11. *Никонов А.А.* Обваливание сводов пещер, навесов и подземных полостей в Крыму: геологические и археологические аспекты // Международная конференция по применению методов естественных наук в археологии. Т. I. СПб. 1994. С. 62–63.
12. *Шимановский Л.А.* Землетрясения в Молотовской области // Природа. 1957. № 5. С. 115–116.
13. *Никонов А.А., Сергеев А.П.* Сейсмогравитационные нарушения рельефа в Крыму при землетрясениях 1927 года // Геоэкология. 1996. № 3. С. 57–66.
14. *Васильевский П.М., Желтов П.И.* Гидрогеологические исследования г. Чатырдаг в 1924 г. М.: Гос. научно-технич. геол.-развед. изд-во, 1932. 97 с.
15. *Боданинский У.* Дневник обследования последствий землетрясений 1927 г. Бахчисарайский ист.-архит. заповедник. Архив. 1927.
16. *Эрнст Н.Л.* Четвертичная стоянка в пещере у дер. Чокурча в Крыму // Тр. II Междун. Конфер. Асс. по изуч. четв. периода Европы. Ленинград–Москва–Новосибирск: Гос. науч.-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934. С. 184–206.
17. *Бонч-Осмоловский Г.А.* Итоги изучения Крымского палеолита // Тр. II Междун. Конфер. Асс. по изуч. четв. пер. Европы. Ленинград–Москва–Новосибирск: Гос. науч.-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934. С. 114–173.
18. *Бибиков С.Н.* Грот Мурзак-коба – новая позднепалеолитическая стоянка в Крыму // Сов. археология. 1940. № 5. С. 159–178.
19. *Формозов А.А.* Пещерная стоянка Староселье и ее место в палеолите // Материалы и исследования по археологии СССР. М.: 1958. № 71. 126 с.
20. *Колосов Ю.Г.* Аккайская мустьерская культура. Киев: Наук. думка. 1986. 224 с.
21. *Герцен А.Г., Могаричев Ю.М.* Крепость драгоценностей Кырк-ор (Чуфут-кале). Симферополь: Таврия, 1993. 128 с.

Объединенный институт
физики Земли РАН

Поступила в редакцию
20.08.95

COLLAPSE OF ROCKSHELTERS AND NICHES (AN EXPERIENCE OF STUDIES IN THE CRIMEA)

A.A. NIKONOV

Summary

Some procedures have been developed for studies of cavity configuration changes primarily due to seismic impulses (with reference to the Crimea). Spatial geometric and azimuthal approaches often permit to distinguish cavity collapses due to their gradual destruction from those resulting from earthquakes. Considerable attention has been given to archaeological data as means of collapse dating. Information is given on the seismic effect on the Crimean caves during the historical period, together with examples of various types of collapses in the past.

УДК 551.4.012 Геоморфология, 1996, 4, 74-81

© 1996 г. Ю.Г. СИМОНОВ, А.В. ПАНИН, В.А. УЛЬЯНОВ

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗУЧЕНИЯ УНАСЛЕДОВАННОСТИ РЕЛЬЕФА[1]

Исследование степени унаследованности современного рельефа от рельефа предыдущих эпох может быть отнесено, на наш взгляд, к категории фундаментальных, поскольку оно затрагивает многие аспекты историко-генетического анализа рельефа. Однако и значительная часть прикладных геоморфологических исследований, для которых необходимо восстановление исчезнувшего рельефа, в том числе и эколого-геоморфологический анализ, требуют обращения к проблеме определения степени унаследованности рельефа. Несмотря на то, что эта проблема ни в коей мере

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 95-06-17653).

не является новой [1–4], к ней обращаются достаточно редко. Чаще всего причина этого – слабая изученность рельефа предыдущих эпох и, может быть, не вполне разработанная терминологическая база (наличие соответствующей системы терминов или перечня возможных аспектов рассмотрения проблемы, пусть даже неполного, могло бы способствовать исследованиям в этой области). Чтобы определить место наших собственных исследований в данной проблеме, заметим, что существует несколько основных видов оценок степени унаследованности современного рельефа от рельефа любой из предыдущих эпох.

В числе первых следует назвать унаследованность генетического типа. Для того, чтобы ответить на вопрос, насколько генетический тип современного рельефа соответствует генетическому типу рельефа одной из предыдущих эпох, придется прийти к некоторому соглашению о том, что следует называть генетическим типом рельефа. К сожалению, недавно возникшая дискуссия по этому вопросу показала, что в нашей науке понятие «генезис рельефа» относится к категории недостаточно определенных. Чтобы не обсуждать здесь весь этот вопрос в полном объеме, мы приведем ниже несколько примеров названий генетических типов рельефа, из которых станет понятным наше отношение к принципам их выделения.

Прежде всего следует пространственно ограничить анализируемую территорию и только после этого сравнивать и получать представление о степени совпадения генетических типов современного и более древнего рельефа. При этом может быть полная или частичная унаследованность. Последняя предполагает возникновение нового, ранее не присутствовавшего на данной территории генетического типа рельефа. Новообразования могут занимать различную площадь. В этом случае степень унаследованности может быть оценена в процентах по отношению ко всей анализируемой территории. Целесообразно здесь выделить три – пять разрядов: унаследованный рельеф (100% площади рельефа исходного типа), унаследованный рельеф с наметившимися новообразованиями (<30% новообразований от площади исходного типа рельефа), заметно переработанный рельеф (30–70% новообразований от площади исходного типа рельефа), переработанный с реликтами (>70% новообразований от площади рельефа исходного типа), переработанный рельеф (100% площади образований нового типа).

Естественно, что такой подход требует некоторых оснований, главное из которых – выделение генетических типов рельефа. Известно, что общепринятой генетической классификации не существует. В силу этого исследователь территории, для которой определяется степень унаследованности генетического типа рельефа, должен потребителю своей информации предложить вариант такой классификации. Каков бы ни был этот вариант, но его наличие, даже при всем его несовершенстве, является условием выполнения исследования данного типа. Любая классификация приводит нас к перечислению признаков, которые геоморфологом-экспертом признаны существенными. Каждый из этих признаков должен иметь определенный вес, и исследователь сам определяет признаки замены одного типа рельефа другим. Обычно типы располагаются в ряды возможных переходов, выбор которых обосновывается экспертом.

Унаследованность рельефа может оцениваться и с помощью других оснований для сравнения древнего и современного рельефа. Такими основаниями могут быть пространственно-временна́я структура рельефа в одном случае и морфологическая структура в другом. Поскольку при выявлении пространственно-временно́й, а точнее, пространственной историко-генетической структуры можно обычно предложить не один-единственный способ ее выделения, выбранный способ описания структуры рельефа не только должен быть охарактеризован с методической точки зрения, но должно быть раскрыто и смысловое значение выбранной процедуры. Это остается справедливым и при описании морфологической структуры.

Исследование унаследованности на основе морфологической структуры рельефа в значительной степени поддается формализации. Авторами предпринята попытка

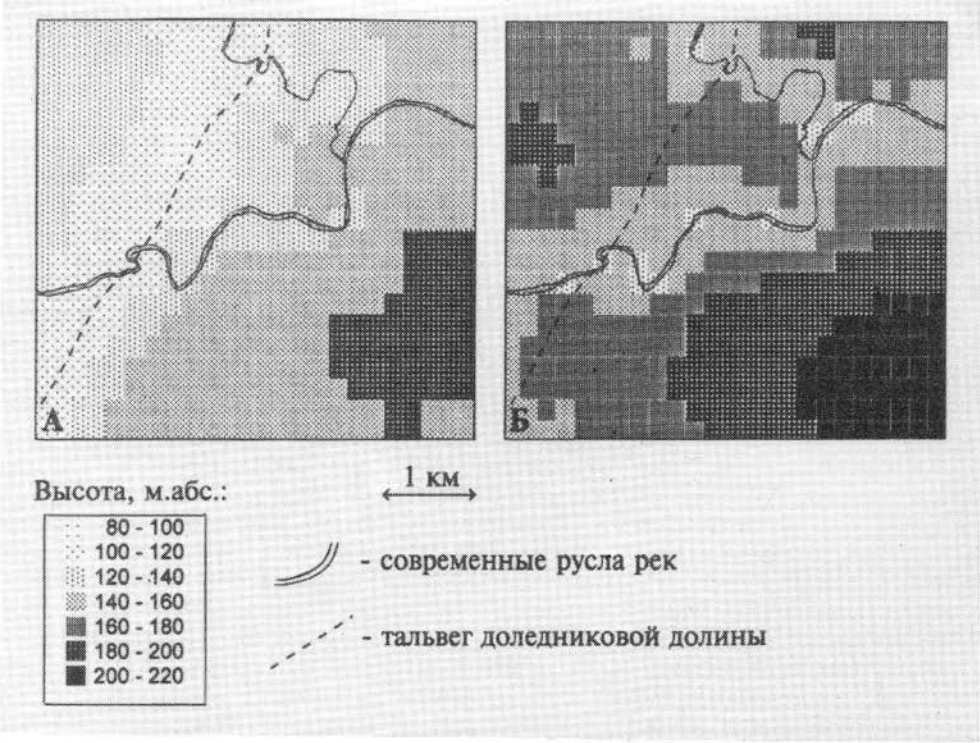

Рис. 1. Карта высот доледникового (*А*) и современного (*Б*) рельефа

представления хода исследования в виде цепочки алгоритмических процедур. Отличительная особенность применяемого подхода – автоматизация всех этапов исследовательского процесса, начиная с отбора исходной информации и заканчивая оформлением результирующих картографических изображений. При этом происходит существенное сокращение объема измерительной и вычислительной работы с сохранением геоморфологической сути исследования, так как определение параметров процедур и интерпретация результатов остаются за экспертом-геоморфологом.

Предлагаемые ниже результаты получены на учебном полигоне географического факультета МГУ, расположенном в пос. Сатино в 120 км к юго-западу от Москвы, на границе Московской и Калужской областей, в бассейне р. Протвы (левый приток Оки), на юго-западном крыле Московской синеклизы. Доледниковые отложения представлены преимущественно карбонатными породами среднего карбона. Тип рельефа – вторичная ледниково-озерно-флювиогляциальная пластовая равнина. Для полигона создана локальная учебная геоинформационная система (ГИС) [5, 6]. Цифровая модель рельефа в ГИС «Сатино» представлена в растровом виде с разрешением 8 м и квантованием по высоте с шагом 1/3 м. На местности она охватывает площадь 4300 × 3700 м. На этой территории имеется более 200 скважин и разрезов, что позволило выявить рельеф нескольких важных погребенных поверхностей: поверхности кровли горных пород, подстилающих ледниковые отложения, поверхностей нижней (днепровской) и верхней (московской) морены и межморенных отложений. Кроме того, в базе данных хранится серия тематических карт различного природоведческого содержания. Все тематические карты являются итогом специальных исследований, выполненных для научного обоснования учебного процесса. Предложенные в данной статье карты – новое пополнение в серии уже существующих карт геоморфологического содержания.

Предлагается сопоставить между собой рельеф современной поверхности и кровли карбоновых пород, которая фиксирует доледниковый (плиоцен-раннечетвертичный)

Рис. 2. Корреляционное поле высот доледникового и современного рельефа

рельеф. Первый шаг – получение растровой карты высот кровли карбона. Это производится путем соответствующего запроса к базе геологических данных и интерполяционного построения равномерной сетки высот по результатам его выполнения (процедура более подробно описана в работах [5, 6]). Поскольку описание современной топографической поверхности и поверхности кровли пород среднего карбона представлено с различной степенью подробности, карта современного рельефа осредняется методом «прыгающего окна». В результате получаются две пространственно скоординированные матрицы высот одинакового (24 × 20 ячеек) размера с разрешением 200 м (рис. 1). В рельефе поверхности карбона отчетливо читается долинное углубление ССВ простирания и высокая междуречная поверхность в ЮВ углу планшета. Современная долинная сеть имеет иные очертания, но область господствующих высот сохраняет свое расположение.

Решить задачу об унаследованности рельефа вычитанием нижней поверхности из верхней (простым вычитанием двух матриц) не удается, так как их разность передает всего лишь мощность слоя четвертичных отложений. Коэффициент корреляции поверхностей (метод, предложенный Ю.А. Мещеряковым [1]) относительно невысок (0,66), а корреляционное поле (рис. 2) обнаруживает достаточно тесную связь лишь в области наибольших высот рельефа. Разбросанность корреляционного поля высот показывает, что на различных участках существуют неодинаковые как прямые, так и обратные соотношения между современным и погребенным рельефом, так что говорить об унаследованности или неунаследованности рельефа в целом для территории не представляется возможным.

Рассмотрев рельеф каждой поверхности отдельно, можно увидеть наряду с ее деталями некоторые общие закономерности. Относительные превышения у обеих поверхностей оказались близкими друг другу (98 м у доледникового и 72 м у современного рельефа). При этом обе поверхности состоят из относительных понижений и возвышенностей. Это позволяет весь интервал относительных высот разделить хотя бы на три высотных пояса (высокий, средний и низкий), а далее, сопоставляя карты между собой, установить, насколько доледниковые и современные возвышенности и понижения совпадают друг с другом и в каких местах произошла их морфологическая инверсия. Различный результат может получиться от того, каким образом мы проведем разделение на высотные пояса. Для сравнения возможных результатов мы это разделение провели тремя способами и получили три различных представления об унаследованности рельефа, каждое из которых имеет свой собственный вид. Вся процедура выделения типов унаследованности проведена нами в определенном порядке.

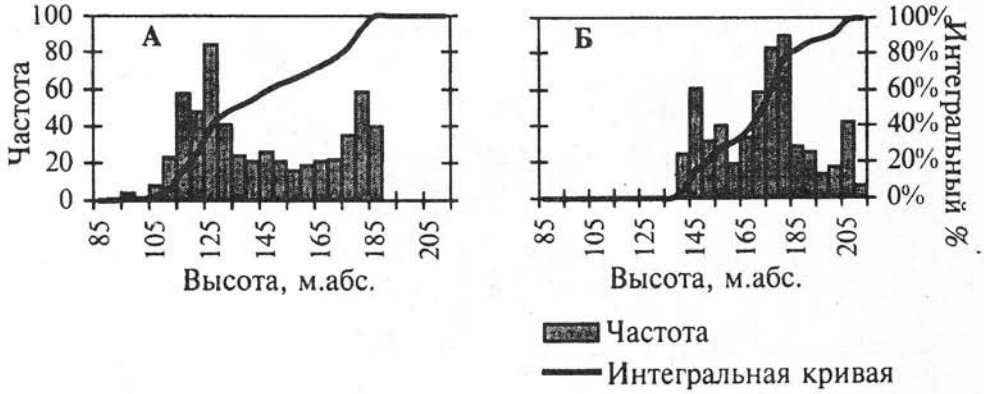

Рис. 3. Частота встречаемости и интегральная кривая высот доледникового (*А*) и современного (*Б*) рельефа

Сначала различными способами были получены карты высотных поясов (ярусов) погребенного и современного рельефа. В первом случае ярусы выделялись путем разбиения диапазона высот каждой поверхности на три одинаковых интервала (условие равных высотных интервалов). Во втором случае ярусы выделялись из условия равенства занимаемой площади. Их высотные границы были определены по квантилям 33,3 и 66,6% интегральной кривой высот (рис. 3). В третьем случае ярусность рельефа определялась экспертной оценкой естественных высотных ступеней по гистограммам и интегральным кривым распределения высот (рис. 3). В современном рельефе обнаружились три доминирующие ступени, соответствующие уровням днищ долин и двух ярусов междуречий. В распределении высот погребенного рельефа выделялись только два максимума встречаемости (уровни днища долины и вершинной поверхности междуречья), разделенные значительным диапазоном редко встречающихся гипсометрических отметок. Этот диапазон и выделен в категорию средневысотного рельефа. Первые два способа полностью формализованные, но в явном виде не учитывают морфологическую структуру рельефа. В результате части морфологически единой поверхности могут попасть в разные высотные пояса и, наоборот, в один ярус могут быть объединены морфологически различающиеся ступени реального рельефа. Этого недостатка лишен третий способ, но здесь появляется неизбежный субъективизм, ставящий под вопрос возможность сравнения результатов, полученных разными исследователями и/или по разным территориям.

Границы высотных интервалов, полученные разными способами, приведены в табл. 1. На их основе из созданных на первом этапе цифровых моделей рельефа средствами имеющегося программного обеспечения были получены цифровые карты высотных ярусов современного и погребенного рельефа. Попарное наложение этих карт дает искомые карты типов унаследованности. Процедура наложения имеет простое алгоритмическое выражение. Высотные ярусы и типы унаследованности (их набор обозначен ниже) кодируются определенными числами. Рассматривается каждая ячейка матрицы. Анализируются коды, стоящие в данной ячейке двух матриц высотных ярусов, и в зависимости от результатов сравнения в той же ячейке результирующей матрицы проставляется код соответствующего типа унаследованности. Назовем погребенную поверхность первой, а современную второй. Далее выберем буквенные индексы, характеризующие высотные пояса: В – высокий, С – средний, Н – низкий. Тогда логически возможными окажутся девять возможных сочетаний, которые сведены в пять типов морфологической (по существу гипсометрической) унаследованности рельефа. Это три типа унаследованного рельефа: унаследованновысокий рельеф (УВ, или В1В2), унаследованно-средневысотный (УС, или С1С2) и

Таблица 1

Границы высотных интервалов (мабс.), выделенных по различным принципам

Высотный ярус	Принципы выделения высотных ярусов рельефа					
	равный интервал высот		равная площадь ярусов		по гистограмме высот	
	1	2	1	2	1	2
Низкий (Н)	87–119	136–159	87–122	136–162	87–136	136–160
Средний (С)	120–152	160–183	123–157	163–176	137–168	161–194
Высокий (В)	153–185	184–207	158–185	177–207	169–185	195–207

Примечание: 1 – погребенный рельеф, 2 – современный рельеф.

Таблица 2

Распространенность различных типов унаследованности рельефа

Вид карты	Площадь, %						
	УН	УС	УВ	ИН	ИВ	УН+УС+УВ	ИН+ИВ
Равные исходные интервалы высот	12,1	23,8	21,9	31,2	11,0	57,8	42,2
Равные исходные площади ярусов	15,6	15,2	26,7	23,3	19,2	57,5	42,5
Экспертное выделение ярусов по распределению высот	22,9	17,7	12,1	21,5	25,8	52,7	47,3
Интегральная карта (% от площади участков, совпадающих на всех картах)	24,7	11,9	24,7	18,3	20,4	61,3	38,7

унаследованно-низкий (УН, или Н1Н2) – и два типа инверсионного рельефа: ИВ – инверсионно-высокий, включающий варианты Н1В2, Н1С2, С1В2, и инверсионно-низкий ИН, включающий варианты В1Н2, В1С2, С1Н2. Матрица переходов и результирующие карты представлены на рис. 4, А – В, Д. Унаследованный рельеф на картах показан различными видами штриховки, инверсионный – крапом. Густота заливки в обеих группах увеличивается от инверсионно- и унаследованно-низкого к инверсионно- и унаследованно-высокому типам.

Карты унаследованности, полученные равновысотным и равноплощадным разбиением исходного рельефа, совпадают на 79%. Степень их совпадения с «экспертной» картой заметно ниже – соответственно 55 и 60%. Участки, которые на всех трех картах идентифицируются одинаково (в общей сложности 49% площади), можно уже с достаточной степенью уверенности относить к соответствующему типу унаследованности. Эти участки показаны на итоговой карте типов унаследованности, которая построена как «карта совпадений» из трех первоначальных (рис. 4, Г). Черным цветом на ней залиты участки, идентификация которых не совпадает ни на одной из первоначальных карт унаследованности. Теперь можно задаться вопросом о том, какая тенденция в эволюции рельефа данной территории преобладает – унаследованное или инверсионное развитие. В табл. 2 приведены относительные площади, занимаемые участками с различным типом унаследованности. Их соотношение меняется, порой значительно, в зависимости от принципов выделения высотных поясов. Суммарная доля всех разновидностей унаследованного рельефа составляет на разных картах от 53 до 58%, а по участкам, одинаково идентифицируемым на всех трех картах, – 61%. Эту величину можно принять в качестве количественной

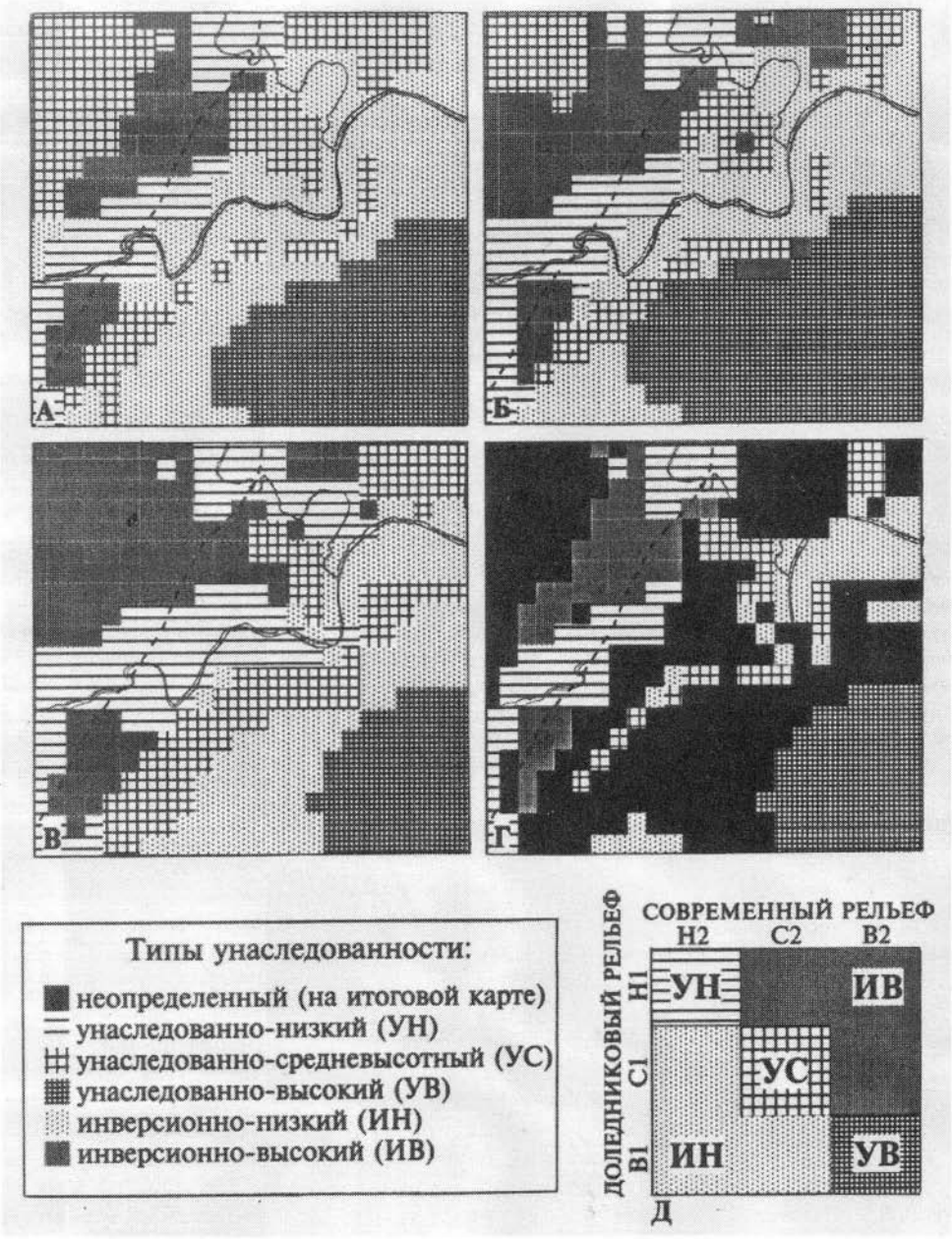

Рис. 4. Карты морфологической унаследованности рельефа
А – при выделении равновысотных ярусов рельефа; Б – при выделении равноплощадных ярусов рельефа; В – при экспертном выделении ярусов рельефа по распределению поля высот; Г – интегральная карта (карта совпадений); Д – матрица переходов (пояснения в тексте)

характеристики степени унаследованности рельефа. Интересно, что она близка к величине корреляционной связи полей высот (66%).

Карты предлагаемого типа интересны с нескольких точек зрения. Несмотря на то, что в основу их построения положены исключительно морфологические (и даже более узко – гипсометрические) принципы, они несут и богатую историко-генетическую информацию. На итоговой карте унаследованности (рис. 4, Г) области унаследованно-низкого рельефа трассируют отрезки современной долинной сети, наследующие

доледниковое долинное углубление, участки инверсионно-низкого рельефа – долину прорыва, участки инверсионно-высокого рельефа – область позднейшего (как следует из геологических данных, преимущественно среднечетвертичного) выполнения доледниковой долины и т.д. Таким образом, эти карты характеризуют интегральное воздействие ледниковой, водно-ледниковой денудации и аккумуляции, а также и долинообразующих процессов в послеледниковое время.

Большое значение этот анализ может иметь и при оценках состояния современного землепользования и его регулирования в условиях текущего перераспределения земель различных категорий по видам их использования. Так, например, решая задачу рационального размещения водозаборов подземных вод при сложившемся природопользовании, мы должны отдавать предпочтение унаследованно-высокому рельефу. Там, возможно, воды окажутся на большей глубине, но в наиболее благоприятной санитарной обстановке. Рельеф с аналогичным типом унаследованности благоприятен для заповедников, заказников и территорий с ограниченной антропогенной нагрузкой. Это, как правило, и относительно хорошо проветриваемые территории. Унаследованно-низкий рельеф будет характеризоваться более близким залеганием грунтовых вод и возможной заболоченностью, трудно поддающейся водной мелиорации. Каждому из типов унаследованности рельефа может быть предложен свой собственный вид природопользования, оптимальный с точки зрения природопользования. В такой информации могут быть заинтересованы различные органы территориального управления или информационного его обеспечения.

Задача об унаследованности рельефа не является в геоморфологии уникальной с точки зрения возможностей автоматизации. Можно обсуждать вопрос о преимуществах и недостатках формальных подходов в тех областях научной деятельности, где традиционно господствуют экспертно-логические приемы достижения результатов. Но, несомненно, положительная сторона дела проявляется в прекрасных иллюстративных возможностях задач, доведенных до автоматизированной реализации. Облегчение трудоемких картометрических, вычислительных и оформительских процедур позволяет шире внедрять в учебные программы элементы поисково-исследовательского труда, что открывает новые методические перспективы в обучении специалистов естественного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мещеряков Ю.А.* Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965. 390 с.
2. Морфоструктура и морфоскульптура гор и общие закономерности строения рельефа СССР / Под ред. И.П. Герасимова, А.А. Асеева. М.: Наука, 1986. 192 с.
3. Морфоструктура и морфоскульптура платформенных равнин СССР и дна омывающих его морей / Под ред. И.П. Герасимова, А.А. Асеева. М.: Наука, 1986. 190 с.
4. *Черванев И.Г.* Структурный анализ рельефа: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Харьков, 1978. 32 с.
5. *Бредихин А.В., Панин А.В.* Геолого-геоморфологический блок учебной ГИС: опыт разработки и применения // Геоморфология. 1994. № 2. С. 86–94.
6. *Панин А.В., Бредихин А.В.* Учебная геоинформационная система «Сатино»: геолого-геоморфологический блок // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1995. № 4. С. 52–58.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
12.01.96

AN EXPERIENCE OF LOCAL GEOINFORMATION SYSTEM APPLICATION TO AUTOMATED STUDIES OF INHERITED FEATURES IN TOPOGRAPHY

YU.G. SIMONOV, A.V. PANIN, V.A. ULYANOV

Summary

Different approaches are considered to define the notion of «inheritance of topography». A proposed technique of morphological inheritance studies is based on hypsometric analysis of relief dated to different epochs. The paleo-relief reconstruction and following procedures are automated by the use of geoinformation system of the key area. The studies result in a map of types of inheritance, three type of inherited topography and two types of inversed topography being recognised.