

The scale problem is treated in a broad sense; the scale shows in which detail the studies are carried out. In the geomorphology the scale depends on the range of landforms' dimensions. The Earth surface may be considered as a fractal, and with enlargement of scale smaller and smaller landforms come into view of researcher. A system of geomorphological legends applicable to different scales and based on hierarchic classification of landforms should be preferred over a unified legend for all the scales.

УДК 551.4

© 1993 г. А. М. ТРОФИМОВ

ТЕОРИЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ А. Е. ШАЙДЕГГЕРА

Формализация научного знания — явление весьма распространенное в географии со времен «количественной революции». В этой связи математика и системный анализ все шире внедряются в область географических наук.

Отправным пунктом методологического обоснования формализации и математического моделирования геосистем должен служить факт тесной связи моделирования с системным подходом. Моделирование, предполагающее установление определенного соответствия между моделью и «оригиналом», становится наиболее эффективным, когда сознательно опирается на системные представления об исследуемом объекте и модели. Системный подход позволяет более четко формулировать задачи, что способствует эффективному процессу формализации географических представлений. Формализация в свою очередь естественным путем допускает процесс моделирования и главным образом математического.

Применение математического аппарата позволяет более точно описать объект исследования; математика дает географии строгий язык для описания абстрактно-всеобщих сторон материальных явлений геосферы и, что особенно важно, способствует получению новых выводов и данных, глубоко вскрывающих сущность географических объектов. Строясь как формальное исчисление, математика обладает относительной самостоятельностью по отношению к естествознанию и может породить понятия, географическая интерпретация которых способна привести к открытию новых явлений.

Особенно важны эти проблемы в геоморфологии, где основными являются задачи описания динамических явлений и процессов, протекающих в различных климатоландшафтных условиях. Это требует формализованного представления окружающей среды, и такую формализацию дает математическое моделирование, основанное на системном подходе.

Однако использованием только математических средств задачи геоморфологии вряд ли можно решить полностью. Дело в том, что в геоморфологии далеко не все можно выразить количественно отчасти вследствие отсутствия полной информации об исследуемом объекте, но в основном по причинам принципиального характера. Зачастую бывает невозможно установить количественные зависимости между геоморфологическими объектами, так как компоненты геоморфосистем динамично меняют структуру, функции и т. п. В целом в настоящее время геоморфологические объекты невозможно осмыслить и представить только на количественном уровне, да и вряд ли это можно будет сделать в будущем.

В математическом описании находит отражение лишь формально-количественный аспект действительности. Категория количества предполагает абстрагирование, отвлечение от качественных различий вещей. Из того, что современная математика описывает количественные структуры, еще не следует, что ее средствами удастся передать все качественное содержание объектов. Качественно-содержательный аспект действительности не удастся достаточно полно отразить формальными средствами математики.

С другой стороны, хотя математические понятия и методы возникли как способ описания количественных, т. е. качественно-однородных, явлений, они испытали существенное обобщение и теперь выходят за пределы лишь количественного аспекта объектов.

Наиболее адекватное отражение объекта в научном познании предполагает моделирование как количественных, так и качественных его сторон. Чтобы отразить полное единство количественно-качественной определенности объекта, необходим содержательный анализ всех факторов и условий исследуемого явления, целостная оценка складывающейся ситуации. В этом случае необходимо привлечение принципов эвристического моделирования. Исходным моментом его использования является формализация (в самом широком смысле слова) представлений. Именно в таком аспекте предлагает австрийский геоморфолог А. Е. Шайдеггер свою теорию формализации географических представлений. Для геоморфологии она интересна еще и тем, что допускает в процессе синтеза как вербальные, полуформальные, так и строгие модели явлений и процессов там, где это возможно и необходимо.

Впервые читатель познакомился с А. Е. Шайдеггером в связи с выходом в свет русского перевода его знаменитой книги «Теоретическая геоморфология» [1]. Это была первая работа, где практически все геоморфологические процессы, явления, а также и формы были описаны на достаточно строгом формальном уровне. Нет необходимости детально знакомить читателя с этой работой; у геоморфологов это настольная книга. Достаточно сказать, что она была сразу же переведена на английский язык в США, а затем и в ряде европейских стран. В предисловии к русскому изданию Н. И. Маккавеев [2] пишет, что в книге убедительно показано, насколько значительно продвинулась за последние годы геоморфология в познании механизма разнообразных по своей физической природе процессов, формирующих рельеф земной поверхности, и как велики потенциальные возможности дальнейшего развития точных количественных методов геоморфологического анализа. Затем появилось второе издание [3].

Смысл одного из аспектов своей теории А. Е. Шайдеггер изложил в работе [4], посвященной проблеме использования понятия энтропии для оценивания характера эволюции ландшафта. Энтропия им используется для модели развития рельефа путем установления аналогии между высотами рельефа и окружающими условиями (ряд показателей, куда входят также и климатотемпературные в изобарической системе), с одной стороны, и модели развития рельефа информационного типа (т. е. расчет вероятности появления заданных высот с помощью статистических методов) — с другой. Оценивая сходимость моделей, А. Е. Шайдеггер [3] показывает, что первая представляет собой аналог термодинамической системы открытого типа, а вторая — статистический аналог, который, как правило, дает представление о закрытой системе.

Соответственно термодинамическим принципам, системы первого типа развиваются таким образом, что их энтропия увеличивается. Следовательно, более сглаженный рельеф характеризуется более высокой энтропией. Поскольку сглаженный рельеф — конечная форма развития рельефа, величина энтропии может показать ту или иную стадию его развития. В термодинамическом аналоге открытой модели конечная стадия развития рельефа — базисный уровень эрозии. В статистическом аналоге развития рельефа сглаженная поверхность может быть сформирована на любых отметках, и она связана с формированием конечного базиса эрозии.

Подобный подход к формализации представлений позволяет использовать вполне эффективно для описания эволюции форм рельефа подходы общей теории систем.

А. Е. Шайдеггер [5] прекрасно понимает, что эвристическое моделирование, основанное на первоначальной формализации представлений, обязательно должно базироваться на массовых природных наблюдениях, которые должны быть изучены и описаны в различных климатоландшафтных зонах и различных тектонических условиях. Только в этом случае возможно сформулировать принципы, которые могут быть положены в основу процесса формализации.

Так, изучая поверхностную эрозию в горных и равнинных местностях Австрии [6], он формулирует три основных принципа: принцип антагонизма (между эндогенными и экзогенными процессами), принцип неустойчивости (неустойчивое равновесное состояние) и принцип избирательности (важное значение имеет топографический рельеф местности и характер слагающих ее горных пород).

Использование этих принципов для последующей формализации процесса развития рельефа под воздействием поверхностной эрозии позволило ему построить ряд простых моделей и с помощью компьютерного моделирования дать аналогии развития тех или иных форм рельефа.

Очень показательно для А. Е. Шайдеггера, что он использует простые модели. Может быть, они дают слишком обобщенные результаты, однако, когда территория изучается с позиции оценивания комплекса форм и процессов, эти простые модели хорошо согласуются и, главное, не противоречат друг другу. Очень сложные модели обычно «перекрываются», и окончательные результаты трудно как установить, так и интерпретировать.

Большое значение для формирования рельефа имеют катастрофически протекающие процессы. А. Е. Шайдеггер [7, 8] справедливо считает, что они несут основной «удар» разрушительной силы и меняют развитие рельефа в направлении, которое предсказать довольно трудно. На примере катастрофических оползней Китая он показывает, что неотектонический стресс в ряде областей приводит к подобным и сходным процессам, а сам процесс формализации основывается на установлении характера неотектонических движений и их особой взаимосвязи с рядом неустойчивых форм рельефа.

Необходимо отметить, что А. Е. Шайдеггер как геофизик самое серьезное внимание уделяет эндогенным процессам. Он проводит детальные статистические исследования тектонических движений по разломам в орогенических областях Азии, Африки, Северной и Южной Америки, Австралии и Антарктиды [9—16].

Переходя к идеям комплексного развития рельефа, А. Е. Шайдеггер выделяет четыре различных теории [1]. Первая — теория Девиса, согласно которой долины развиваются за счет глубинной эрозии и денудации склонов, изменяя свой облик соответственно стадиям от юности до старости; вторая — теория Пенка, основанная на особенностях развития склонов; третья — теория равновесия и четвертая — идея Крикмея о неравноценной активности рельефообразующих факторов, согласно которой в механизме рельефообразования преимущественное значение имеет боковая эрозия рек.

Конечно, в геоморфологии можно выделить еще ряд гипотез или идей относительно эволюции рельефа, однако в своих исследованиях А. Е. Шайдеггер пользуется теми, которые достаточно четко определены и представляются удобными для последующей формализации.

Эти концептуальные представления помогают перейти к проблемам моделирования. Он далее считает, что для полного представления о поведении сплошной среды (большинство процессов в геоморфологии адекватны этому) необходимо установить четыре определяющих условия. Первое из них — кинематическое условие, второе — условие неразрывности, третье — уравнение движения и четвертое — уравнение статического состояния. Так как указанные соотношения приводят к системе дифференциальных уравнений, то, для того, чтобы сделать задачу определенной, необходимо добавить соответствующие

граничные условия. Основу их составляют полевые исследования самого широкого масштаба.

Комбинируя упомянутые соотношения, можно получить дифференциальные уравнения, применимые при исследовании весьма различных вопросов. Именно такие модели были использованы А. Е. Шайдеггером при описании развития склонов [1, 3, 17].

Однако дифференциальные модели имеют все же достаточно узкую область применимости, особенно в геоморфологии, где необходим учет многих меняющихся во времени факторов. Поэтому в дальнейшем А. Е. Шайдеггер склоняется в пользу стохастических моделей форм эволюции рельефа.

В обобщающей работе Дж. Б. Торнеса и Д. Брунсдена приведен и обсужден ряд моделей развития рельефа и стохастическим моделям отводится особая роль [18]. Дело в том, что это модели, в которых присутствует некоторое количество неопределенности относительно результатов по некоторым переменным, представляющим собой выход модели. Другими словами, сложность, которая является неотъемлемым свойством реального мира, подразумевает, что «чистые» модели вряд ли когда-либо будут полностью соответствовать ему [18]. В результате этой сложности только «усредненные» и устойчивые состояния, имеющие статистический характер, могут описываться процессом и являться его результатом. А. Е. Шайдеггер [19] допускает, что каждый процесс является детерминированным, однако скорости и периоды их различны и результаты могут быть неотличимы от результатов случайных процессов. Признание этого фундаментального характера естественных процессов позволило ему выработать свою особую линию исследования. Вместо поиска сложной модели он начинает с очень простых предположений (об этом уже было сказано выше) и постепенно накладывает ограничения на степень свободы своего случайного процесса.

Существует пять типов стохастического моделирования [18]. Первый, наиболее грубый тип — это применение случайных компонентов в модели, когда значение одной переменной в какой-либо другой детерминированной модели получается путем генерирования случайных чисел, подчиняющихся статистическому закону распределения, так называемым методом Монте-Карло. Используется для определения начальных значений модели, которая впоследствии продолжает развиваться как детерминированная.

Во втором типе могут потребоваться значения переменных в регулярных интервалах в течение действия модели и после того, как они найдены. Внутри модели имеют место упорядочивания в соответствии с установленными правилами. Они «развиваются», а затем привносятся новые значения переменных. Это общая формула цифрового вероятностного моделирования, обычно осуществляемого компьютером в дискретные промежутки времени.

В третьем типе выражены истинно стохастические процессы, в которых математические методы и предположения вводятся в модель и дают неопределенность скорее изнутри модели, чем из внешних источников.

В четвертом типе присутствуют более сложные стохастические процессы, содержащие непрерывное время и пространство.

В пятом, наиболее абстрактном типе находятся модели, максимизирующие энтропию, которые недавно были позаимствованы из статистической механики.

Так вот из пяти типов моделей, выделенных Дж. Б. Торнесом и Д. Брунсденом [18], А. Е. Шайдеггер прошел в своих изысканиях через четыре типа и сейчас находится на стадии разработки формализованных представлений стохастических моделей четвертого типа. До сих пор эти модели использовались в геоморфологии только при теоретических разработках из-за трудностей получения соответствующих значений параметров моделей и решения уравнений. В этом плане шаг был сделан А. Е. Шайдеггером [3] при разработке комплексных трехмерных стохастических диффузионных моделей.

Обычно результаты теоретических исследований не всегда сопоставимы с реальностью, так как в ландшафтах присутствует много «шума». Более того, в

природе устойчивые состояния реализуются менее часто, чем это следует из некоторых моделей развития рельефа [20]. Поэтому, как пишут Дж. Б. Торнес и Д. Брунсден [18], для средних и больших масштабов времени трудности эти наиболее актуальны, ибо именно здесь климатическая и тектоническая неустойчивость приводит к возмущениям в условиях устойчивого состояния. В теоретической (и формализованной) модели необходимо уделить больше внимания исследованию поведения системы в переходный период и меньше делать ссылок на модели состояния устойчивого равновесия и конечного состояния (принцип максимизации энтропии).

В своих последующих исследованиях А. Е. Шайдеггер идет дальше [21] и окончательно формулирует свою теорию формализации геоморфологических представлений путем введения заключительного этапа — оценки границ применимости системного подхода в геоморфологии для последующего процесса формализации.

Дело в том, что геоморфологическая система определяется как множество взаимодействующих элементов, которые функционируют совместно как нечто целое. В статистическо-механической гипотезе системной теории допускается, что число элементов огромно и что взаимодействие между ними комплексное (т. е. элементы могут взаимодействовать между собой, а также и с окружением). По этой причине индивидуальные взаимодействия (скажем, между двумя элементами) не могут быть объяснимы исходя только из индивидуальных особенностей этих элементов (сюда проникают и накладываются и иные взаимодействия: с другими элементами и окружением). Следуя таким представлениям, индивидуальные процессы могут восприниматься как квазислучайные, т. е. как если бы они были стохастическими. С помощью предельных концепций теории вероятности, на основании описанных допущений, можно предсказать ожидаемое поведение системы.

Этот подход, однако, имеет границы своей применимости: не всегда оказывается справедливым утверждение о квазистохастичности индивидуальных процессов. В геоморфологии существует много примеров, когда индивидуальные процессы равномерны и взаимосвязанны. В этом случае они не несут отпечаток воздействия иных элементов и находятся в обстоятельствах, непозволяющих интерпретировать их как квазислучайные. Это проявление каких-то мощных индивидуальных черт. В геоморфологии это связано главным образом со структурами и (нео) тектоническими проявлениями. А. Е. Шайдеггер [21] заключает, что приложение системной теории в таких обстоятельствах ведет к ошибочным результатам.

В заключение необходимо отметить, что предложенная А. Е. Шайдеггером теория формализации геоморфологических представлений имеет огромную ценность [22, 23 и др.] не только в теоретическом и методическом плане (построение концепций развития, оценивание степени и стадий развития форм рельефа и т. п.), но главным образом в прагматическом аспекте. Методы теории формализации позволяют получить наглядную картину эволюции форм рельефа и могут также быть использованы для прогнозных и управленческих решений. Они позволяют прибегнуть к построению эвристических карт: операционных, поведенческих, карт «отклика», прогнозных на любую перспективу, карт зон риска и конфликтных территорий и т. п. Подобный подход позволяет вывести геоморфологию в ранг наук, обеспечивающих инженерные решения на той или иной территории, в том или ином масштабе. Кроме того, формализация — это основа компьютерного моделирования, а последнее, и это уже сейчас ясно, является в свою очередь основой предсказания и принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1959. 49 с.
2. Маккаев Н. И. Предисловие к русскому изданию // А. Е. Шайдеггер. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1969. С. 5—7.
3. Schidegger A. E. Theoretical geomorphology. Berlin: Heidelberg; N. Y., 1970. 450 p.
4. Zdenkovic M. L., Schidegger A. E. Entropy of landscape // Z. Geomorph. N. F. 1989. 33. №3. P. 361—371.

5. *Scheidegger A. E.* Garlands of heads//Z. Geomorph. N. F. 1985. 29. № 2. P. 223—234.
6. *Scheidegger A. E.* The selection principle in surface erosion//Int. Symposium on Erosion. Sept. 3—5. 1985. P. 285—290.
7. *Nan-Shan Ai., Scheidegger A. E.* On the connection between the neotectonic stress field and catastrophic landslides//27th Intern. Geological Congress. 4—14 August, 1984. Moscow. USSR/Colloquium OG. M.: Nauka, 1984. V. 6. P. 180—189.
8. *Scheidegger A. E.* Clay slides and debris flow in the Wadu Region//Acta conservations soli et aquae sinica. 1987. V. 1. № 2. P. 19—27.
9. *Scheidegger A. E.* The significance of surface joints//Geophysical Surveys. D. Reidel Publ. Company. 1985. V. 70. P. 259—271.
10. *Ajakaiye D. E., Olatinmo M. D., Scheidegger A. E.* Another possible earthquake near Gombei in Nigeria on the 18—19 June 1985//Bull. Seismological Soc. Amer. 1988. V. 78. № 2. P. 1006—1010.
11. *Hauswirth E. K., Scheidegger A. E.* Rock slide on the Red Wall above Hallstaff, Upper Austria//Landslides. Proc. of the 5th Int. Symp. on Landslides, 10—15 July, 1988. Lausanne, A. A. Balkema (Rotterdam) Brookfield, 1988. P. 1333—1338.
12. *Scheidegger A. E., Schubert C.* Neotectonic provinces and joint orientations of northern South America//J. South Amer. Earth Sci. 1989. V. 2. № 4. P. 331—341.
13. *Scheidegger A. E.* Joints and the neotectonics of Scotia Plate, Antarctica//Proc. of the Intern. Conf. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock (Inst. of. Mechanics) Technic Univ. of Vienna, 18—20 April, 1990. A. A. Balkema (Rotterdam) Brookfield, 1990. P. 187—193.
14. *Scheidegger A. E.* Mass movements in Austria//Landslides/Proc. of 6th Int. Symp. 10—14 February. 1992. A. A. Balkema (Rotterdam) Brookfield, P. 199—203.
15. *Scheidegger A. E.* Neotectonic joints: discussion and reply//Geol. soc. Amer. Bull. 1991. V. 103. P. 432—433.
16. *Scheidegger A. E., Ajakaiye D. E.* Mass movements in flat sedimentary Savannah areas//Indian J. Landscape Systems and Ecological Studies. Calcutta, 1990. V. 13. № 1. P. 1—9.
17. *Scheidegger A. E.* Mathematical models of slope development//Bull. Geol. Soc. Amer. 1961. V. 72. P. 37—49.
18. *Торнес Дж. Б., Брунсден Д.* Геоморфология и время. М.: Недра, 1981. 227 с.
19. *Scheidegger A. E., Langbein W. B.* Probability concepts in geomorphology//US Geol. Surv. Prof. Pap. 1966. 500. C. P. 14.
20. *Hack J. T.* Interpretation of erosional topography in humid temperature regions//Amer. J. Sci. 1960. 258A. P. 80—97.
21. *Scheidegger A. E.* Limitations of the system approach in geomorphology//Geomorphic Systems. Elsevier. Amsterdam; London; New York; Tokyo, 1992. P. 213—217.
22. *Михайлов Ю. М., Федоров Б. Г.* Прогнозирование изменений геоморфологических систем при техногенном воздействии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 143 с.
23. *Якименко Э. Л., Порядин В. С., Маковская Н. С.* Два тренда поверхности рельефа. Новосибирск: Наука, СО, 1986. 143 с.

Казанский госуниверситет
Географический факультет

Поступила в редакцию
14.12.92

THEORY OF FORMALIZATION OF GEOMORPHOLOGICAL CONCEPTS BY A. E. SCHEIDEGGER

A. M. TROFIMOV

S u m m a r y

A theory of geomorphological concepts formalization has been put forward by A. E. Scheidegger as a basis for heuristic modelling. It is of prime interest for geomorphologists as it permits both verbal (semiformal) and rigorous (formal) models of processes and phenomena to be used in the process of synthesis.