происходит резко сокращается количество перфокарт для дальнейшего поиска. Например, из массива в 1000 перфокарт может остаться 20—30 перфокарт, имеющих общие качественные критерии подобия с объектом прогноза. Дальнейший выбор «ближайший» аналог из них выполняется или ручным перебором перфокарт, или вычислением интегральной меры подобия (ИМП). В настоящее время разработано более десяти предложений по вычислению ИМП. Наиболее простым является метод Эвклидова расстояния для  $n$ -мерного пространства. В этом случае ИМП вычисляется по формуле

$$S(P, F) = (1/M_i) [d^2(P, f_1) + d^2(P, f_2) + \dots + d^2(P, f_m)],$$

$$d^2(P, F) = (1/M_i) [d^2(P, f_1) + d^2(P, f_2) + \dots + d^2(P, f_m)],$$

$$d^2(P, f_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j^2 (P_j - f_{ij})^2, \quad i = 1, \dots, M_i,$$

где  $\omega$  — «весовой коэффициент» (удельное значение) критерия. Пример вычисления ИМП показан в нашей работе (Розовский, 1969). Расчеты производятся на ЭВМ. Для практических целей оценки подобия необходимо эмпирически определить и некоторый «порог подобия», т. е. максимальное значение



# ANALOGY METHOD IN INFORMATION AND RETRIEVAL SYSTEMS FOR EVALUATION OF SLOPE STABILITY

LEV B. ROSOVSKY, Prof., Dr. Sc. (Geol. Miner.)<sup>1</sup>

SINOPSIS. Analogy method may be used for control of results of the slope stability calculation. Sometimes it can be used as an independent method for forecast. Some ways to improve analogy method for these purposes by making the information and retrieval systems are described. These systems consist of perforated (edge notched) cards which contain information about existing slopes (natural models) as quantitative and qualitative criteria of similarity. The procedure of the multi-aspect searching of the necessary natural model by computers according to the integral degree of similarity is described.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ—REFERENCES

- Гусельников И. И., Туринько А. Д., 1967. Перфокарты с краевой перфорацией. М., изд. «Высшая школа».
- Емельянова Е. П., 1971. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и порог за оползней. М., изд. «Недра».
- Лазарев Т. Н., Котан Р. И., Белов Ю. П., Мухоморов А. Г., 1972. Агропития и про-граммы для решения типовых геологических задач. ВИАМС, М.
- Позовский Л. Б., 1969. Введение в теорию геологического подобия и натурального моделирования. М., изд. «Недра».

<sup>1</sup> Head, Chair of Engineering Geology and Hydrogeology, Mechnikov's State University, Odessa.