

УДК 551.4«312»(477. 8)

И. Д. ГОФШТЕЙН

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА КАРПАТ

На основании новейших геофизических, геологических и геоморфологических данных рассчитаны амплитуды и скорость поднятия Карпат за неоген-четвертичное время, рассмотрена физическая сущность этого явления, сопоставляется интенсивность эндогенного и экзогенного факторов в развитии рельефа Карпат.

История развития рельефа Советских Карпат насчитывает многие миллионы лет — возникновение горного хребта на месте альпийской геосинклинали относится к началу неогена. На этом фоне современный период представляется не более чем одним кадром из длинного фильма. Однако это неблагоприятное с точки зрения изучения рельефа обстоятельство в известной мере искупается широким охватом данных, которые характеризуют динамику рельефа в настоящее время.

Некоторые исходные данные

Горные породы осадочной оболочки. Естественно, что развитие процессов денудации в Карпатах в большой мере зависит от слагающих горы пород. Важнейшим показателем эффективности денудации является скорость денудационного среза. Эту величину необходимо учитывать при количественной характеристике процессов разрушения гор, при определении истинной скорости движения земной поверхности, и как фактор, влияющий на подъемную силу, действующую на земную кору согласно законам изостазии.

Рельеф Карпат — это рельеф осадочной оболочки земной коры; только на небольшом пространстве, где на поверхность выходят древние метаморфические породы (Мармарошский массив), в формировании современного рельефа участвует «гранитная» оболочка. Карпатское горное сооружение вместе с прилегающими к нему неогеновыми прогибами занимает площадь около 20 тыс. км². Распространение разных литологических комплексов характеризует таблица.

Таблица 1

Литологические комплексы		Площадь, %	Объемный вес*, г/см ³
Породы неогена:	осадочные	12	2,4—2,1
	вулканические		2,6
Терригенный флиш мела-палеогена		86	2,5
Древние кристаллические породы		2	2,6

*По данным И. И. Бородатого (1965).

Господством флиша объясняются такие характерные особенности рельефа Советских Карпат, как незначительное развитие скалистых склонов и водораздельных гребней, плавные контуры горных вершин, широкое развитие межгорных котловин и пр. (рисунок). Объем Карпат в пре-

УДК 551.4«312»(477. 8)

И. Д. ГОФШТЕИН

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА КАРПАТ

На основании новейших геофизических, геологических и геоморфологических данных рассчитаны амплитуды и скорость поднятия Карпат за неоген-четвертичное время, рассмотрена физическая сущность этого явления, сопоставляется интенсивность эндогенного и экзогенного факторов в развитии рельефа Карпат.

История развития рельефа Советских Карпат насчитывает многие миллионы лет — возникновение горного хребта на месте альпийской геосинклинали относится к началу неогена. На этом фоне современный период представляется не более чем одним кадром из длинного фильма. Однако это неблагоприятное с точки зрения изучения рельефа обстоятельство в известной мере искупается широким охватом данных, которые характеризуют динамику рельефа в настоящее время.

Некоторые исходные данные

Горные породы осадочной оболочки. Естественно, что развитие процессов денудации в Карпатах в большой мере зависит от слагающих горы пород. Важнейшим показателем эффективности денудации является скорость денудационного среза. Эту величину необходимо учитывать при количественной характеристике процессов разрушения гор, при определении истинной скорости движения земной поверхности, и как фактор, влияющий на подъемную силу, действующую на земную кору согласно законам изостазии.

Рельеф Карпат — это рельеф осадочной оболочки земной коры; только на небольшом пространстве, где на поверхность выходят древние метаморфические породы (Мармарошский массив), в формировании современного рельефа участвует «гранитная» оболочка. Карпатское горное сооружение вместе с прилегающими к нему неогеновыми прогибами занимает площадь около 20 тыс. км². Распространение разных литологических комплексов характеризует таблица.

Таблица 1

Литологические комплексы	Площадь, %	Объемный вес ¹ , г/см ³
Породы неогена: осадочные	12	2,4—2,1
вулканические		2,6
Терригенный флиш мела-палеогена	86	2,5
Древние кристаллические породы	2	2,6

¹По данным И. И. Бородатого (1965).

Господством флиша объясняются такие характерные особенности рельефа Советских Карпат, как незначительное развитие скалистых склонов и водораздельных гребней, плавные контуры горных вершин, широкое развитие межгорных котловин и пр. (рисунок). Объем Карпат в пре-



Типичный вид флишевых вершин
(хребет Свидовец в верховьях Тисы). Фото автора

делах СССР, подсчитанный с уровня 500 м абс. высоты, исключая вулканический хребет, равен 6 тыс. км³ (Гофштейн, 1969). Вулканический Вигорлат—Гутинский хребет как элемент рельефа, созданный процессами вулканической аккумуляции, в отличие от складчатых Карпат не отражен в строении глубоких оболочек земной коры.

Вес горных пород, рассчитанный исходя из объемного веса пород флиша (песчаники, аргиллиты), составляет 14, 688, 175, 10⁶ тонн (Гофштейн, 1969) и с учетом кристаллических пород может быть увеличен до 15·10¹⁹ тонн.

Разрушение гор

Действие разрушительных процессов на протяжении всего новейшего времени (неоген—антропоген) отражают высота и степень эрозийного расчленения Карпат, крутизна склонов и ряд других признаков. Современный же этап характеризуется наиболее полно твердым стоком рек. Разумеется, твердый сток как суммарный итог процессов разрушения гор (выветривание горных пород, плоскостной смыв, эрозия, обвалы и осыпи, оползни и т. д.) не позволяет оценить роль каждого из них, но такой задачи мы здесь перед собой не ставим.

Твердый сток карпатских рек¹ в месте выхода рек на предгорную равнину по средним многолетним данным определен в пределах 1,2—3,3 млн. т/год, в среднем 2254 тыс. т/год (Гофштейн, 1969). В пересчете на площадь, занятую горами (17 тыс. км²), это составляет 133 т/год с одного квадратного километра.

Рост гор

В росте гор убеждают результаты проведенных в Карпатах повторных нивелировок высокой точности для периодов продолжительностью от 30 до 80 лет. Данные, характеризующие абсолютный и относительный рост, имеют неодинаковую степень достоверности. Величина абсолютной скорости движения зависит от точной передачи высотных отметок от уровня моря к началу линии нивелирования через Карпаты. Началом был

¹ Учтены все компоненты твердого стока — взвешенные и влекомые по дну наносы и растворенные в воде вещества.

пункт Золочев (к юго-востоку от Львова), для которого ранее была определена скорость поднятия 8,9 мм/год; в последнее время эта цифра стала внушать сомнения и рассматривается как завышенная. Приняв указанную величину за исходную, получим для Карпат скорость современного поднятия от 9 до 11 мм/год, а для соседних прогибов — скорость от 8 до 10 мм/год (Гофштейн и др., 1970). Даже если значение абсолютной скорости движения земной коры в Карпатах преувеличено, то опережение поднимающимися Карпатами соседних прогибов и окраины Русской платформы является установленным фактом. Поднятие гор относительно Закарпатского внутреннего прогиба происходит со скоростью 3 мм/год, а относительно Предкарпатского краевого прогиба — со скоростью 1 мм/год. Наиболее активно поднимается осевая зона Карпат, где хребты достигают максимальной высоты. Обращает на себя внимание близость скоростей движения Карпат и Предкарпатского прогиба. Этот факт, равно как и близкая степень изостатической уравнированности обоих участков, находится в согласии со строением земной коры в Карпатском регионе (Соллогуб и др., 1967). В то время как в Карпатах и Предкарпатском прогибе толщина коры почти одинакова (55 км), в Закарпатском прогибе она на много меньше (27 км) за счет редукции главного образом «базальтового» слоя.

В настоящее время можно указать две причины вертикальных движений земной коры: движения, происходящие в верхней мантии (или более глубоких частях) Земли и изостатическое уравнивание коры. Анализ материала по Карпатам и прилегающим прогибам показывает, что если в одних случаях для объяснения современных вертикальных движений достаточно изостатического фактора, то в других случаях нельзя обойтись без движений в подкоровой среде.

В общем случае

$$V_v = V_m + V_i,$$

где V_v — скорость вертикальных тектонических движений, V_m — скорость движений мантийного происхождения, V_i — скорость движений изостатического происхождения. Знак индексов определяется направлением движения (поднятие, опускание).

Установлена зависимость между высотой рельефа и мощностью земной коры, которая позволяет (по величине отклонения от средних значений) в каждом конкретном случае судить о степени изостатического уравнивания коры (Гзовский, 1963). На этом основании следует сделать вывод, что в Карпатском регионе современные вертикальные движения могут иметь разное происхождение. Расчеты показали (Гофштейн и др., 1970), что в Закарпатском прогибе земная кора, начиная с голоцена, отклоняется от равновесного положения (вместо требуемого по уравнению опускания в действительности происходит поднятие). Иначе говоря, в Закарпатском прогибе

$$V_m > V_i.$$

Для объяснения поднятия Карпат и Предкарпатского прогиба достаточно одной установленной здесь изостатической неуравновешенности коры (для приобретения земной корой равновесия в обоих случаях требуется поднятие, которое в действительности происходит). Здесь, следовательно, возможны соотношения

$$V_v = V_i$$

или (в частности, и в случае если V_m имеет отрицательный знак)

$$V_i > V_m.$$

Роль изостазии как одной из причин вертикальных движений можно показать и в другом аспекте. Известно, что при плейстоценовом оледенении Фенноскандии нагрузка 1,3 млрд т на квадратный километр вызвала прогибание данного участка земной коры, а снятие нагрузки вследствие таяния ледника вызвало поднятие коры в голоцене. Если нагрузка 1,3 млрд т/км² достаточна, чтобы преодолеть силы трения и вывести земную кору из состояния изостатического равновесия, то разгрузка такой же величины должна также вызвать нарушение равновесия. Если допустить, что в какой-то период земная кора в Карпатах находилась в уравновешенном состоянии, то облегчение коры за счет процессов денудации современной интенсивности через 10 млн. лет вызвало бы поднятие гор (на всей площади) исключительно за счет восстановления нарушенного равновесия. (В действительности интенсивность денудации по мере снижения гор уменьшается, однако напомним, что Карпаты существуют 25 млн. лет).

Скорость гляциостатического поднятия центральной части Балтийского щита в голоцене составляла 15 мм/год, ряд фактов свидетельствует, что движение было направленным (Мещеряков, 1961). Исходя из этого, но учитывая разную мощность земной коры в Фенноскандии и Карпатах, из осторожности примем, что после того, как был включен механизм изостазии, Карпаты поднимались со скоростью не 15 мм/год, а втрое меньшей. В этом случае потребовалось бы менее полумиллиона лет, чтобы горы достигли нынешней высоты (2000 м).

Приведенные расчеты, конечно, в большой мере условны, но они дают некоторую ориентировку в затронутom вопросе.

О взаимодействии рельефообразующих процессов

При описании современных рельефообразующих процессов в Карпатах некоторые авторы ограничиваются экзогенными процессами. Между тем эндогенные процессы играют существенную роль и в современном рельефообразовании, хотя они не так заметны. Мы имеем в виду не изменения рельефа, вызываемые землетрясениями, т. е. явлениями далеко не повсеместными и сравнительно редкими, а колебания земной коры, которые проявляются в поднятии гор и опускании прогибов. Скорость поднятия гор по отношению к прилегающим равнинным пространствам измеряется несколькими сантиметрами в десятки лет, что по сравнению с высотой гор представляется ничтожной величиной. Но важно другое: эти движения земной коры, накладываясь на колебания большого периода, за миллионы лет приводят к образованию горных систем. Надо добавить, что поднятие гор происходит неравномерно и что контрастность движений наблюдается не только на границе гор и предгорий, но и в пределах самих горных хребтов.

Очевидно, что только изучение взаимодействия созидательных и разрушительных сил способно показать современное рельефообразование в исторической перспективе. Подобная попытка по отношению к одному из районов Карпат была сделана нами ранее (Гофштейн, 1967).

ЛИТЕРАТУРА

- Гзовский М. В. Геофизическая интерпретация данных о новейших и современных глубинных тектонических движениях. В кн.: Современные движения земной коры, № 1. Изд-во АН СССР, 1963.
- Гофштейн И. Д. О скорости денудационного выравнивания и вертикальных колебательных движений земной коры в Советских Карпатах. В кн.: Карпато-Балканская ассоциация, VIII конгресс. Белград, 1967.
- Гофштейн И. Д. Опыт сопоставления твердого стока карпатских рек с объемом гор. В кн.: Доклады и сообщения Львовск. отд. Географического о-ва УССР. Львов, 1969.

- Гофштейн И. Д., Кузнецова В. Г., Сомов В. И. Вивчення сучасних рухів земної кори в Карпатах. «Наукова думка», Київ, 1970.
- Мещеряков Ю. А. Молодые тектонические движения и эрозионно-аккумулятивные процессы северо-западной части Русской равнины. Изд-во АН СССР, 1961.
- Соллогуб В. Б. и др. Глубинное строение земной коры Восточных Карпат и прилегающих районов Украины по данным ГСЗ. В кн.: Геофизические исследования строения земной коры юго-восточной Европы. Верхняя мантия, № 5, «Наука», 1967.

Львовский филиал
Института геофизики АН УССР

Поступила в редакцию
17.I.1970

THE RECENT STAGE OF DEVELOPMENT OF THE CARPATHIAN'S RELIEF

I. D. HOFSTEIN

Summary

On the basis of the latest geophysical, geological and geomorphological data there are calculated amplitudes and the rate of uplifting of the Carpathians during the neo-gen — quaternary time; physical essence of this phenomenon is regarded, intensity values of endogenic and exogenic factors in development of the Carpathians' relief are compared.
