

4. Садовский М.А. О естественной кусковатости горных пород // ДАН СССР. 1979. Т.247, № 4. С.829-832.
5. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 120с.
6. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений. М.: Наука, 1966. 587с.
7. Де Брейн Н. Асимптотические методы в анализе. М.: Наука, 1968. 209 с.

УДК 550.341

*С.С.Бхатия, А.И.Горшков, Е.Я.Ранцман, М.Н.Рао, М.Б.Филимонов,
Т.Р.К.Четти*

РАСПОЗНАВАНИЕ МЕСТ ВОЗМОЖНОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. XVIII. ГИМАЛАИ, ($M \geq 6,5$)

*S.S.Bhatia, A.I.Gorshkov, E.Ya.Rantsman, M.N.Rao, M.B.Filimonov,
T.R.K.Chetty*

RECOGNITION OF EARTHQUAKE-PRONE AREAS.
XVIII. THE HIMALAYA, ($M \geq 6,5$)

Places where earthquakes with $M \geq 6,5$ may occur, are recognized in the Himalayan region on the basis of morphostructural zoning scheme.

Статья продолжает цикл работ по распознаванию мест возможных землетрясений в сейсмоактивных регионах мира на основе схем морфоструктурного районирования (МСР) (см. "Вычислительная сейсмология", Вып.6-23). В работе рассматривается высочайшая на Земле горная система Гималаев, протянувшаяся в форме выпуклой к югу дуги на расстоянии 2500 км, шириной до 320 км при среднем уровне высот осевого гребня 6000-7000 м. Решается задача распознавания мест возможных землетрясений с $M \geq 6,5$.

Морфоструктурное районирование Гималаев

Схема МСР Гималаев (рис.1, см. вклейку) была составлена по формализованной методике [1] путем совместного анализа разномасштабных топографических, геологических, тектонических карт и космических снимков.

Согласно теории тектоники плит, современная морфоструктура Гималаев сформировалась в результате коллизии Индийской и Евроазиат-

ской плит, сближение которых началось в конце мелового периода и продолжается до настоящего времени, обуславливая высокий уровень сейсмичности этой территории. Основные фазы складчатости и формирования крупных надвигов происходили в период эоцен-плейстоцен. Интенсивное воздымание Гималаев началось в плейстоцене и продолжается в современную эпоху [2,3].

Несмотря на значительное расхождение взглядов относительно процессов, создавших Гималайскую горную систему, данные о конкретном строении как ее отдельных частей, так и всей системы в целом, достаточно хорошо согласованы у исследователей разных школ. Вдоль протяжения Гималаев выделяются четыре основные структурно-тектонические зоны, которые в современном рельефе представлены крупными разновысотными ступенями макросклонов Гималаев.

Зона южных предгорных возвышенностей сложена миоплейстоценовой интенсивно деформированной сиваликской молассой, заполняющей краевой прогиб. Зона Низких Гималаев южного макросклона сложена позд-непротерозойскими и палеозойскими осадочными отложениями, которые перекрываются надвинутыми с севера кристаллическими породами. Зона Высоких Гималаев, охватывающая приосевую часть Гималайского хребта, представлена докембрийскими кристаллическими породами, включающими тела молодых неогеновых гранитоидов. Нижняя ступень северного макросклона, представленная в основном платообразными поверхностями, сложена мощными толщами палеозойско-мезозойских осадочных пород [2-4].

Структурно-тектонические зоны на всем протяжении разграничены крупными разломами. по которым в условиях сильнейшего близмеридионального сжатия помимо интенсивных вертикальных движений осуществлялись многокилометровые надвиговые смещения. Строение продольных тектонических зон осложнено системой поперечных разломов, по которым возникали скальвание и сдвиговые перемещения: левосторонние по разломам северо-восточной ориентации и правосторонние - по разломам северо-западного простирания.

Согласно методике МСР, Гималаи рассматриваются как единая горная страна, ограниченная морфоструктурными линеаментами первого ранга. Горные страны - территории с определенным типом горообразования и единым обликом рельефа. Согласно представлениям А.Гансера, Гималаи созданы на месте Индийской платформы и поэтому могут рассматриваться как эпиплатформенная горная страна [2]. В.Е.Хаин полагает, что Гималаи являются типичной складчатой горной системой альпийского типа, поэтому процесс горообразования следует считать

эпигеосинклинальным [4]. Облик рельефа Гималаев определяется наличием единого осевого поднятия, макросклоны которого расчленены глубокими поперечными долинами и осложнены передовыми хребтами, продольными долинами, внутригорными впадинами и платообразными поверхностями. Простираение оси и подножия хребта последовательно меняется в западном направлении от широтного в центральной части на северо-западное и север-северо-западное, в восточном – на северо-восточное (рис.1, см. вклейку). Этими изменениями простираения и создан дугообразный изгиб, обращенный выпуклостью к югу. Хребет Гималаев резко асимметричен: южный склон гораздо круче северного. При этом южное подножие Гималаев лежит на высотах порядка 500м, а северное – на уровне 4000м.

Морфоструктурные линеаменты первого ранга. Продольные линеаменты отделяют горную страну Гималаев от Тибетского нагорья на севере и от Индо-Гангской аккумулятивной равнины на юге .

Северное ограничение Гималаев – линеамент 1-93* – соответствует зоне сложно устроенного глубинного разлома, известного под названием шовной зоны Инд-Цангпо. Разлом характеризуется многочисленными выходами офиолитов и рассматривается обычно как граница Индийской и Евроазиатской литосферных плит [5,6].

Наиболее сложным строением характеризуется южная граница Гималаев – линеамент 5-58. Его зона включает две системы разломов и узкую полосу предгорных возвышенностей между ними, сложенных сиваликской молассой. Фронтальный Гималайский разлом следует непосредственно вдоль границы возвышенностей с аккумулятивными равнинами. Предгорные возвышенности от горного склона отделены Главным пограничным надвигом, который разделяет Гималаи и краевой прогиб. Ширина зоны линеамента варьирует от 10 до 35 км. Наибольшей шириной характеризуются отрезки линеамента 5-18, 37-56 и 86-89. В этих местах в зоне линеамента сочленяются горный склон и широкие полосы предгорных возвышенностей, что свидетельствует о слабо контрастных тектонических движениях новейшего этапа. На отрезках линеамента 18-37 и 56-86 полоса предгорных возвышенностей сужается, что является показателем усиления контрастных движений в зоне линеамента в четвертичное время. Более детальная дифференциация зоны по типу тектонических движений на отдельных участках требует дополнительных специальных исследований, включая полевые.

* Имя линеамента образовано двумя цифрами, соответствующими номерам пересечений на его концах (см.рис. 1).

На западе Гималаи граничат с горными цепями Гиндукуша, ориентированными в юго-западном направлении. Их разделяет поперечный линеймент 1-5, который включает зону крупного надвига северо-восточного простирания [5].

На востоке поперечный линеймент 93-96 отделяет Гималаи от хребтов Индо-Бирманской горной страны юго-восточного простирания. Зона линеймента включает серию параллельных надвигов Мишмы [5].

Мегаблоки. Горная страна Гималаев разделена на мегаблоки - территориальные единицы МСР второго ранга. Согласно МСР, мегаблокам свойственно последовательное (закономерное) изменение количественных показателей рельефа - высоты и простирания осевой части хребта, а также смещение оси и подножия хребта. Границы мегаблока проходят там, где установленная последовательность нарушается.

Разделение Гималаев на мегаблоки произведено в соответствии с закономерными изменениями высоты и ориентации оси Главного хребта. С учетом этих изменений было выделено восемь мегаблоков, каждый из которых характеризуется также дополнительными признаками, отражающими специфику его морфоструктуры (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Формализованные признаки мегаблоков

Номер мегаблока	Уровень высот Главного хребта	Ориентация Главного хребта	Закономерные изменения высоты Главного хребта
I	4500-5000	ЗСЗ-ВЮВ	←
II	6500-7000	СЗ-ЮВ	→
III	7700	ЗСЗ-ВЮВ	↔
IV	7000	ЗСЗ-ВЮВ	↔
V	8000-8500	З-В	→ ←
VII	7000	З-В	←
VIII	5400	СВ-ЮЗ	→ ←

На рис.2 (см. вклейку) показаны схематические поперечные гипсометрические профили для каждого мегаблока. Анализ профилей показывает, что высота и простирание оси хребта, линий водораздела и подножия Гималаев, а также высота и ширина продольных ступеней макросклонов в соседних мегаблоках существенно различаются. Отличаются также и сочетания типов рельефа в пределах макросклонов. Рассмотрим кратко особенности морфоструктуры каждого мегаблока.

В мегаблоке I высота Главного хребта закономерно убывает с юго-востока на северо-запад от 5000 до 4500 м - она практически не от-

личается от высоты передового и водораздельного хребтов. Особенно-стью мегаблока является наличие крупной внутригорной Кашмирской впадины.

В мегаблоке II ось Главного хребта ориентирована в северо-западном направлении, а его высота составляет около 6500-7000 м. Северный макросклон в пределах мегаблока короткий и крутой. На южном макросклоне развита низкая ступень шириной до 170 км.

В мегаблоке III высота Главного хребта скачкообразно возрастает до 7700-7800 м, а его ось смещается далеко к югу.

В мегаблоке IV Главный хребет снижается до 7000 м, приобретая запад-северо-западное простираие. В отличие от других мегаблоков Гималаев здесь на участке между реками Кали и Кали-Гандак параллельно Главному хребту заложилась продольная долина, к югу от которой воздымается хребет по высоте близкий Главному. Макросклоны в пределах мегаблока резко асимметричны: южный длиннее северного в 4 раза. Платообразные поверхности, развитые в мегаблоке III, здесь выклиниваются.

В мегаблок V входит центральный отрезок Гималаев, включающий наиболее приподнятую часть хребта и широкое плато на северном макросклоне. Ось Главного хребта смещается здесь к югу и приобретает близширотное простираие. Высота хребта резко возрастает и достигает максимальных на Земле отметок 8000-8800 м.

Мегаблок VI, выделенный на южном макросклоне центрального участка Гималаев, характеризуется сочетанием передового хребта Махабхарат, высота которого не превышает 2900 м, с продольными долинами. Этот передовой хребет отделен от Главного хребта продольной долиной Сун Коси и обширной внутрисклоновой депрессией, расположенной к западу от Катманду.

В мегаблоке VII (Бутанские Гималаи) ось Главного хребта резко смещается к северу. При этом высота хребта по крутому уступу понижается до 7000 м. Отличительной особенностью мегаблока является резкое сужение низкой ступени южного макросклона по сравнению с соседними мегаблоками. На северном макросклоне расположено обширное плато.

В мегаблоке VIII ось Главного хребта снова смещается к северу и приобретает северо-восточное простираие. Высота хребта резко понижается до 5400 м. Ось Главного хребта очень близко подступает к северному подножию Гималаев - Тибетскому нагорью, а ширина южного макросклона резко увеличивается. Плато, развитые на северном макросклоне в соседнем мегаблоке VII, здесь полностью выклиниваются.

Морфоструктурные линеаменты второго ранга. Границы мегаблоков представлены поперечными зонами. Только граница мегаблоков V и VI является продольным линеаментом, зона которого проходит по крутому уступу горного склона и включает разломы Главного Центрального надвига Гималаев.

Поперечные зоны включают: прямолинейные отрезки долин рек, вытягивающихся в едином простирании, свойственной зоне линеамента; поперечные уступы между разновысотными участками макросклонов; отдельные разломы, выделяемые геологами. Повсеместно в зонах поперечных линеаментов резко и существенно меняется высота оси и простирание Главного хребта, а также отмечается смещение оси хребта и линии подножия. Рассмотрим линеаменты второго ранга более подробно.

В западной части горной страны поперечные линеаменты 1-17 и 27-37 ориентированы на север-северо-запад и по ним происходит смещение оси и подножия Гималаев к северу. В центральной наиболее приподнятой части Гималаев поперечный линеамент 47-50 имеет близ-меридиональное простирание. В восточной части хребта поперечные линеаменты 67-75 и 83-86 ориентированы на северо-восток и по ним отмечается левостороннее смещение оси и подножия к северу.

Граница мегаблоков I и II - линеамент 1-17 - проходит по прямолинейным отрезкам речных долин север-северо-западного простирания. В зоне линеамента скачкообразно изменяется высота оси Главного хребта от 6500 м к востоку от него до 5000 м к западу.

Граница мегаблоков II и III - линеамент 27-37 - трассируется вдоль долин север-северо-западного простирания на обоих макросклонах Главного хребта. По зоне линеамента в том же простирании вытянута цепь мелких хребтов. Высота Главного хребта в зоне линеамента увеличивается к востоку на 800 м, а его ось согласно правому сдвигу смещается в этом же направлении на 100 км к югу. Различается расчленение южного макросклона по обе стороны линеамента. К востоку от него речные долины ориентированы преимущественно на северо-восток, а к западу появляется система "косых" долин, направленных на север-северо-запад.

Мегаблоки III и IV разделяются линеаментом 36-40 северо-восточного простирания. Его зона проходит по прямолинейной долине р.Кали. На северном макросклоне в зоне линеамента заканчивается протяженный подступающий с востока высокогорный хребет, параллельный Главному. При подходе к зоне линеамента в этом хребте наблюдается резкое увеличение высоты от 6600 до 7720 м.

Линеамент 47-50 отделяет мегаблок IV от мегаблоков V и VI. Зона линеамента проходит по долине реки Кали-Гандак север-северо-восточной ориентации и включает на большей части своего протяжения отрезки разломов того же простирания [8]. Высота оси Главного хребта изменяется в зоне на 1000 м: одновременно существенно изменяется простирание оси хребта с запад-северо-западного в мегаблоке IV на субширотное в мегаблоке V. Морфоструктура макросклонов по обе стороны линеамента резко меняется: к востоку от него на северном макросклоне появляется плато, а на южном - система продольных долин и передовой хребет.

Мегаблоки V и VI отделены от мегаблока VII зоной линеамента 68-75 - она прослеживается вдоль прямолинейных отрезков речных долин северо-восточного простирания. В зоне линеамента резко изменяется высота хребта, а его ось изгибается и смещается на 50 км к северу согласно левому сдвигу. На продолжении изгиба оси хребта на северном макросклоне вытягивается цепь мелких хребтов. На значительной части своего протяжения зона линеамента соответствует разлому.

Линеамент 83-86 разделяет мегаблоки VII и VIII. С зоной линеамента связано левостороннее смещение оси Главного хребта к северу на 100 км, а также скачкообразное снижение его высоты до 5400 м в мегаблоке VIII.

Морфоструктурные блоки и линеаменты третьего ранга. Согласно МСР, блок включает территорию с близкими значениями количественных показателей крупных элементов рельефа. Границы блоков - морфоструктурные линеаменты третьего ранга - проводятся там, где эти значения резко и существенно изменяются.

Продольное членение макросклонов Гималаев соответствует структурно-тектоническим зонам. Продольные линеаменты отделяют Высокие Гималаи (приосевая часть хребта) от Низких Гималаев, образующих низкую ступень южного макросклона, а также от Гималаев Тетиса, представленных платообразными поверхностями северного макросклона. Эти линеаменты включают системы крупнейших надвигов, разделяющих структурно-тектонические зоны.

Поперечные линеаменты проходят в местах скачкообразного изменения высоты или ориентации оси Главного хребта, а также в местах смещения его оси и линии подножия. Большинству поперечных линеаментов соответствуют отрезки разломов, установленных геологическими методами [7-9], а также линеаменты, выделенные при дешифрировании космических снимков [10,11].

Для каждого мегаблока характерно преобладание определенных направлений поперечных линейментов третьего ранга: в мегаблоках II и IV они параллельны границам этих мегаблоков, в мегаблоках V, VII и VIII существенное значение приобретают близмеридиональные линейменты. Отметим, что простирания поперечных линейментов, установленных в данной работе, согласуются с теми, что были определены путем теоретического моделирования геодинамики Гималаев [12].

Схему МСР (см.рис.1), представленную в данной работе, можно рассматривать как модель современного блокового строения Гималаев. Очевидно, что возникновение землетрясений в этом регионе обусловлено взаимодействием блоков разного ранга.

Схема МСР и сейсмичность Гималаев. На основе каталога [13] и данных Метеорологического Агентства Индии был составлен список экорывых землетрясений Гималаев с $M \geq 6,5$ (табл.2). Сопоставление этих землетрясений со схемой МСР показало, что все эпицентры расположены вблизи пересечения осей морфоструктурных линейментов (на расстоянии, не превышающем 50 км). Это позволило решить задачу распознавания мест возможных землетрясений с $M \geq 6,5$, используя в качестве объектов распознавания 50-километровые окрестности точек пересечения осей линейментов. В тех случаях, когда расстояние между двумя пересечениями не превышало 25 км, они рассматривались как один объект.

Распознавание мест возможных землетрясений

Постановка задачи. Рассматриваются 97 пересечений линейментов Гималаев (см.рис.1). Решается задача разделения всего множества пересечений на 2 класса: класс В составляют пересечения, в окрестностях которых могут происходить землетрясения с $M \geq 6,5$; класс Н - пересечения, в которых максимальная магнитуда возможных землетрясений не превышает 6,5.

Материал обучения. Задача распознавания решалась с помощью алгоритма "Кора-3", подробное описание которого можно найти, например, в [14]. Использование алгоритма требует формирования материала обучения и экзамена.

В материал обучения высокосейсмичного класса (B_0) вошло 21 пересечение, вблизи которых известны коровые землетрясения с $M \geq 6,5$ (см.табл.2): N 4, 9, 17, 18, 28, 32, 35, 38, 39, 49, 56, 57, 68, 75, 77, 78, 85, 88, 89, 90, 91.

Землетрясения с $6,0 \leq M \leq 6,4$ известны вблизи одиннадцати пересечений: N 3, 10, 11, 15, 36, 42, 54, 67, 71, 76, 86, которые были отнесены к ма-

териалу экзамена. Остальные 65 пересечений составили материал обучения низкосейсмичного класса (H_0).

Задача распознавания - определить среди пересечений экзамена и множества H_0 потенциально сейсмоопасные пересечения для $M \geq 6,5$.

Характеристики объектов распознавания. Для классификации пересечений линеаментов Гималаев были использованы две группы характеристик: геоморфологические и характеристики схемы МСР (табл.3). Эти характеристики косвенно отражают контрастность и интенсивность новейших тектонических движений, а также степень раздробленности территории в окрестностях пересечений.

Т а б л и ц а 2

Коровые землетрясения Гималаев с $M \geq 6,5$

Номер	Дата	Координаты		M	Номер ближайшего пересечения
		Ф, ш, градус	Л, Е, градус		
1	26.08.1833	27,50	86,50	7,5	57
2	18.05.1852	27,00	88,00	6,5	68
3	30.05.1885	34,60	74,38	7,0	4
4	04.04.1905	32,30	76,25	8,0	17
5	28.02.1906	32,00	77,00	7,0	18
6	14.10.1911	31,00	80,50	6,8	32
7	03.02.1915	29,50	91,50	7,1	75
8	28.08.1916	30,00	81,00	7,5	39
9	27.05.1936	28,50	83,50	7,0	49
10	04.06.1945	30,30	80,00	6,5	35
11	22.06.1945	32,60	75,90	6,5	9
12	29.07.1947	28,80	93,70	7,7	90
13	16.08.1950	27,48	92,64	6,7	35
14	18.11.1950	27,73	94,59	6,7	38
15	12.03.1951	28,19	94,49	6,5	39
16	22.04.1951	29,21	94,30	6,5	91
17	23.02.1954	27,80	91,07	6,5	77
18	04.09.1954	28,30	83,08	6,7	49
19	29.07.1960	26,90	90,30	6,5	78
20	06.03.1966	31,50	80,50	6,5	32
21	19.01.1975	32,45	78,43	6,8	28
22	29.07.1980	29,59	81,09	6,6	38
23	20.08.1988	26,78	86,61	6,5	56

Информативность характеристик оценивалась на основе одномерных распределений [14]. Наиболее информативными оказались следующие характеристики: H_{\min} , ΔH , $\Delta H/I$, сочетания типов рельефа, P_2 , $P_{\text{пер}}$, которые кодировались двумя разрядами (см.табл.3). В результате объекты (пересечения) задачи были представлены 12-мерными бинарными векторами.

Основной вариант распознавания. На этапе обучения получены множества характерных признаков высоко- и низкосейсмичного классов (В- и Н-признаки, табл.4) при следующих орогах отбора и противоречия алгоритма "Кора-3": $K_B=5$, $\tilde{K}_B=6$, $K_H=16$, $\tilde{K}_H=1$. При классификации

Т а б л и ц а 3

Характеристики пересечений линеаментов, использованные для распознавания

Номер	Характеристика	Пороги дискретизации	
		Нижний	Верхний
1	Минимальная высота в окрестности пересечения, H_{\min} , м	< 300	> 2100
2	Перепад высот $\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$, м	< 2900	> 4400
3	Градиент высот, $\Delta H/I$	< 40	> 70
4	Сочетания типов рельефа:		
	а) горы/равнина (Г/Р)	"да" или	"нет"
	б) горы/предгорья/равнина (Г/ПР/Р)	"да" или	"нет"
	в) горы/предгорья (Г/ПР)	"да" или	"нет"
	г) горы/нагорье (Г/Н)	"да" или	"нет"
	д) горы/горы (Г/Г)	"да" или	"нет"
5	Расстояние от точки пересечения линеаментов до ближайшего линеамента II ранга, P_2 , км	< 50	> 120
6	Расстояние до ближайшего пересечения, $P_{\text{пер}}$, км	< 50	> 62

П р и м е ч а н и е. Характеристики H_{\min} , ΔH , $\Delta H/I$ и сочетания типов рельефа измерялись в кругах с радиусом 50 км; I - расстояние между точками $H_{\max} - H_{\min}$.

материалов обучения и экзамена к классу В относились объекты, для которых порог голосования $\Delta = V_B - V_H \geq 0$, где V_B и V_H - числа набранных объектом В- и Н-признаков. При этом пересечения класса B_0 безошибочно распознаны как высокосейсмичные. Среди пересечений материала экзамена только три отнесены к классу В: N 10,71,86. Из класса H_0 24 пересечения распознаны как высокосейсмичные.

Характерные признаки высоко- и низкосейсмичного классов
(основной вариант распознавания Гималаев)

Класс	Но- мер при- знака	Х а р а к т е р и с т и к и					
		Сочетание типов рельефа	$R_{пер}$, км	R_2	ΔH , м	$\Delta H/L$, м	H_{min} , м
В	1					<70	300-2100
	2			<50			300-2100
	3			<120		>70	<2100
	4			>120		<70	<2100
	5	Есть: Г/Р, Г/ПР/Р Г/ПР				>40	
	6			<50		>40	<2100
	7			<50		>70	
	8		<62	<50			>300
	9		<62	<50		>40	
	10		<62	<120	>4400		
	11		>50	>50	>4400		
	12		50-62		>4400		
Н	1					<70	>2100
	2			>50			>2100
	3				<2900	<40	
	4			<120		<40	
	5		>50			<40	
	6		>50		<2900	<70	
	7	Не Г/Р, не Г/ПР/Р		>120		>40	
	8	Есть Г/Г или Г/Н		>50	<4400		
	9	Есть Г/Г или Г/Н		>120			

Таким образом, 48 пересечений из 97 рассмотренных классифицированы как потенциально сейсмичные для $M \geq 6,5$. Результат классификации представлен на рис.1.

Достоверность классификации была подтверждена рядом контрольных экспериментов, применяющихся в задачах распознавания мест возможных землетрясений [14].

Интерпретация результатов. Согласно найденным критериям сейсмичности (см. табл. 4), высокосейсмичные пересечения Гималаев характеризуются небольшими расстояниями до линеамента второго ранга и до ближайшего пересечения линеаментов. Одновременно высокосейсмичным пересечениям свойственны большой размах высот ($\Delta H \geq 4400$ м), большие значения градиента высот, а также небольшие значения H_{min} (< 2100 м). Кроме того, в высокосейсмичных пересечениях преобладают сочетания контрастных типов рельефа: горный склон/подгорные равнины или горный склон/предгорные возвышенности/подгорные равнины. Найденные особенности высокосейсмичных пересечений линеаментов свидетельствуют о высокой степени тектонической раздробленности территории вблизи высокосейсмичных пересечений, а также о контрастности и высокой интенсивности тектонических движений, сформировавших современный рельеф Гималаев.

Низкосейсмичным пересечениям, согласно распознаванию, свойственны альтернативные значения тех же характеристик, что указывает на более слабую тектоническую активность территорий вблизи пересечений линеаментов этого класса.

Большинство пересечений высокосейсмичного класса расположено на южном линеamente первого ранга и поперечных линеаментах второго ранга, что свидетельствует о их высокой современной тектонической активности. Вдоль границы Гималаев с Индо-Гангской равниной высокосейсмичные пересечения распределены неравномерно. Семь пересечений класса В расположены на западном отрезке линеамента и три на восточном – там, где его зона и весь хребет Гималаев смещены к северу. Другая группа высокосейсмичных пересечений расположена на центральном участке линеамента, там где исчезает полоса предгорий и в его зоне круто сочленяются горный склон и подгорная равнина, что указывает на возрастание контрастности новейших тектонических движений.

На северном линеamente первого ранга, разделяющем Гималаи и Тибет, распознано только пять высокосейсмичных пересечений. Это говорит о меньшей активности северной границы Гималаев по сравнению с южной.

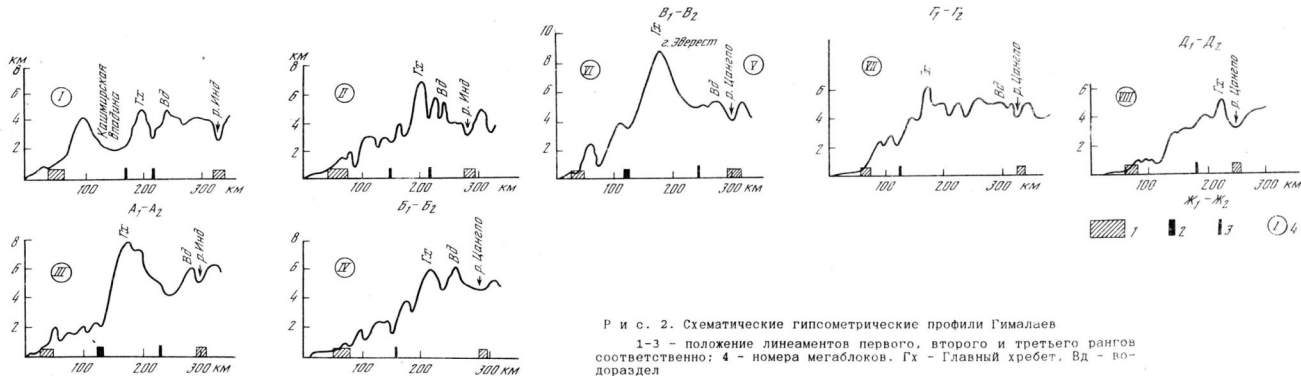
В результате распознавания почти половина пересечений (48 из 97 рассмотренных) отнесена к высокосейсмичным относительно возможности возникновения землетрясений с $M \geq 6,5$. Учитывая высокий уровень

сейсмичности Гималаев, полученный результат представляется вполне достоверным. В дальнейшем необходимо классифицировать пересечения линеаментов Гималаев для более высоких порогов магнитуды.

Примечание. Когда эта статья была сдана в печать, в западной части Гималаев в районе поселка Уттаркаши 19 октября 1991 г. произошло землетрясение с $M_b = 6,6$. Эпицентр этого землетрясения (широта - $30,75^{\circ}N$, долгота - $78,86^{\circ}E$) расположен в узле 24, который распознан в этой работе как сейсмически опасный для $M \geq 6,5$ (см.рис.1).

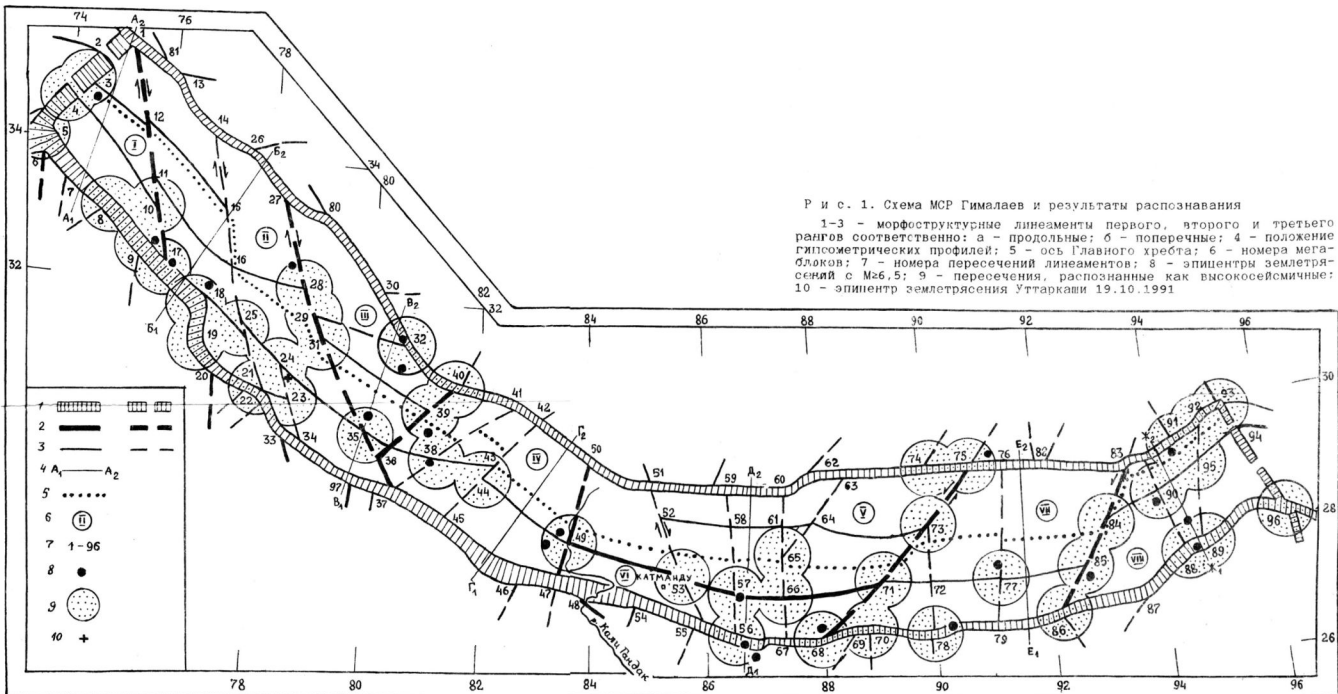
Литература

1. Ранцман Е.Я. Места землетрясений и морфоструктура горных стран. М.: Наука, 1979. 170с.
2. Гансер А. Гималаи Мезозойско-кайнозойские складчатые пояса. М.: Мир, 1977. С.326-339.
3. Гансер А.. Геология Гималаев. М.: Мир, 1967, 349с.
4. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344с.
5. Вальдия К.С. Тектоника складчатого обрамления Индийской платформы // Тр.27-го Междунар.Геол.Конгр.Т.5. Доклады. М.: Наука, 1984. С.89- 112.
6. Windley B.F. Tectonic framework of the Himalaya, Karakoram and Tibet, and problems or their evolution // Phil. Trans. Roy.Soc. London: A326. 1988. P.3-16.
7. Geology of the Nepal Himalayas / Ed. Y.Olta, C.Akiba. Sapporo: Saikom Publishing Co.LTD., 1973. 290p.
8. Ganser A. Geology of the Butan Himalaya. Basel-Boston-Stuttgart: Birkhauser Verlag, 1983. 176p.
9. Waldia K.S. Himalayan transverse faults and folds and their parallelism with subsurface structures of North Indian plains // Tectonophysics, Vol. 32, 1976. P.353-386.
10. Mukhopadhyay M. Seismotectonics of transverse lineaments in the Eastern Himalaya and it's foredeep // Tectonophysics. 1984. Vol. 109. P. 227-240.
11. Dasgupta S., Mukhopadhyay M., Nandy D.R. Active transverse features in the central portion of the Himalaya // Tectonophysics. 1987. Vol. 136. P. 255-264.
12. Tapponier P., Molnar P. Slip-line field theory and large scale continental tectonics // Nature. 1976. N 264. P.319-324.
13. World's hypocenters data file 1900-1990. USGS-NEIS. USA. 1990.
14. Гвишиани А.Д., Горшков А.И., Ранцман Е.Я. и др. Прогнозирование мест землетрясений в регионах умеренной сейсмичности. М.: Наука, 1988. 175 с.



Р и с. 2. Схематические гипсометрические профили Гималаев

1-3 - положение линейментов первого, второго и третьего рангов соответственно; 4 - номера мегаблоков. ГХ - Главный хребет, Вд - подгорзел



Р и с. 1. Схема МСР Гималаев и результаты распознавания

1-3 - морфоструктурные линейменты первого, второго и третьего рангов соответственно; 4 - продольные; 5 - поперечные; 6 - положение гипсометрических профилей; 7 - ось Главного хребта; 8 - номера мегаблоков; 9 - номера пересечений линейментов; 10 - эпицентры землетрясений с $M \geq 5,5$; 11 - пересечения, распознанные как высокосейсмичные; 12 - эпицентр землетрясения Уттаркаши 19.10.1991