

УДК 551.4

ТРОФИМОВ А. М.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ГЕОМОРФОЛОГИИ

Исследования последних лет показывают, что антропогенная составляющая не только играет определенную роль в формировании и развитии рельефа, но зачастую определяет пространственно-временной ход геоморфологических процессов. В этой связи вполне естественно стремление к кратко- и долгосрочному геоморфологическому прогнозу, с позиций которого возможно определить общую стратегию в выборе мер предупреждения нежелательных последствий.

Геоморфологический прогноз уже достаточно прочно вошел в обиход научных исследований и практической деятельности; сформулированы его цели и задачи, намечены и разработаны стратегия и тактика его реализации, и наконец сведены в единую систему методы геоморфологического прогнозирования [1, 2 и др.].

Теория прогнозирования в геоморфологии зиждется на общегеоморфологическом принципе, выражающем некую целостность экзогенных процессов, созданных и создаваемых ими форм рельефа и комплекса рыхлых отложений. Формализация этих элементов приводит к понятию сложных целостных геоморфологических систем (морфолитосистем и др.). В этом случае естественно обращение к системному анализу, средством реализации которого выступает математико-географическое моделирование (МГМ).

Однако МГМ — это средство. Сам же предмет прогнозирования определяется, во-первых, исходной информацией, задаваемой в соответствии с целью. Правда, следует отметить, что данная процедура является итеративной и цель также определяет исходную информацию и характер ее отбора, как сам характер информации определяет и уточняет исходную цель. И цель, и исходная информация неоднократно уточняются в процессе прогнозирования. Во-вторых, цель обуславливает срок прогнозирования и последующую точность. Все это определяет величины и вероятности ошибок прогнозирования.

Процесс прогнозирования в конечном счете замыкается на методах прогнозирования, сводная классификация которых приведена в работе И. М. Зейдиса, Ю. Г. Симонова и А. М. Трофимова [1]. Предложенные методы охватывают почти все имеющиеся в геоморфологии формализованные подходы к составлению прогнозов. Основываются они на ряде наблюдений во времени (и, возможно, в пространстве — в последнем случае используется эргодическое свойство геоморфологических процессов). Однако в основе этих подходов все же лежат модели — качественные, описательные, логические, логико-математические и т. д., но в последнее время чаще всего математико-географические.

Действительно, изучив процесс и системные зависимости его от ряда факторов, получаем модель, позволяющую проследить развитие процесса при различных комбинациях природных факторов (например, путем имитации внешних и внутренних факторов и т. д.). С помощью различного рода аналогов эта модель может быть трансформирована и на другие физико-географические и геоморфологические ситуации.

Основным в моделях является учет временного фактора. Процесс развития здесь искусственно разбивается на ряд последовательных стадий; переход от одной стадии к другой происходит с изменением качества, что может быть интерпретировано как смена состояний. Последние

в свою очередь представляют собой не что иное, как ответы на внешние воздействия. Обычно в геоморфологических системах ответы на внешние воздействия реализуются с некоторым запаздыванием (гистерезис системы). Время же релаксации, т. е. время возвращения системы в исходное равновесное состояние, отделяет одно состояние системы от другого. Промежуток времени стабильного состояния системы рассматривается как «характерное время». Для геоморфологического прогноза очень важно определить, как долго та или иная геоморфологическая система «помнит» свое прошлое состояние, или как быстро она «забывает» его. Очевидно, в геоморфологии можно встретить системы с широким спектром «памяти» и «забываний» — от секундных до вековых. Этот аспект исследования выступает в геоморфологическом прогнозе как один из основных.

В настоящее время одним из наиболее перспективных в геоморфологии является прогноз, основанный на реализации качественной теории динамических систем [3, 4]. Отрицательные обратные связи в системе (при постоянном внешнем воздействии) обеспечивают тенденцию к некоторому динамическому состоянию системы (динамический гомеостаз). Отсюда следует, что одна из задач оптимального управления геоморфологическими системами будет состоять в определении этих состояний и скорейшем переводе в них систем. Например, задачи на минимизацию времени сводятся к уменьшению времени релаксации в системе. Необходимо отметить, что если время релаксации может быть определено в рамках теории динамических систем, то время запаздывания должно априорно вводиться в исходную динамическую систему (система уравнений с запаздывающим по времени аргументом).

В работах [3, 4] анализируется устойчивое состояние абразионного склона на основании следующей динамической системы:

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dt} &= v_{\text{подм}} + v_{\text{св}} - v_{\text{пер}}, \\ v_{\text{подм}}d &= V \left(1 - \frac{m}{m_0} \right), \\ v_{\text{пер}} + v_{\text{подм}}d &= V = \text{const}, \quad d = \text{const} > 1. \end{aligned}$$

Первое уравнение системы является уравнением баланса материала (m) у основания абразионного склона, где $v_{\text{подм}}$, $v_{\text{пер}}$, $v_{\text{св}}$ — интенсивности подмыва, переработки и поступления с верхней части клифа материала; m_0 — предельное количество материала у основания клифа, при котором волновой поток не оказывает воздействия на клиф, V — некоторая эффективная интенсивность воздействия волнового потока на основание клифа и на обломочный материал.

Решение приведенной системы при начальном условии $m(0) = M$ получаем в виде

$$m(t) = \frac{\left(v_{\text{св}} + \frac{V}{d} \right) \left[1 - \exp \left(-\frac{V}{m_0} \left(\frac{1+d}{d} \right) t \right) \right] + \frac{V}{m_0} \left(\frac{1+d}{d} \right) M \exp \left(-\frac{V}{m_0} \left(\frac{1+d}{d} \right) t \right)}{\frac{V}{m_0} \left(\frac{1+d}{d} \right)}.$$

Из последнего можно видеть, что со временем устанавливается определенный баланс материала у основания клифа

$$\lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = \frac{m_0 (v_{\text{св}}d + V)}{V(1+d)}.$$

Далее, модифицируя соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = ; < ; > m_0$, получаем различные варианты развития клифа и скопления (или выноса) материала от его основания. Согласно предельному выражению, время релаксации равно бесконечности. Однако в действительности ввиду быстрого экспоненциального стремления к стационарно-динамическому режиму за

время релаксации можно взять некоторое конечное время, при котором значение $m(t)$ становится достаточно близким m_0 . Изменяя параметры модели, мы можем изменять время релаксации, т. е. имитировать процесс, задавая ему те или иные состояния и получая конкретные характеристики развития. Приведенный пример дает представление об определенном шаге к наиболее значимому по сути функциональному геоморфологическому прогнозу.

Большинство прогнозных заключений в геоморфологии связано с анализом временных рядов. Это необходимо, но явно недостаточно. Ритмы природных процессов обуславливают неравномерность и гетерохронность развития систем. Реакция взаимодействия вызывает сложную цепь причинно-следственных изменений и состояний, что было сформулировано Н. И. Маккавеевым [5] в виде закона факторной относительности. Смысл его заключается в том, что комбинация природных условий и процессов в зависимости от их состояния, а также внутренних и внешних свойств, неоднозначно реагирует на одни и те же определенные воздействия. Они вызывают определенные комбинации взаимодействий — геоситуации, состояние которых и определяет ход и развитие тех или иных процессов. Например, при изучении и прогнозировании карстовых провалов на определенной территории мы должны констатировать, во-первых, что процесс может произойти только там, где есть соответствующие породы (фон исследования) и, во-вторых, ситуации не всюду одинаковы даже в пределах распространения определенного комплекса пород. Только определенное соотношение компонентов вызывает карстовый провал (состояние, для которого определяется критическая для провала ситуация). В-третьих, мы должны произвести районирование территории по критическим ситуациям, которые, исходя из состояния компонентов процессов, могут проявиться в определенных локальных участках и т. д. Все это ведет в конечном счете к появлению прогнозных карт, построенных, однако, на сущностной (по отношению к процессу) функциональной основе.

Отсюда вытекает основная стратегия геоморфологического прогноза — поиск комбинаций геоситуаций, их оценка и кодирование в виде специальных прогнозно-эвристических карт.

Таким образом, мы пришли к выводу, что прогнозирование в геоморфологии должно быть функциональным по своей сути. В основе прогнозной модели должно лежать представление о ходе процессов во времени и пространстве; статистические временные (или пространственные) ряды необходимы для определения значений коэффициентов, начальных и граничных условий, проверки статистических гипотез и т. д. Таким образом, в основе геоморфологического прогноза должны лежать концептуальные представления, формализованные до уровня концептуальных моделей [6].

Концептуальные модели — это множество знаний и представлений о структуре, функциях и взаимодействиях геоситуаций между собой и с окружающей средой, сведенное в единую систему с позиций цели исследования и представленное как в словесном, так и в формализованном виде [7]. Как уже говорилось, формализация может достигать любого уровня: от географических (например, картографических и т. д.) до математико-географических моделей.

Концептуальные модели составляют основу функционального прогнозирования. Для их построения необходимо решать ряд проблемных вопросов. Например: при каких геоситуациях задаются подобные (изучаемые) процессы? Устойчивы ли данные геоситуации в заданных участках пространства и во времени? Как они меняются и как разворачиваются во времени? Имеют ли они направленность развития и характеризуются ли элементами ретроспективы? Обладают ли «структурной памятью» [8] и как быстро «забывают» свое прежнее состояние? Могут ли они быть охарактеризованы «характерным временем» и насколько длительны «времена релаксации»? Устойчивы ли при заданных геоситуациях основные геоморфологические процессы? Как соотносятся флуктуации

геоситуации с изменением основных процессов? Допускают ли флуктуации основных процессов изменения геоситуаций и наоборот? и т. д. Перечень проблемных вопросов можно продолжить.

Как следует из анализа этих вопросов, проблема географического (стало быть, и геоморфологического) прогноза связана с поиском устойчивых закономерностей пространственного и временного характера. Именно на это необходимо делать основной акцент при исследованиях. Ю. Г. Саушкин [9] назвал этот процесс «поиском зачатков будущего в настоящем». Речь идет о поисках участков «локальных неоднородностей» [10], где незримо на начальных этапах, но с достаточным постоянством осуществляется концентрация вещества и энергии в географическом пространстве.

Существует два аспекта поиска локальных неоднородностей: пространственный и временной. Первый аспект — пространственный — статистический путь, основанный на предположении, что при массовом проявлении пробиваются определенные закономерности. Например, на карте проявления тех или иных состояний (геоситуаций) можно выделить «статистический рельеф» распределения признаков. Он является результатом проявления множества факторов, сочетание которых различно изменяется от одной точки пространства к другой. «Нормативность» проявления взаимодействий функционально определить сложно, порою невозможно. Поэтому и прибегают к статистической процедуре пространственного сглаживания «рельефа» признаков, позволяющей путем снятия флуктуаций и амплитуд частот различных колебаний выделить «фонтовую» поверхность, отражающую проявление ведущего фактора.

Процедура определения осуществляется различными (в том числе и аналитическими) способами, однако наиболее действенными из них являются способы «скользящего окна» и широко используемые в метеорологии метод Фьортофта и пространственная сглаживающая функция с 21 весом (пропорциональным ординатам двумерного нормального распределения), предназначенная для осреднения данных в равноудаленных углах сетки [11]. Два последних метода примерно одинаково уменьшают амплитуду волн большой и средней длины; эффект сглаживания коротких волн получается несколько различным.

Разница несовпадения исходного и выровненного «рельефа» признаков дает остаточную поверхность, несущую информацию о ситуациях развития полученных (выделенных) локальных участков. Чаще всего это зоны влияния, ядра концентрации, типологические районы и т. д. Именно здесь следует искать тенденцию к расширению «ядер» и «зон влияния», т. е. прогнозировать пространственное отражение процессов. Таким образом, пространственный аспект поиска участков локальных неоднородностей приводит к появлению специальных карт с выделением как участков инвариантов «рельефа» признаков, так и участков пространственных изменений. Все вместе позволяет устанавливать тенденции развития, что является основой стратегии геоморфологического прогноза.

Временной аспект связан с содержательным анализом геоситуаций на основе изучения временных рядов. Увязке временных и пространственных представлений способствует эргодическое свойство геоморфологических систем. Методы изучения этого аспекта широко освещены в печати (например, [1, 2] и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зейдис И. М., Симонов Ю. Г., Трофимов А. М. Теория и методы прогнозирования экзогенных процессов.— В кн.: Климат, рельеф и деятельность человека. М.: Наука, 1981, с. 260.
2. Проблемы регионального географического прогноза/Под ред. Капицы А. П. и Симонова Ю. Г. М.: Наука, 1982. 264 с.
3. Trofimov A. M., Moskovkin V. M. Theoretical preconditions of the control over the exogenic processes.— In: 24 IGC. Main session. V. 1. Tokyo, 1980, p. 30.
4. Трофимов А. М., Московкин В. М. Некоторые теоретические предпосылки управле-

- ния экзогенными процессами.— В кн.: Экзогенные процессы и эволюция рельефа. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1983, с. 15.
5. *Маккавеев Н. И.* Общие закономерности эрозионно-русловых процессов.— В кн.: Русловые процессы, т. 10. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с. 17.
 6. *Тимофеев Д. А., Трофимов А. М.* О сущности и месте системного подхода в геоморфологии.— Геоморфология, № 4, 1983, с. 37.
 7. *Трофимов А. М., Панасюк М. В.* Концептуализация географических ситуаций.— В кн.: Территориальные и социально-экономические системы Урала. Пермь, 1982, с. 27.
 8. *Зейдис И. М., Симонов Ю. Г.* Эффект структурной памяти в динамике географических явлений.— Вестн. МГУ. География, 1980, № 4, с. 12.
 9. *Саушкин Ю. Г.* История и методология географической науки. М.: Изд-во МГУ, 1976. 400 с.
 10. *Трофимов А. М.* Геоситуационная концепция в географии.— Изв. ВГО, 1983, т. 115, вып. 6, с. 509.
 11. *Пановский Г. А., Брейтер Г. В.* Статистические методы в метеорологии М.: Гидрометеиздат, 1972. 209 с.

Казанский государственный
университет

Поступила в редакцию
16.X.1984

ON THE PROBLEM OF FORECAST IN GEOMORPHOLOGY

TROFIMOV A. M.

Summary

Geomorphological forecast based on observations series does not always produce satisfactory results. A new approach to forecast is introduced based on concept of process development, i. e. functional geomorphological forecast, which presents in essence a search and analysis of combinations of geographic situations, their evaluation and coding in special prognostic-euristic maps. The functional forecast is based on conceptual models. The models' construction and subsequent analysis permit a search for spatial and temporal regularities as well as for «local unhomogeneities» which are sites of new geographic spatial-temporal structures.