

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН в 1946 г.

Выходит
один раз в два месяца

1980. ИЮЛЬ — АВГУСТ

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ № 4

Издательство Московского университета

СОДЕРЖАНИЕ

Саушкин Ю. Г. Природно-хозяйственные районы Советского Союза	3
Воронов А. Г., Каплин П. А., Мамаев О. И. Географические проблемы на XIV Тихоокеанском научном конгрессе	14
Зейдис И. М., Симонов Ю. Г. Эффект структурной памяти в динамике географических явлений	21
Горшков С. П., Ермаков Ю. Г., Куракова Л. И., Рябчиков А. М. Некоторые аспекты антропогенного изменения круговорота вещества	27
Култашев Н. Б. О содержании проблемы «теоретического» в географии	35
Невяжский И. И. Методы природно-хозяйственного районирования	41
Московкин В. М., Трофимов А. М. К теории геоморфологического подobia	46
Кленов В. И. Некоторые закономерности формирования террасовых рядов	53
Золотарев Е. А., Лаптев М. Н. Лавинный кадастр и его содержание при оценке лавинной опасности	58
Орлов А. В. Морфоскопическое исследование морен горноледниковых районов Кавказа	65
Варна Н. П. Некоторые особенности построения крупномасштабных фитоэкологических карт для аридных территорий (на примере юго-восточной части массива Рын-Песков)	68
Воскресенский И. С. Анализ щебнисто-галечного материала для целей определения генезиса рыхлых осадков	75
Никитин И. Е. Подетальная специализация и вопросы размещения промышленности	79
Ротшильд Е. В., Солдаткин И. С. Современные взгляды на энзоотию чумы и прогнозирование природных очагов при хозяйственном освоении территории	83

Юбилеи

Шестидесятилетие Кирилла Вячеславовича Зворыкина	87
Шестидесятилетие Константина Геннадиевича Тихоцкого	87

Потери науки

Борис Алексеевич Тутыхин	89
------------------------------------	----

Хроника

Солицев Н. А. Присуждение Больших золотых медалей Географического общества СССР И. Д. Папанину и И. П. Герасимову	90
Лазуков Г. И. Проблемы совершенствования высшего географического образования	92
Косов Б. Ф., Ларионов Г. А. Конференция по теоретическим основам защиты почв от эрозии	95
Вардомский Л. Б., Мироненко Н. С. Экономические связи союзных республик	96
Виноградова Н. Н., Дьяконов К. Н., Чалов Р. С. Актуальные проблемы влияния водохранилищ ГЭС на хозяйственные объекты и природную среду	98

и индикатором хозяйственной деятельности. По предлагаемому виду деятельности можно в определенных природных условиях прогнозировать возникновение определенных модификаций морфологии природных комплексов; 3) районирование проводится по изменениям структуры и текстуры от места к месту. Это можно выполнять как по дистанционным материалам, так и по различным тематическим картам; 4) для успеха районирования необходима формально-геометрическая типология структур и текстур, которая абсолютно обязательно должна сопровождаться содержательной классификацией природных и природно-антропогенных образований; 5) дальнейшее развитие структурно-текстурного принципа районирования пойдет по линии содержательных классификаций и будет сопровождаться математическим анализом.

Сказанное позволяет теперь дать дополнительный ответ на мнение Н. Н. Колосовского о том, что между природными и экономическими районами должна быть закономерная территориальная связь. Связь эта в ряду других форм связи проявляется и через отклик природы на хозяйственное воздействие, через наложение антропогенных модификаций морфологии природно-территориальных комплексов. Раскрытие этой связи требует сопоставления эколого-географического района как с системой восстановленных ландшафтов, так и с хозяйственным районом. Первое позволит выявить глубину антропогенного воздействия и отчасти прогнозировать дальнейшее развитие региона; второе диктует необходимость предварительного проведения хозяйственного районирования. Сопоставление эколого-географического района с хозяйственным районом позволит глубже понять характер взаимообусловленности природных и хозяйственных процессов. Наконец, синтез трех видов районирования, опирающийся на реально сложившуюся и прогнозируемую морфологию природного, природно-антропогенного и технологического характера может дать природно-хозяйственное районирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосовский Н. Н. Теория экономического районирования. М., 1969.
2. Невяжский И. И. Геометрия ареалов воздействия. Вопросы современной биогеографии. М., 1975.
3. Порывкина О. В., Сирота Н. П., Шищенко П. Г. Исследование ландшафтной структуры территории путем анализа соотношений и повторяемости морфологических частей природных комплексов.— В кн.: Проблемы ландшафтных исследований. М., 1968.
4. Рябчиков А. М. Структура и динамика геосферы. М., 1972.
5. Федина А. Е. Учет хозяйственной деятельности в физико-географическом районировании.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1979, № 1.
6. Фридланд В. М. Структура почвенного покрова. М., 1972.

Поступила в редакцию
29.12.79

УДК 551.311.235.2.001.57

В. М. МОСКОВКИН, А. М. ТРОФИМОВ

К ТЕОРИИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Во многих областях науки и техники широкое применение нашли методы теории подобия и размерностей, которые предполагают экспериментальное моделирование процессов. Общая теория вопроса изложена в монографии Л. И. Седова [5]. Применительно к геологическим процессам данные методы обоснованы Л. Б. Розовским [4].

С помощью этих методов в работе исследован ряд склоновых процессов и получены критерии их подобия, необходимые для перехода от модели (аналога) на реальный объект. Кроме получения критериев подобия эти методы позволяют упрощать искомые зависимости, т. е. позволяют искать их не от всех физических (определяющих) параметров, а от их безразмерных комбинаций (они также являются критериями подобия), число которых меньше. Такая процедура, основана на π -теореме, которая говорит о том, что число безразмерных комбинаций, определяющих изучаемую величину при n -размерных параметрах равно $n - 3$, в случае когда за основную систему принимается система трех единиц измерения L, M, T [1].

Моделирование процесса капельно-дождевой эрозии

Попытка анализа процесса капельно-дождевой эрозии методами теории подобия и размерностей в зависимости от кинетической энергии и количества движения осадков была предложена А. Е. Шайдеггером [9]. Он исходил из гипотез пропорциональности интенсивности капельно-дождевой эрозии кинетической энергии и количеству движения осадков, не делая подробный анализ размерностей, с учетом основных физических характеристик почвы и капель дождя.

При ударном воздействии капель однородного дождя на некоторую поверхность нами были получены следующие результаты [2]:

$$Q = \frac{P}{q} f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9), \quad (1)$$

где

$$K_1 = \frac{I}{\sqrt{d_k q}}, \quad K_2 = \frac{\dot{I}_0}{I}, \quad K_3 = \frac{\gamma d_\gamma}{c}, \quad K_4 = \frac{qc\gamma}{P^2}, \quad K_5 = \frac{d_\gamma}{d_k},$$

$$K_6 = \frac{F}{d_k^2}, \quad K_7 = t \sqrt{\frac{q}{d_k}}, \quad K_8 = \alpha, \quad K_9 = \frac{F}{\Delta^2},$$

где Q — количество (масса) разрушаемой почвы на единице площади в единицу времени; q — ускорение силы тяжести; d_k — диаметр капли; c — сила сцепления почвенных частиц; γ — удельный вес почвенных частиц; d — диаметр почвенных частиц; F — площадь поверхности, на которую выпадают осадки интенсивности I и продолжительности t ; Δ — размер выступов шероховатости.

При равенстве критериев подобия аналога и объекта из формулы (1) следует соотношение для перехода от аналога на объект (в процессе экспериментального моделирования не всегда удается соблюдение всех критериев подобия)

$$Q_o = Q_a \frac{P_o}{P_a}. \quad (2)$$

Седьмой критерий подобия обеспечивает подобия временных промежутков

$$t_o = t_a \sqrt{\frac{d_{k_o}}{d_{k_a}}}. \quad (3)$$

Индексы «а» и «о» в соотношениях (2, 3) соответствуют аналогу и объекту. Заметим, что соотношение (3) не позволяет моделировать большие промежутки времени.

Из первого, шестого и седьмого критериев был получен критерий $\frac{It}{\sqrt{F}}$, обеспечивающий выпадения одинакового количества капель на модель (аналог) и объект. Приведем пример на использование первого, шестого и седьмого критериев подобия. Допустим, мы хотим смоделировать десятиминутный ливень интенсивности $I_0=3$ мм/мин с диаметром капель $d_{k_0}=4$ мм на площади $F=10^4$ м²=1 га, тогда формула (3) даст при $d_{k_a}=0,04$ мм следующее время искусственного дождевания $t_a=1$ мин, а первый и шестой критерий подобия дадут соответственно $I_a=0,3$ мм/мин и $F_a=1$ м². Таким образом, чтобы смоделировать ливень с данными характеристиками на данной площади, надо дождевать одну минуту каплями 0,04 мм в диаметре с интенсивностью 0,3 мм/мин на площади 1 м².

При пользовании формулой (1) определенные трудности возникнут при нахождении параметров P и c .

Зная спектр и интенсивность осадков, а также формулу для силы удара каждой отдельной капли, можно определить суммарную силу всех капель, выпадающих на определенную площадь в определенное время. Здесь важно отметить, что одна и та же суммарная сила капель может быть получена при различной комбинации капель в дожде, т. е. при различном спектре, а следовательно, будет различным и количество разрушаемой (разбрызгиваемой) почвы. Поэтому при реальном дожде, имеющем определенный спектр, в отличие от рассмотренного случая однородного дожда следует определять количество разрушаемой почвы в результате одного удара определенной капли и общее количество разрушаемой почвы находить через суммирование по всем каплям [3].

Если за прогнозный параметр взять количество разбрызгиваемой почвы (Q) в результате удара отдельной капли в единицах массы, а за определяющие параметры ($d_k, d_\gamma, c, \gamma, q, \alpha$) — коэффициент поверхностного натяжения воды, η — вязкость воды, V_k — скорость падения капли в момент, предшествующий удару, ρ_k — плотность воды, то с помощью анализа размерностей получим следующую формулу [3]

$$Q = \rho_k d_k^3 f \left(Re, We, Fr, \frac{d_\gamma}{d_k}, \frac{\gamma}{\gamma_k}, \frac{c}{\rho_k V_k^2} \right), \quad (4)$$

где

$$\gamma_k = \rho_k q, \quad Re = \frac{V_k \rho_k d_k}{\eta} \text{ — число Рейнольдса,}$$

$$We = \frac{\rho_k d_k V_k^2}{\alpha} \text{ — число Вебера, } Fr = \frac{V_k^2}{g d_k} \text{ — число Фруда.}$$

Последний критерий подобия в формуле (4) характеризует соотношение сил сцепления и давления при ударе. Взяв $\alpha=73$ дин/см, $\eta = 10^{-2} \frac{\text{г}}{\text{см с}}$ для двадцатиградусной температуры воды и d_k, V_k , изменяющиеся в пределах $d_k=0,1$ мм, $V_k=27$ см/с $\div d_k=5,8$ мм, $V_k=917$ см/с для естественных осадков [7] (по последним данным максимальные размеры капель в интенсивных ливнях могут достигать 8 мм), получим следующие интервалы значений чисел Рейнольдса, Фруда и Вебера: $Re(27-53,6 \cdot 10^2)$, $Fr(74,4-14,8 \cdot 10^2)$, $We(0,1-6,68 \cdot 10^3)$.

Если вместо скорости V_k рассматривать давление при ударе капли (R), то вместо формулы (4) получим

$$Q = \frac{R d_k}{q} f \left(\frac{R}{\eta} \sqrt{\frac{d_k}{q}}, \frac{R d_k}{\alpha}, \frac{d_\gamma}{d_k}, \frac{\gamma}{\gamma_k}, \frac{c}{R} \right). \quad (5)$$

Следует отметить, что при анализе размерностей непосредственно получаются критерии, обратные числам Рейнольдса, Вебера и Фруда, то же самое имеет место и для первых трех критериев в формуле (5).

Моделирование процессов абразии и боковой эрозии

При абразионном разрушении уступов подмываемых берегов, сложенных прочной породой, суммарный эффект их разрушения (образование и рост волноприбойных ниш и следующее за этим обваливание масс) приводит к общему процессу отступания. При моделировании развития таких берегов за определяющие параметры можно принять следующие: $P = [ML^{-1}T^{-3}]$ — сила воздействия волнового потока на основание уступа; $q [LT^{-2}]$ — ускорение силы тяжести; $c [ML^{-1}T^{-2}]$ — прочность породы; $\gamma [ML^{-2}T^{-2}]$ — удельный вес породы; $h[L]$ — высота волноприбойной ниши; $H[L]$ — высота уступа. Здесь не берем во внимание безразмерные параметры, такие, как уклон уступа и другие, так как они не усложняют анализ размерностей. За прогнозную величину возьмем количество размываемой породы в единицу времени на единицу площади $m [ML^{-2}T^{-1}]$. Анализ размерностей для степенного полинома

$$m = P^x q^y c^z \gamma^\alpha h^\beta H^\delta \quad (6)$$

дает

$$m = \frac{P}{q} \left(\frac{P^2 h}{q c^2} \right)^{\beta + \delta} \left(\frac{H}{h} \right)^\delta \left(\frac{q c \gamma}{P^2} \right)^\alpha \quad (7)$$

Из первого и третьего безразмерного комплекса сформируем критерий подобия $\frac{h\gamma}{c}$ и окончательно получим

$$m = \frac{P}{q} f(K_1, K_2, K_3), \quad (8)$$

где

$$K_1 = \frac{h\gamma}{c}; \quad K_2 = \frac{H}{h}; \quad K_3 = \frac{q c \gamma}{P^2}.$$

При совпадении критериев подобия аналога и объекта из (8) получим

$$m_o = m_a \frac{P_o}{P_a}. \quad (9)$$

Учитывая, что $m = \rho V$, где ρ — плотность породы, $V/m^3/m^2$ год/ — линейная скорость отступания, получим вместо (8) следующую зависимость

$$V = \frac{P}{\gamma} f(K_1, K_2, K_3) \quad (10)$$

и выражение (9) примет соответственно вид

$$V_o = V_a \frac{P_o}{P_a}. \quad (11)$$

Рассмотрим теперь уступы, сложенные непрочными породами. Р. Н. Холматова [6], рассматривая переработку Южносурханского водохранилища, сложенного лёссовыми и глинистыми породами, приво-

дит следующие физико-механические свойства пород: объемный вес (γ), пористость (n), число пластичности (k), тангенс угла внутреннего трения ($\operatorname{tg} \alpha$) при естественной влажности, силу сцепления (c), скорость размокания (t в с), а также силу волнения и высоту уступа (H), влияющие, как и предыдущие факторы, на процесс динамики берегов.

Сила волнения P имела размерность $[MT^{-2}]$, а $\gamma - [ML^{-2}T^{-2}]$. Анализ размерностей для определения линейной скорости отступления уступа

$$V = P^x c^y t^z \gamma^\alpha H^\beta n^\lambda (\operatorname{tg} \varphi)^\delta k^\eta \quad (12)$$

дает

$$V = \frac{P}{ct} f\left(\frac{\gamma H}{c}, \frac{cH}{P}, n, \operatorname{tg} \varphi, k\right). \quad (13)$$

Натурные наблюдения Р. Н. Холматовой [6] согласуются с этой зависимостью. Объем переработки, по ее исследованиям, обратно пропорционален силе сцепления и скорости размокания.

При комплексном моделировании развития абразионных склонов следует рассматривать критерий подобия

$$K = \frac{E_{\text{скл}}}{E_{\text{шт}}}, \quad (14)$$

который характеризует соотношение энергии штормов ($E_{\text{шт}}$) и энергии склоновых потоков ($E_{\text{скл}}$).

При изучении взаимодействия склоновых потоков с руслом реки целесообразно рассматривать следующие критерии подобия:

$$K_1 = \frac{Q_{\text{скл}}}{Q_p}, K_2 = \frac{q_{\text{скл}}}{q_p}, K_3 = \frac{E_{\text{скл}}}{E_p}, K_4 = \frac{L}{B}, \\ K_5 = \frac{L}{b}, K_6 = \frac{b}{H}, K_7 = \alpha, K_8 = \beta, \quad (15)$$

где $Q_{\text{скл}}$, Q_p и $q_{\text{скл}}$, q_p — жидкие и твердые расходы склонового и речного потоков; $E_{\text{скл}}$, E_p — кинетические энергии склонового и речного потоков; L , B — длина и ширина склона; b , H — максимальная глубина реки; α , β — углы склона и отмели.

При рассмотрении водных склоновых потоков, расписывая подробнее значения Q_p , q_p и E_p , для первых трех критериев подобия получим следующие выражения

$$K_1 = \frac{I\sigma F}{V_p S}, K_2 = K_1 \frac{\rho_{\text{скл}}}{\rho_p}, K_3 = K_1 \frac{V_{\text{скл}}^2}{V_p^2}, \quad (16)$$

где I — интенсивность дождя или снеготаяния; σ — коэффициент стока; $F = LB$ — площадь водосбора, равная площади склона; $V_{\text{скл}}$, V_p — скорости склонового и речного потоков; $\rho_{\text{скл}}$, $\rho_{\text{мут}}$ — мутности этих потоков; S — площадь поперечного сечения речного потока.

Жидкий расход склонового стока брался в конечном створе $Q_{\text{скл}} = I\sigma F$; причем имеет место соотношение $Q_{\text{скл}} = V_{\text{скл}} B h$, где глубина потока (h) и его скорость ($V_{\text{скл}}$) соответствуют конечному створу. При получении критерия подобия K_3 энергии потоков брались в виде $E = -\frac{\rho}{2} QV^2$, где ρ — плотность воды; т. е. фактически рас-

смаивались мощности потоков (Дж/см). Заметим, что при моделировании наряду с критериями подобия (15) необходимы критерии, учитывающие литологические характеристики пород.

Примером экспериментального моделирования взаимодействия склоновых и русловых (овражных) процессов являются работы Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ, проводимые без анализа размерностей и подобия, но тем не менее очень важных с точки зрения познания механизма этого взаимодействия.

Примером экспериментального моделирования развития абразионных уступов может служить работа [10]. В ней было экспериментально получено уравнение для общей эродирующей силы волн $F_{эп}$

$$F_{эп} = K \ln \frac{f_w}{f_r},$$
 где f_w — атакующая сила волн, действующих на клиф (кгс/см²); f_r — сила сопротивления пород размыву (кгс/см²). Из этой формулы сразу видим, что выражение $\frac{f_w}{f_r}$ является одним из основных критериев подобия при экспериментальном моделировании процессов абразии. В этой работе также не ставилась цель анализа размерностей и подобия. Заметим, что вторым основным критерием подобия должен являться критерий, дающий привязку ко времени. В качестве такого следует взять критерий ωT , где ω — частота удара волн о клиф (или частота волн на глубокой воде); T — рассматриваемый промежуток времени. Этот критерий говорит о том, что количество ударов волн о клиф на модели и объекте должно быть одинаковым. Остальные критерии являются морфометрическими.

Моделирование процесса разгрузки внутренней напряженности массива

Пусть имеется уступ высотой H , длиной a и шириной b . Определим заложение трещины бортового отпора l [h] в зависимости от H [L], γ [$ML^{-2}T^{-2}$], q [LT^{-2}], U [$ML^{-2}T^{-2}$] (потенциальная энергия уступа), \bar{c} [$ML^{-1}T^{-2}$], a [L], b [L].

Анализ размерностей дает следующую зависимость

$$l = Hf \left(\frac{U}{H^2\gamma}, \frac{c}{H\gamma}, \frac{a}{H}, \frac{b}{a} \right). \quad (17)$$

Так как потенциальная энергия уступа равна $U = \frac{\gamma}{2} abH^2$, то первый критерий подобия в формуле (17) переходит в морфометрический критерий подобия $K = \frac{ab}{2H^2}$, далее замечаем, что K есть комбинация последних двух критериев, таким образом зависимость (17) можно записать в виде

$$l = Hf \left(\frac{ab}{H^2}, \frac{c}{H\gamma} \right). \quad (18)$$

При совпадении критериев подобия аналога и объекта из (18) получим

$$l_o = l_a \left(\frac{H_o}{H_a} \right). \quad (19)$$

Моделирование осыпных процессов

При моделировании процесса осыпания обломочного материала с уступа следует выделить следующие критерии подобия: α , β — углы наклона осыпи и уступа; $\frac{d^*}{d}$; $\frac{d^*}{H}$; $\frac{H}{L}$; $\text{tg } \Phi_0$ где d^* — размер движущегося обломка; d — размер обломков, слагающих осыпь; H — высота уступа; L — длина осыпи, $\text{tg } \Phi_0$ — тангенс угла трения покоя. При более точном моделировании следует учитывать дифференциацию и сортировку обломков в осыпи, а также морфометрические индексы окатанности, уплощения, диссиметрии и сферичности. Длина пробега (l) обломка по осыпи определяется его массой (M), начальной скоростью V_0 и суммарной силой (F), определяющей процесс движения. Анализ размерностей приводит к зависимости

$$l = \frac{V_0 M}{F} f(K), \quad (20)$$

где под K понимаем совокупность всех указанных выше критериев подобия. Теоретический анализ, основанный на уравнении движения, приводит к аналогичному результату

$$l = \frac{V_0^2 M}{2F}. \quad (21)$$

Формула (21) также следует непосредственно из формулы для работы обломка на пути его пробега l . Начальная скорость обломка в случае падения с вертикального уступа на наклонную осыпь по закону сохранения энергии выражается через высоту падения h по формуле

$$V_0 = \sqrt{2gh \sin \alpha}. \quad (22)$$

При теоретическом и экспериментальном моделировании осыпных процессов М. Киркби и И. Стазэм [8] получили следующее выражение для силы F . $F = q \left[\sin \alpha - \cos \alpha \left(\text{tg } \Phi + k_0 \frac{d}{d^*} \right) \right]$, где член $q \cos \alpha \text{tg } \Phi_0$ мы интерпретируем силой трения скольжения, а член $q \cos \alpha k_0 \frac{d}{d^*}$ — силой трения качения. С учетом этого выражения и формул (21, 22) указанные авторы пришли к формуле для длины пробега обломка по осыпи

$$l = \frac{h \sin^2 \alpha}{\cos \alpha \left(\text{tg } \Phi_0 + k \frac{d}{d^*} \right) - \sin \alpha}. \quad (23)$$

При равенстве критериев подобия $K_1 = \frac{d}{d^*}$ и $K_2 = \text{tg } \Phi_0$ у объекта и аналога силы трения обломков при их движении будут одинаковыми как у аналога, так и у объекта, и для перехода от аналога на объект из формулы (23) получим следующую зависимость

$$l_o = l_a \frac{H_o}{H_a}.$$

Полученные в работе критерии подобия могут быть полезны при экспериментальном моделировании склоновых процессов.

В дальнейшем перспективно заложить основы для экспериментального моделирования процессов выветривания и денудации. В вопросах моделирования процессов физического выветривания следует решить задачу моделирования колебаний метеорологических элементов, циклов увлажнения, усушки и перехода температуры через ноль, а также процесс инсоляции, т. е. решить задачу моделирования внешних воздействующих факторов. Наряду с этим следует решить задачу моделирования литологических (физических) свойств пород с учетом их структурных особенностей залегания.

В заключение отметим, что построение обобщающей теории геоморфологического подобия позволит экспериментально моделировать не только земной, но и внеземной рельеф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений. Л., 1960.
2. Московкин В. М. Методы подобия и размерностей в моделировании склоновых процессов. — Изв. вузов, геология и разведка, 1978, № 6.
3. Московкин В. М., Гахов В. Ф. Физические аспекты капельно-дождевой эрозии. — Почвоведение, 1979, № 12.
4. Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия. М., 1969.
5. Седов Л. И. Методы подобия и размерностей в механике. М., 1972.
6. Холматова Р. Н. Динамика берегов Южноурханского водохранилища. — В кн.: Вопросы инженерной геодинамики, вып. 2. М., 1976.
7. Gunn R., Kinzer G. O. Terminal velocity of water droplets in stagnant air. — J. Meteorol., 1949, vol. 6, N 243.
8. Kirkby M. J., Statham Ian. Surface stone movement and scree formation. — J. Geol., 1975, vol. 83, N 3.
9. Scheidegger A. E. Dynamic similarity in erosional process. — Geofis. pura e appl., 1963, vol. 56, N 3.
10. Sunamura Ts. A relationship between wave-induced cliff erosion and erosive force of waves. — J. Geol., 1977, vol. 85, N 3.

Поступила в редакцию
20.02.79

УДК 551.434

В. И. КЛЕНОВ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРАСОВЫХ РЯДОВ

Анализу закономерностей строения террасовых рядов посвящено сравнительно небольшое число работ. Среди них необходимо отметить исследования Н. И. Кригера [5], С. В. Лютцау [6], Н. В. Чигарева [8] и В. Г. Беспалого [1]. Основой этих работ является анализ и практическое использование эмпирического уравнения террасового ряда, предложенного Н. И. Кригером: $Y = Be^{-qn} + A$, где Y — высота террасы; n — номер террасы сверху; e — основание натуральных логарифмов; B, q, A — постоянные данного ряда.

Наряду с поисками эмпирических закономерностей строения террасовых рядов представляется перспективным математическое моделирование процесса террасообразования, поиск теоретического подхода к выявлению закономерностей формирования и строения террасовых рядов. Задачей данной статьи является изложение результатов статистического моделирования террасообразования в горных долинах с использованием ЭВМ. Закономерности строения террасовых рядов,