

УДК 551.433:550.343.6

И. П. ГЕРАСИМОВ, Е. Я. РАНЦМАН
**МОРФОСТРУКТУРА ГОРНЫХ СТРАН
И ИХ СЕЙСМИЧНОСТЬ**

На основе морфоструктурного анализа Тянь-Шаня и Памира определены продольные и секущие линейные границы крупных морфоструктурных единиц, названные морфоструктурными линейными элементами. Участки их сочленения выделены как самостоятельные единицы — морфоструктурные узлы. Описана методика распознавания на ЭВМ по морфоструктурным признакам с помощью логического анализа мест возможных сильных землетрясений, связанных с морфоструктурными узлами.

В начале 50-х годов в СССР была выдвинута задача создания научных основ прогноза места, времени и силы землетрясений. С этой целью было начато комплексное изучение наиболее сейсмичных районов Советского Союза. Одновременно с широко поставленными геофизическими работами проводились специальные геологические (главным образом структурно-тектонические) и геоморфологические исследования. В последних приняли участие авторы настоящей статьи, причем основным объектом их изучения были горы Средней Азии (Тянь-Шань, Памиро-Алай), которые известны своей сильной сейсмичностью. Уже в 1954 г. И. П. Герасимов опубликовал первые результаты проведенных исследований, позднее они были дополнены результатами новых наблюдений (Gerasimov, 1957—1959; Ранцман, 1961; Герасимов, Ранцман, 1964). Сейчас мы снова возвращаемся к указанной выше теме, используя данные исследований последних лет.

Основной причиной столь настойчивого интереса к рассматриваемой проблематике является твердая убежденность авторов в больших и еще полностью не использованных возможностях геоморфологической науки, прежде всего так называемого морфоструктурного анализа рельефа, для научной разработки ряда основных вопросов сейсмологии. Как известно в основе этого анализа лежит разделение всех элементов рельефа Земли на три основные категории, различные по происхождению: геотектуры, морфоструктуры и морфоскульптуры (Герасимов, 1967). Естественно, что при геоморфологических исследованиях в сейсмологических целях основное внимание обращалось прежде всего на изучение морфоструктур. При этом признавалось необходимым возможно более последовательно использовать основной подход морфоструктурного анализа, который заключается в сравнительном сопоставлении морфологических особенностей современного рельефа земной поверхности с ее геологической структурой и составом новейших отложений, проведенном в историко-геологическом аспекте.

С этой точки зрения современный рельеф горных систем Тянь-Шаня и Памира представляет особенно большой интерес. Уже довольно давно в работах ряда советских геологов и геоморфологов (Шульц, 1948; Петрушевский, 1955 и др.) была установлена тектоническая (т. е. морфоструктурная) природа горных хребтов и межгорных впадин этих

территорий. При проведенных исследованиях становилось все более очевидно, что крупные складчатые деформации, заложившие основу для образования современных хребтов и впадин, в ходе своего геотектонического развития были в высокой степени осложнены или даже заменены многочисленными разрывными дислокациями, превратившими хребты в системы блоков, или глыб (горстов), а котловины — в сложные тектонические депрессии или грабены.

Между тем главными причинами большинства «нормальных» землетрясений, происходящих на Земле, считаются современные тектонические движения, т. е. быстрые (внезапные) перемещения отдельных участков земной коры, которые происходят время от времени и наиболее обычны в тех зонах, где расположены системы новейших дизъюнктивных дислокаций. Таким образом, горные системы Тянь-Шаня и Памира с их очень высокой современной сейсмичностью и крайне выразительными морфоструктурами по всем признакам являются весьма благодарными объектами для соответствующих геоморфологических исследований. Вероятно, их можно считать достаточно типичными и уверенно распространять полученные выводы на другие горные страны.

Главные орографические элементы Тянь-Шаня и Памира и морфоструктурные линеаменты

На рис. 1 представлены в несколько обобщенном виде главные орографические элементы, т. е. горные хребты и межгорные впадины Тянь-Шаня и Памира. Они образуют сложный географический узор, который нуждается в геоморфологической расшифровке и объяснении. Наиболее вероятно, что географическое расположение горных хребтов и межгорных впадин обусловлено соответствующим простиранием зон интенсивных новейших тектонических дислокаций пликативного и дизъюнктивного характера, ясно выраженных в современном рельефе. Зоны такого характера можно называть *морфоструктурными линеаментами*. Сказанное подтверждается анализом геологической карты Средней Азии и, в частности, изображения геологической структуры и тектоники территории. Мы видим на ней явное преобладание (горы Тянь-Шаня и Памира) преимущественно широтных (продольных) геоструктур различного возраста, сопровождающихся густой сетью огромных линейных разломов (глубинных линеаментов), местами обнаруживающих те или иные косые (секущие) нарушения своего простираения. Более того, все главные орографические подразделения Тянь-Шаня, видимые даже на орографической схеме, получают при сопоставлении с геологической картой вполне определенное морфоструктурное обоснование путем выявления крупнейших морфоструктурных линеаментов.

Так, например, характерный «косой» (СЗ—ЮВ) линеамент Ферганского и Таласского хребтов с продолжением в хр. Каратау отделяет область Восточного Тянь-Шаня, в которой значительное участие принимают древние каледонские геоструктуры, от исключительно герцинских геоструктур Западного Тянь-Шаня. С юга эти геоструктуры ограничиваются Таримским жестким массивом. Огромные широтные хребты южнее Ферганской котловины (Алайский, Туркестанский, Зеравшанский, Гиссарский) расположены в зоне перехода от герцинид Западного Тянь-Шаня к более сложным структурам Алайд — хребтам Заалайскому, Петра Первого, Вахшскому и Дарвазскому, отделяющим эти геоструктуры от области альпийской складчатости Памира.

Таким образом, согласно принципам структурного анализа рельефа (см. выше), возникает необходимость выделения в горах Средней Азии трех огромных морфоструктурных линеаментов (зон) высшего (первого) ранга, которые отделяют друг от друга самые крупные морфоструктурные области и горные страны, хорошо различимые на этой

территории по орографии и геоструктуре или по основному ходу своего геологического развития (рис. 2): Внутренний Тянь-Шаньский, или Таласо-Ферганский, линеймент (зона), который отделяет Восточный Тянь-Шань, от Западного; Алайский, ограничивающий Тянь-Шань с юга; Памирский, ограничивающий с севера эпигеосинклинальную область Памира.

Кроме того, в систему морфоструктурных линейментов высшего (первого) ранга, расположенных в Средней Азии, необходимо также включить (на основании геологических и геоморфологических данных) два обширных краевых линеймента (см. рис. 2): Восточно-Тянь-Шаньский, ограничивающий эту горную область на севере; Западно-Тянь-Шаньский, ограничивающий ее с запада.

Наряду с вышеперечисленными выделяются аналогичные образования среднего (второго) ранга (см. рис. 2). Они ограничивают или раз-

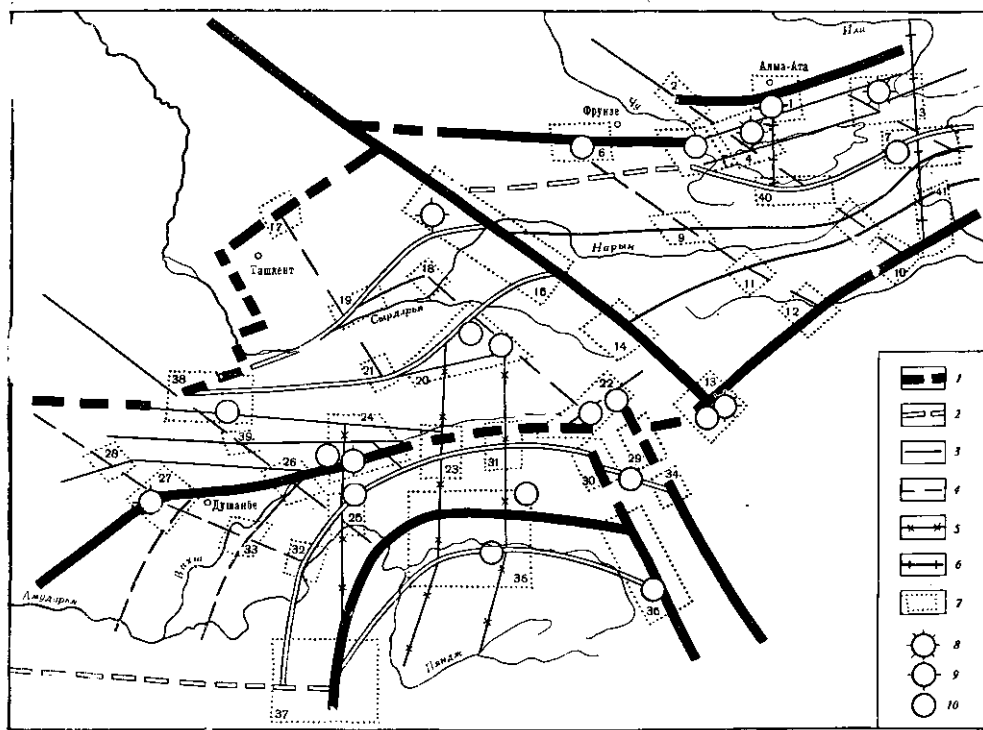


Рис. 2. Морфоструктурная схема гор Средней Азии

1—3 — продольные морфоструктурные линейменты: 1 — высшего ранга (границы горных стран); 2 — среднего ранга (границы мегаблоков); 3 — низшего ранга (границы блоков). 4—6 — секущие морфоструктурные линейменты (границы блоков): 4 — секущие; 5 — поперечные, связанные с повышением высот в продольных морфоструктурах; 6 — поперечные, связанные с понижением высот в продольных морфоструктурах; 7 — границы морфоструктурных узлов; 8 — номера морфоструктурных узлов. 9—11 — эпицентры сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6,5$ или энергетическим классом $K = 16-18$; 9 — $K = 18$; 10 — $K = 17$; 11 — $K = 16$

деляют отдельные части крупных морфоструктурных областей и горных стран, включающие группы горных хребтов и межгорных впадин, построенных однотипно и отгикающихся в своей совокупности друг от друга по существенным морфоструктурным особенностям. Исходя из этих особенностей, такие части горных областей (стран) можно называть мегаблоками.

В пределах Восточного Тянь-Шаня морфоструктурные линейменты (зоны) рассматриваемого ранга отделяют систему северных (передовых) горных хребтов (Зайлийский Алатау, Кетмень, Кунгей-Алатау, Киргизский хр.), или мегаблок Северного Тянь-Шаня, от так называемого Внутреннего Тянь-Шаня (мегаблок Центрального Тянь-Шаня),

для которого характерно развитие обширных и высоких нагорий («сыр-тов»). Морфоструктурный линеймент между этими мегаблоками проходит на востоке по геологически выявленному Южно-Иссыккульскому глубинному разлому (расположен вдоль северного подножья горного хребта Терской-Алатау, окаймляющего Центральный Тянь-Шань), а на западе он предположительно следует вдоль южной окраины Киргизского хребта.

В Западном Тянь-Шане решающее влияние на расположение морфоструктурных линейментов среднего ранга оказала, видимо, обширная Ферганская тектоническая депрессия. Она разделила эту горную страну на Чаткальский мегаблок, расположенный севернее Ферганы (хребты Чаткальский, Кураминский и др.), и переходный (к Алаидам) Гиссарский мегаблок, состоящий из системы мощных широтных горных хребтов с продольными «долинами» (хребты Туркестанский, Зеравшанский, Гиссарский, Алайский). Северный (Чаткальский) мегаблок окаймлен с юга Северо-Ферганским морфоструктурным линейментом, южный (Гиссарский) — Южно-Ферганским. Оба линеймента по геологическим признакам трактуются как глубинные разломы (Суворов, 1968).

В Алае и на Памире расположение морфоструктурных линейментов среднего (второго) ранга оказывается более сложным. В пределах Алайд (в широком смысле этого понятия) подобный линеймент отделяет передовые хребты Памира (хребты Петра Первого, Вахшский и др.) от поднятий Северного Памира. В пределах Памира крупный морфоструктурный линеймент отделяет хребты Центральной зоны Памира (Язгулемский, Ванчский и др.), развитые на месте альпийского прогиба, от хребтов и равнин южной зоны — древнего срединного массива. Оба линеймента имеют дугообразное простираение, аналогичное простираению Памирского линеймента высшего ранга. Их реальное существование, кроме очевидных различий морфоструктуры, подтверждается геологическими доказательствами глубинных разломов (Дарвазского, Каракульского, Рушанско-Пшартского и др.) (Бархатов, 1963).

Имеются все основания выделить на территории Тянь-Шаня и Памира также и морфоструктурные линейменты низшего (третьего) ранга. Такими образованиями следует считать, очевидно, зоны, ограничивающие (разделяющие) отдельные крупные горные хребты, межгорные впадины и внутригорные долины, каждую из которых можно рассматривать как отдельный морфоструктурный блок. На рис. 2 по морфоструктурным признакам (морфология и геоструктура) выделены наиболее важные из таких линейментов. Из картосхемы видно, что в пределах Тянь-Шаня и Памира существует целая система этих морфоструктурных образований, что, конечно, превосходно выражается в современной орографии рассматриваемых горных стран (см. рис. 1).

Все морфоструктурные линейменты (высшего, среднего и низшего рангов), рассмотренные выше, выделены на картосхеме № 2 как образования с продольным простираением. Как уже указывалось, это означает, что все они параллельны главным орографическим линиям современного рельефа, в первую очередь осям и подножьям крупных горных хребтов, а также простираению главных межгорных впадин и внутригорных «долин». Однако при рассмотрении орографической схемы Тянь-Шаня и Памира становится ясно, что только одна система продольных морфоструктурных линейментов (всех рангов) не может еще полностью объяснить их геоморфологию (см. рис. 1). Наиболее важными особенностями, не контролируемыми системой продольных линейментов, являются периодическая ундуляция главных осей горных хребтов и частое кулисообразное смещение их осей. А между тем именно подобные усложнения продольных, в основном, орографических элементов создают тот сложный и запутанный рисунок хребтов, который мы видим на гипсометрических схемах в горной части Средней Азии.

Отсюда и родилось, очевидно, представление о существовании наряду с продольными морфоструктурными линеаментами также и секущих (поперечных) неотектонических образований (Николаев, 1970). Это дает основание выделять на территории Тянь-Шаня и Памира, наряду с продольными морфоструктурными линеаментами, аналогичные поперечные образования, которые можно, по всей вероятности, подразделить на ранги разного порядка. Наиболее крупные линеаменты такого рода прослеживаются здесь на протяжении сотен километров, пересекая даже разные горные страны, мегаблоки и т. д. Местами они выражены (помимо морфоструктурных особенностей) конкретными тектоническими разрывами, местами — лишь косвенными признаками. На схеме (рис. 2) выделены наиболее крупные линеаменты такого характера.

Как уже указывалось выше, секущие линеаменты обуславливают образование участков сужений котловин и сближения осей горных хребтов. Они проходят по местам кулисного сочленения хребтов, и изменения их простираний согласуются с границами резкого изменения мощности рыхлых толщ. Вдоль секущих линеаментов на отдельных участках следуют хребты и долины, косо расположенные относительно продольных морфоструктур.

На Тянь-Шане преобладают секущие линеаменты северо-западного простирания — параллельные Таласо-Ферганскому морфоструктурному линеаменту высшего ранга. На Памире секущие линеаменты приурочены к западной части Памиро-Алая и по простиранию близки к Тянь-Шаньским. При этом они проходят по местам кулисного сочленения хребтов Заалайского, Петра Первого, Вахшского и Каратау, простирание которых меняется от широтного (Заалайский хребет) до юго-юго-западного (хр. Каратау).

Морфоструктурные узлы и сейсмические проявления в горах Тянь-Шаня и Памира

Изображенные на рис. 2 различные типы морфоструктурных линеаментов имеют довольно сложное строение. Мы чаще всего связываем их с разрывными морфоструктурами, хотя, конечно, не только одни разломы входят в их состав. Наряду с разнообразными дизъюнктивными морфоструктурами (которые в горах Средней Азии доминируют) значительную роль здесь играют пликативные образования, а также смешанные формы (пликативно-дизъюнктивные). Очень важно, однако, то, что лишь в редких случаях строение морфоструктурного линеамента определяется одной крупной дизъюнктивной структурой (крупным глубинным разломом, выраженным в рельефе). Значительно более типичны системы многих параллельных дизъюнкций (типа, например, ступенчатых сбросов или взбросов), осложненных пликативными структурами различных масштабов. Все эти морфоструктуры обычно образуют целую зону до 10—20 км ширины. Такая зона предстает перед нами весьма часто в виде полосы крайне пересеченного рельефа, в основе которого лежит та или иная степень деформации и дробления земной коры.

Однако оказывается, что участки особо сложной морфоструктуры создаются на Тянь-Шане и Памиро-Алае в местах пересечения или сочленения продольных и секущих морфоструктурных линеаментов. В этих местах участок интенсивных деформаций и дробления земной коры значительно расширяется, не только вытягиваясь вдоль каждого из сходящихся линеаментов, но и захватывая промежутки между ними. Речная сеть здесь использует систему многочисленных разрывов и тектонических трещин и следует по различным, часто противоположным направлениям. Дифференциация движений в местах пересечения линеаментов усиливается, что создает здесь значительную контрастность релье-

фа и сочетание столь различных типов рельефа, как, например, крутых горных склонов и плоских подгорных равнин, узких ущелий, тектонических уступов и плосковершинных хребтов.

Высокая степень раздробленности земной коры в близко сходящихся морфоструктурных линеаментах наряду с контрастным рельефом создает благоприятные условия для развития гравитационно-тектонических смещений скальных масс и разнообразных рыхлых толщ, накопленных на склонах и в долинах. Именно здесь происходили известные и грандиозные перемещения скально-глыбовых масс, (Иссыкское, Алмаатинское, Хаитское, Каракольское и др.), которые сопровождались образованием плотинных горных озер, мощными селями и т. д.

Таким образом, специфика блокового строения и своеобразие рельефа мест пересечения крупных морфоструктурных линеаментов позволяют выделить их в самостоятельные морфоструктуры — морфоструктурные узлы. Такие узлы отличаются от соседних территорий не только повышенным числом тектонических разломов и деформаций, но и более пестрым составом пород разного возраста, частыми контактами древних пород и молодых отложений и т. д. Кроме того, в некоторых узлах меняется простираание продольных линеаментов, а границы различных типов рельефа имеют очень сложный характер. Все эти признаки позволяют выявить и установить границы морфоструктурных узлов с помощью полевых работ и геологических и топографических карт.

Из этих данных ясно, что морфоструктурные узлы Тянь-Шаня и Памира должны выделяться своей повышенной сейсмической активностью и именно к ним могут быть чаще всего приурочены эпицентры сильных землетрясений. Сопоставление всех наиболее важных морфоструктурных узлов (всего выделен 41 узел) с географическим расположением сильных землетрясений, зафиксированных почти за 100 лет (1885—1971 гг.), проведено в работе И. М. Гельфанда и др. (1972).

Оказалось, что эпицентры всех разрушительных землетрясений (с магнитудой в 6,5 и больше и энергией сейсмических волн, равной или большей 10^{16} Дж) приходились на морфоструктурные узлы. Более того, в некоторых из них произошло по два сильных землетрясения (рис. 2).

Вместе с тем выяснилось, что далеко не все выделенные на карте схеме морфоструктурные узлы были отмечены сильными землетрясениями. Так, из 41 выделенного узла сильные землетрясения имели место только в 16*. Поэтому возникла интересная задача — тщательно проанализировать главные характеристики («приметы») вышеупомянутых сейсмически достоверных морфоструктурных 16 узлов, чтобы выявить круг наиболее устойчивых и показательных признаков, свойственных им. Это даст возможность использовать такие признаки для дальнейших прогностических сейсмологических целей. Подобная задача была выполнена методом логического анализа с использованием ЭВМ (Гельфанд и др., 1972).

Опыт применения логического анализа и электронно-вычислительной машины для морфосейсмологического прогнозирования

Эта работа была проведена в Институте прикладной математики АН СССР. Схематически анализ заключался в разделении всех морфоструктурных узлов, выделенных на рис. 2 (общим числом 41), на две большие предварительные группы: узлы В, т. е. высокосейсмические, и узлы Н, т. е. низкосейсмические. В первую группу попали те 16 узлов, для которых были зафиксированы эпицентры сильных землетрясений. На рис. 2 узлы были разделены дополнительно на три подгруппы по уровням энергетических классов землетрясений ($K=18, 17, 16$).

* Вот их номера (на рис. 2): 1, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 15, 20, 22, 24, 25, 27, 35, 36, 38.

Для характеристики каждого узла была установлена система признаков, которые можно получить либо с составленной картосхемы морфоструктурных линейментов и узлов (см. рис. 2), либо с крупномасштабных топографических карт. При отборе этих признаков, несмотря на видимую простоту, в них удалось вложить вполне определенное и достаточно информативное морфоструктурное содержание, подробнее рассмотренное в следующем разделе.

Была принята следующая система признаков:

- 1) тип сочленения линейментов в узле: П — приращение, Пр — пересечение;
- 2) число линейментов, сходящихся в узле (Чл), с подразделением: $a=2$, $b=3$, $c>3$;
- 3) ранг линейментов (Рл) с подразделением: а) проходит по границе горной страны и области; б) мегаблока; в) блока;
- 4) расстояние узла от линеймента высшего ранга (Р) с подразделением: $a\leq 30$ км, $b\leq 70$ км, $c>70$ км;
- 5) тип рельефа, сочленяющегося в узле (Т): а — горы — предгорья — подгорные равнины, б — горы — предгорья, в — горы — подгорные равнины, г — горы — горы, д — предгорья — подгорные равнины;
- 6) максимальные абсолютные высоты в узле (В) с подразделением: $a\leq 3$ км, $b=3-4$ км, $c>4$ км;
- 7) амплитуда высот в узле (А) с подразделением: $a<1,5$ км, $b=1,5-2,5$ км, $c>2,5$ км;
- 8) относительная площадь рыхлых толщ (РТ) с подразделением: $a<1/5$, $b=1/5-1/2$ и $c>1/2$ от всей площади.

Анализируя по всем этим показателям характеристики морфоструктурных узлов, в которых уже были сильные землетрясения (группа В), с одной стороны, и тех узлов, в которых таких землетрясений еще не было (группа Н), было отобрано (путем работы ЭВМ) по 11 наиболее характерных сочетаний показателей вышеперечисленных признаков, свойственных этой каждой предварительной группе. Таким образом были получены определенные критерии высокой и низкой сейсмичности морфоструктурных узлов (табл. 1).

Таблица 1

Выявленные признаки высоко- и низкосейсмичных морфоструктурных узлов (по Гельфанду и др., 1972)

Узлы В	Узлы Н
1. $A\geq 2,5$; $РТ<1/5$ или $>1/2$	$A\leq 2,5$; $РТ>1/5$ или $<1/2$
2. $P\leq 30$; $T\neq 6$; $РТ<1/5$ или $>1/2$	$P>30$; $A\leq 2,5$
3. $Чл\geq 3$; $Рл\neq 6$; $РТ<1/5$ или $>1/2$	$Чл=2$; $A\leq 2,5$
4. $B>4$; $A>2,5$	$T\neq 2$ и $\neq 6$; $A\leq 2,5$
5. $P<70$; $A>2,5$	$T\neq 6$ и $\neq 2$; $A\leq 2,5$
6. $Рл\neq 6$; $A>2,5$	$Чл\leq 3$; $Рл\neq 6$; $A\leq 2,5$
7. $Рл\neq 6$; $A>2,5$	$Чл=2$; $B\leq 4$
8. $Рл\neq 6$; $P<70$; $B>4$	$Чл\leq 3$; $Рл=6$; $B\leq 4$
9. $Чл\geq 3$; $Рл\neq 6$; $B>4$	$Рл\neq 6$; $T\neq 6$ и $\neq 2$
10. $Чл\geq 3$; $P<70$; $T\neq 6$	$Пр$; $P>30$
11. $Чл\geq 3$; $Рл\neq 6$; $T\neq 6$	$Чл=2$; $Рл\neq 6$

После того как были отобраны вышеуказанные сочетания признаков, задача свелась к рассмотрению морфоструктурных характеристик каждого узла в отдельности и сопоставлению их с выявленными признаками каждой предварительной группы, чтобы окончательно решить, к какой группе принадлежит данный узел. В математической практике эту про-

цедуру называют «голосованием», так как тот или иной узел будет отнесен к той группе, за которую подано большее число «голосов» (баллов). 16 морфоструктурных узлов, первоначально отнесенных в группу В, там и остались. В первоначальной же группе Н обнаружилось шесть узлов, которые были «распознаны» как потенциально высокосейсмичные (табл. 2).

Таблица 2

Результаты «голосования» для узлов из группы Н, распознанных как В

№ узла	Число сочетаний в группе		Перевес голосов в пользу группы В	№ узла	Число сочетаний в группе		Перевес голосов в пользу группы В
	В	Н			В	Н	
37	10	1	9	26	2	3	—1
23	6	1	5	41	11	0	11
31	6	2	4	34	4	2	2

Как видим, перевес голосов в пользу группы В, равный —1 и более, использовался как показатель высокой сейсмичности, поскольку он встречался и в заведомо высокосейсмичных узлах.

Морфоструктурная интерпретация критериев высокой сейсмичности

Остановимся на рассмотрении критериев высокой сейсмичности, перечисленных выше. Как видно из табл. 1 выявленных признаков, при характеристике высокосейсмичных узлов повторяются в нескольких сочетаниях такие признаки, как высокий ранг линеаментов (Рл), расстояние до линеамента высшего ранга (Р), число сходящихся линеаментов в узле (Чл), размах высот (А). Меньшее число раз использовались другие показатели, как, например, относительная площадь рыхлых толщ (РТ), абсолютные высоты (В), сочленения разных типов рельефа (Т).

Безусловно, границы крупных морфоструктурных единиц (например, горная страна или ее крупная часть) разделяют территории с разной историей геологического развития и разным ходом новейших тектонических движений. В таких линеаментах можно ожидать и наиболее активные современные движения. Если опираться на представления о складчато-глыбовой тектонической природе гор Средней Азии (Герасимов, 1955), то северную и южную границы Тянь-Шаня можно рассматривать как морфоструктурные линеаменты высокого ранга, ограничивающие крупнейший свод, а внутренние линеаменты среднего (второго) ранга — как зоны, ограничивающие своды второго порядка (Алай-Гиссарский между Ферганской и Таджикской впадинами). Увеличение числа линеаментов в морфоструктурном узле создает сложную мозаику блоков, степень подвижности которых возрастает, что, вероятно, может способствовать повышению сейсмической активности узла в целом.

Из характеристик рельефа, пожалуй, следует остановиться на характере сочленений различных типов рельефа, поскольку такие показатели, как размах высот и максимальные высоты, — наглядные свидетели интенсивности и контрастности новейших движений и дополнительных объяснений не требуют.

Сочленения горы — предгорья — подгорные равнины свидетельствуют о расширении области поднятий за счет краевой части котловины и о смещении зоны контрастных движений от подножий к внутренним частям котловин — к границе предгорий с подгорными равнинами. Если же полоса предгорий широка и подгорные равнины далеко отодвинуты от подножий гор, можно считать, что в пределах морфоструктурного узла на границе гор и предгорий контрастных движений уже нет, и горы и прилегающая к ним часть котловины поднимаются как единое целое, а раз-

деляющая их зона в четвертичное время неактивна. Именно эти сочетания типов рельефа не должны встречаться в высокосейсмичных узлах согласно полученным критериям. Сочленение гор непосредственно с подгорными равнинами, наоборот, является свидетелем существования контрастной зоны у подножий гор, т. е. продолжающихся опусканий краевой части впадины рядом с растущими горами. Именно поэтому данное сочетание типов рельефа было отклонено ЭВМ, как неподходящее для признания узла несейсмичным.

Следует подчеркнуть, что во многих морфоструктурных узлах мы встречаемся сразу с двумя типами сочленений: горы — предгорья — подгорные равнины и горы — равнины. Это обусловлено дифференциацией тектонических движений на крыльях продольного и секущего линеаментов. Тогда, двигаясь вдоль продольного линеамента, мы вначале будем наблюдать сочленение горы — предгорья (на поднятом крыле секущего линеамента), а потом — горы — подгорные равнины (на опущенном его крыле).

Рассмотрим сочленение горы — горы, которое относится к близкому противостоянию хребтов, разделенных только продольными долинами — зонами продольных линеаментов (Кемино-Чиликская, Зеравшанская, Таласо-Ферганская). В таких зонах, видимо, контрастные движения захватывают узкую полосу или происходят активные горизонтальные подвиги, что благоприятствует проявлению сейсмической активности.

Таким образом, сочетания признаков, благоприятствующих высокой сейсмичности, соответствуют условиям контрастных и интенсивных новейших тектонических движений в линеаментах, сохранивших активность и в четвертичное время. Это и раньше считалось показателем высокой сейсмичности, что во многом повышает доверие к морфоструктурным критериям высокой сейсмичности. Заметим, что надежность распознавания сейсмичных узлов описанным способом была проверена математикой рядом контрольных экспериментов (Гельфанди др., 1972). В одном из них к узлам неизвестной сейсмичности отнесли все те морфоструктурные узлы, в которых землетрясения произошли после 1911 года, и провели распознавание, опираясь только на те, которые произошли раньше (только в 10 узлах). Оказалось, что все шесть морфоструктурных узлов, в которых землетрясения произошли после 1911 г., были правильно распознаны как высокосейсмичные.

Остановимся на общем расположении морфоструктурных узлов в рассматриваемом регионе. Наибольшее число высокосейсмичных узлов (11) приходится на границы горных стран (включая расстояние до 30 км от них), 3 узла — на границу мегаблоков в зонах сочленения хребтов с крупными межгорными впадинами (узлы 7, 20, 38), 2 — на границу морфоструктурных областей с активными горизонтальными движениями (узлы 15 и 35). Все узлы, распознанные как высокосейсмичные (в которых еще не было землетрясений), находятся в морфоструктурных линеаментах, расположенных на границах горных стран: Тянь-Шаня и Памира (узлы 25, 23, 31), Тянь-Шаня и Таримской впадины (узел 41), Куэнь-Луня и Таримской впадины (узел 34), Памира и Гиндукуша (узел 37).

Заключение

Изложенные результаты показывают важную роль морфоструктурного анализа в оценке современных тектонических движений, в том числе и таких практически важных проявлений этих движений как землетрясения. Выделение морфоструктурных узлов как самостоятельных морфоструктурных единиц позволяет проводить более конкретные геоморфологические исследования с целью прогноза мест возможных сильных землетрясений. Однако известно, что разрушения на земной поверхности вызывают и менее сильные землетрясения (начиная с М-5), которые могут быть приурочены к морфоструктурным узлам низкого ранга, часто-

унаследовавших свою активность от древних геологических структур. Поэтому, несомненно, что вопрос о том, как влияет на сейсмичность соотношение древних геологических и новейших морфологических структур различного ранга требует дальнейшего изучения. Вместе с тем, несомненен вывод, что, хотя унаследованные от прошлого геологические структуры оказывают определенное влияние на распределение морфоструктур, тем не менее проявление современной сейсмичности, вызванные новейшими и современными тектоническими движениями, наиболее отчетливо связаны с современной морфоструктурой. Этот вывод, конечно, не умаляет большого значения тектонических, геофизических и геодезических методов в исследованиях по прогнозу землетрясений. Однако он подчеркивает необходимость широкого использования всех этих методов для изучения, прежде всего, современного развития морфоструктур. Эта проблема решается в настоящее время в СССР на системе геодинамических полигонов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бархатов Б. П. Тектоника Памира. Изд-во ЛГУ, 1963.
- Гельфанд И. М., Губерман Ш. А., Извекова М. Л., Кейлис-Борок В. И., Ранцман Е. Я. О критериях высокой сейсмичности.— Докл. АН СССР, т. 202, № 6, 1972.
- Герасимов И. П. Применение геоморфологических методов при сейсмотектонических исследованиях (на примере котловины оз. Иссык-Куль).— Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, № 25, 1954.
- Герасимов И. П. Новейшие тектонические движения и их роль в развитии современного рельефа Северного Тянь-Шаня.— В кн.: Вопросы геоморфологии и палеогеографии Азии. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Герасимов И. П. Структурный анализ рельефа и его содержание.— В кн.: Методы геоморфологических исследований, т. 1. Новосибирск, 1967.
- Герасимов И. П., Ранцман Е. Я. Неотектоника сейсмичных районов Тянь-Шаня и Памиро-Алая по данным геоморфологического анализа.— В кн.: Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М., «Наука», 1964.
- Николаев Н. И. Опыт составления карты новейшей тектоники мира.— Геоморфология, № 4, 1970.
- Петрушевский Б. А. Урало-Сибирская эпигерцинская платформа и Тянь-Шань. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Ранцман Е. Я. Новейшая и современная тектоника сейсмичных районов Средней Азии по геоморфологическим наблюдениям.— В сб.: Современные движения земной коры и методы их изучения. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Суворов А. И. Закономерности строения и формирования глубинных разломов. М., «Наука», 1968.
- Шульц С. С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М., Географиз, 1948.
- Gerasimov I. P. Application of Geomorphological Methods in Seismological Research.— Proceedings of the IGU Regional Conference in Japan. 1957—1959.
- Институт географии
АН СССР
- Поступила в редакцию
10.VII.1972

MORPHOSTRUCTURES OF MOUNTAIN AREAS AND THEIR SEISMISITY

I. P. GERASIMOV, E. Ya. RANTSMAN

Summary

Linear and transverse borders of large morphostructural units called morphostructural lineaments have been defined on the basis of a morphostructural analysis of the Tien Shan and Pamirs. The parts of their connection have been singled out as separate units — morphostructural knots. Described are the methods of discerning possible places of strong earthquakes, associated with the morphostructural knots, by morphostructural properties analyzed in computers with the help of logical analysis. The results have shown that the morphostructural analysis may play a significant role at the evaluation of the recent tectonic movements. In particular, the defining of morphostructural knots may be important for forecasting the possible areas of earthquakes in practice.