

КРУПНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ СМЕЩЕНИЯ И МОРФОСТРУКТУРНЫЕ УЗЛЫ МАЛОГО КАВКАЗА¹

В современной блоковой структуре земной коры и соответственно в рельефе важную роль играют морфоструктурные узлы. Напомним, что они формируются в местах пересечения или причленения линеаментов и выявляются специальным формализованным морфоструктурным районированием [1]. Морфоструктурные узлы рассматриваются как места повышенной тектонической активности, сейсмичности [2] и активизации современных рельефообразующих процессов [3].

В горных областях землетрясения в некоторых случаях вызывают образование крупных гравитационных смещений. Было естественным предположить, что, как и эпицентры сильных землетрясений, они приурочены к морфоструктурным узлам. Для территории Тянь-Шаня и Памира отмечалось, что грандиозные смещения скальных масс, образовавших перемычки озер Иссык, Алма-Атинское, Сарычелек и Каракол, располагаются в пределах морфоструктурных узлов, так же как и крупнейшие обвалы Хаитский и Усойский, возникшие во время известных землетрясений [4]. Однако целенаправленное сопоставление крупных гравитационных смещений с морфоструктурными узлами не делалось, хотя очевидно, что оно представляло бы практический и теоретический интерес. Известны случаи, когда гравитационные смещения возникали без сейсмических ударов, поэтому результаты такого сопоставления далеко не очевидны.

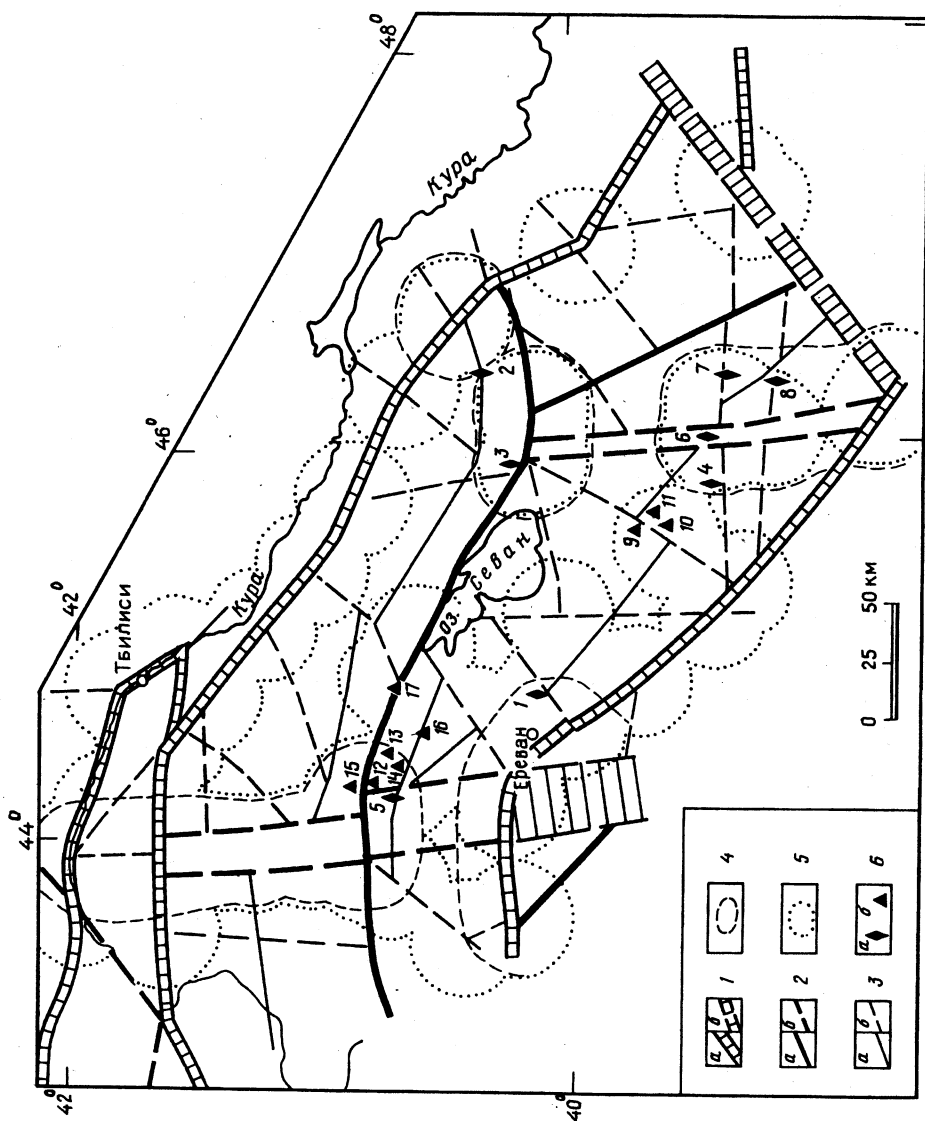
В предлагаемой работе выполнено сопоставление крупных голоценовых и современных гравитационных смещений с морфоструктурными узлами Малого Кавказа, где на сравнительно небольшой и хорошо изученной территории имеется большое число этих образований [5, 6].

Малый Кавказ сформировался в плиоцен-четвертичное время в конвергентной межплитной зоне, разделяющей Аравийскую и Евразийскую литосферные плиты. Собственно горное сооружение Малого Кавказа возникло в результате коллизии Закавказской и Иранской микроплит, краевые фрагменты которых стали составными частями Малого Кавказа [7]. Образовавшееся горное сооружение имеет хребты высотой до 3 км (максимум ~4 км), возвышающиеся на 2–2,5 км над прилегающими подгорными равнинами и межгорными котловинами. Речные долины во многих случаях имеют большую глубину и крутые склоны, особенно в вулканических районах, где встречаются почти отвесные склоны высотой 100–200 м и более (имеются каньоны глубиной до 700 м). Множество высоких и крутых склонов возникло в результате интенсивных тектонических движений. В сочетании с повышенной сейсмичностью это создает благоприятные условия для образования различных гравитационных смещений.

Формализованное морфоструктурное районирование Малого Кавказа. Схема морфоструктурного районирования Армянского нагорья и хребтов Малого Кавказа была составлена в начале 70-х годов и входила в схему Юго-Восточной Европы и Малой Азии масштаба 1:2500000, разработанную с целью распознавания мест возможного возникновения землетрясений с $M \geq 6,5$ [5]. Позже была составлена новая схема в масштабе 1:1000000 для распознавания мест возможного возникновения землетрясений с $M \geq 5,5$ на Малом Кавказе без Аджаро-Триалетского хребта (рис. 1). Все морфоструктурные линеаменты, выделенные ранее, остались и на новой схеме, изменился ранг некоторых из них, добавилось несколько линеаментов третьего ранга. Подробное описание схемы и результатов распознавания опубликовано [6].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ. Код проекта 93-05-88-97.

Рис. 1. Схема морфоструктурного районирования Малого Кавказа по [6] с высокосейсмичными узлами по [5] и крупными гравитационными смещениями 1-3 - морфоструктурные линейменты первого, второго и третьего рангов соответственно - продольные (а) и поперечные (б); 4 - окрестности пересечений линейментов (морфоструктурные узлы), распознанные как высокосейсмичные для $M \geq 6,5$ по [5]; 5 - то же для $M \geq 5,5$ по [6]; 6 - толоценовые и современные гравитационные смещения: а - самые крупные с одним из параметров (длина, ширина, толщина) более 1 км, б - крупные с одним из параметров более 0,4 км. Цифрами на схеме обозначены самые крупные гравитационные смещения: 1 - Гарнийское, 2 - Гейгёль (в районе горы Кяз), 3 - Гейгёль-2 (в районе горы Большой Гинадлаг), 4 - Биченатские, 5 - Лернатц (южнее г. Спитак), 6 - Сисян-Агуди, 7 - Шинуайр на р. Воротан, 8 - Кафанские на р. Охчи; крупные гравитационные смещения: 9 - Гергер, 10 - Артаван, 11 - Сараван, 12 - Спитак (в 1,5 км к западу от горы Спитак), 13 - Памбак, 14 - Алавар, 15 - Шигтеле, 16 - Мармарик, 17 - верховья р. Агстев (Фюллетово)



В данных работах за узел принимались окрестности пересечения, попадающие в круг определенного радиуса с центром в точке пересечения осей линеаментов, поскольку определение реальных границ морфоструктурных узлов – трудоемкая задача. На Малом Кавказе она решена лишь для нескольких узлов, в том числе для Спитакского [6]. В настоящей работе, как и в предыдущей [6], принимаются условные границы узлов в виде кругов радиусом 25 км, с центрами в точках пересечений осей линеаментов. Территории морфоструктурных узлов, распознанных как сейсмоопасные относительно землетрясений с $M \geq 6,5$ [5], естественно, оказались распознаны и относительно $M \geq 5,5$ [6].

Крупные гравитационные смещения и морфоструктурные узлы. В процессе полевых работ, анализа литературных материалов и аэроснимков (для части территории) нами были собраны материалы о крупных голоценовых и современных гравитационных смещениях (оползни, обвалы, крупные блоковые обрушения) Малого Кавказа. Они часто рассматриваются как палеосейсмодислокации [8]. Многие из них изучены и закартированы [8–11]. Независимо от происхождения гравитационные смещения были формально разделены на крупные и самые крупные (рис. 1). К самым крупным отнесены гравитационные смещения, имеющие один из параметров (длину, ширину или толщину) более 1 км, к крупным – имеющие один из параметров более 0,4 км.

Самые крупные гравитационные смещения. 1. Гарнийские гравитационные смещения (1 на рис. 1) находятся в 15–20 км к востоку от Еревана и в нескольких километрах к западу от пос. Гарни. Они затрагивают южный склон Вохчабердского хребта и прилегающие части наклонного плато и включают современные, относительно небольшие оползни, разрушающие шоссе Ереван – Гарни, и целый комплекс гравитационных смещений, прослеживающихся на площади 3×4 км. Здесь встречаются крупные блоковые смещения, имеющие размеры 100×200 м и более, и мелко-раздробленные массы с отдельными глыбами размером в десятки метров. Раздробленные массы и блоки сформировались из плотных пролювиально-вулканогенных и пеллово-туфовых пород верхнего миоцена и нижнего плиоцена, имеющих субгоризонтальное залегание. Они имеют относительно небольшую амплитуду вертикальных смещений – десятки метров; их объем может достигать 1 км^3 . Прослеживается несколько разновозрастных генераций смещений. Последняя, вероятно, была связана с землетрясением 1679 г. – одним из самых сильных среди известных землетрясений в Армении. Оно имело балльность более 10 и $M = 7 (\pm 0,5)$ [11].

Гарнийские гравитационные смещения располагаются в непосредственной близости от пересечения двух зон морфоструктурных линеаментов. Одна зона имеет северо-западное простирание, другая – северо-восточное (рис. 1). Их пересечение образует узел, распознанный как сейсмоопасный относительно землетрясений с $M \geq 5,5$ [6] и входящий в крупный Арарат-Ереванский узел, распознанный как сейсмоопасный относительно землетрясений с $M \geq 6,5$ [5].

2. Гейгёльское (Гек-гёльское) сейсмогравитационное смещение (2 на рис. 1) охарактеризовано в литературе [9, 12, 13]. Оно возникло во время землетрясения 1139 г., имевшего интенсивность 10 баллов и $M = 7,3(\pm 0,7)$. В результате сейсмоудара часть горы Кяпаз обрушилась вниз на 1,5–1,8 км и образовала огромный обвал, вытянутый в субмеридиональном направлении почти на 10 км при ширине до 4 км. Объем его достигает 2 км^3 . Обломочная масса в основном состоит из известняков юры, имеет неровную холмистую поверхность, на которой располагается несколько запрудных озер, в том числе и оз. Гейгёль. Гравитационное смещение, как и землетрясение, связано с крупным морфоструктурным узлом центральной части Малого Кавказа, распознанным как высокосейсмичный относительно землетрясений с $M \geq 5,5$ и $M \geq 6,5$ [5, 6].

3. Гейгёль-2. Гравитационное смещение находится в верховьях р. Шамхорчай, в 3 км к западу от горы Большой Гиналдаг (3 на рис. 1). Крупный обвал загроздил долину и образовал запрудное озеро, также названное Гейгёль. Размеры обвала и

озера гораздо меньше, чем у горы Кяпаз. Длина обвальная массы 1,5 км, ширина – 0,5 км, вертикальное смещение – 0,5 км. Объем, вероятно, не более 0,1 км³. Возраст не старше голоценового, но возможно, что этот обвал также возник во время землетрясения 1139 г. Обвал Гейгёль-2 связан с тем же морфоструктурным узлом, что и Гейгёльское (Гек-гёльское) сейсмогравитационное смещение.

4. Биченагские гравитационные смещения находятся на западном склоне Зангезурского хребта, вблизи перевала Биченаг (4 на рис. 1). Они были описаны ранее [10]. Вся структура рассматривается как гравитационно-сеймотектоническая. Размеры обрушившийся массы 8 × 3,5 км. Высота стенок отрыва над обвальная массой более 300 м. Общий объем не менее 3 км³. Обломочная масса образована из прочных андезитовых пород неогенового возраста двумя генерациями обрушений. Возраст смещений не более 10 тыс. лет и не менее 500 лет. Они приурочены к пересечениям линейментов высокосейсмичного Зангезурского морфоструктурного узла. Данные пересечения классифицируются как опасные относительно землетрясений с $M \geq 6,5$ и $M \geq 5,5$ [5, 6].

5. Лернанцк. Гравитационное смещение находится в 6 км к югу от г. Спитак, вблизи пос. Лернанцк, на северном склоне Памбакского хребта (5 на рис. 1). Ниша срыва, как и обвальная масса, несколько вытянута в субмеридиональном направлении. Вертикальные стенки отрыва имеют высоту более 100 м. Высота верхней точки обвальная массы на дне ниши срыва 2200 м, а нижней у конца обвальная массы – 1750 м, вертикальное смещение более 400 м. Длина 2,5 км, ширина до 0,6 км, объем более 0,1 км³. Обвальная масса состоит из светло-серых эффузивов палеогенового возраста. Нижняя часть обломочной массы лежит на низких голоценовых террасах правого притока р. Памбак. Во время Спитакского землетрясения 1988 г. в коренных породах стенок ниши срыва возникли трещины шириной в несколько сантиметров.

В окрестностях г. Спитак есть еще несколько обвальных и блоковых смещений, но меньших размеров. Здесь же выявлены признаки нескольких сейсмических смещений, самое древнее из которых произошло около 25 тыс. лет назад [14, 15]. Вероятно, обрушение Лернанцк может быть отнесено к сейсмогравитационным позднеголоценовым смещениям.

Смещение Лернанцк, как и другие гравитационные смещения окрестностей г. Спитак, расположены в пределах Спитакского морфоструктурного узла [6]. Ранее он был отнесен к высокосейсмичным относительно землетрясений с $M \geq 6,5$ [5].

6. Сисиан-Агуди. В долине р. Воротан в 3 км к востоку от г. Сисиан находится обрушение коренных пород, загроздившее долину (6 на рис. 1). Оно прослеживается по ее левому борту на протяжении 3 км при ширине до 1 км (рис. 1, 2). Левый борт долины Воротана имеет высоту более 600 м и образован четвертичными базальтовыми плато с высотами до 1800 м. Край базальтового плато обрушен вниз. Высота стенок ниши отрыва достигает 200 м. Эта высота отражает величину вертикальных смещений обрушившейся массы, которая имеет холмистый рельеф и состоит из относительно мелко раздробленных обломков размером менее 1 м и крупных глыб, которые и образуют холмы, возвышающиеся над уже выровненными участками. Судя по их площадям и по мере развития эрозионных форм на поверхности обвальная масса, обрушение произошло по крайней мере несколько тысяч лет назад. На правом борту долины имеются гравитационные смещения гораздо меньших размеров (рис. 2). Они образованы крупноглыбовыми смещениями небольшой амплитуды и большим обвалом. Ниша отрыва последнего имеет почти вертикальные стенки, прямоугольные ящикообразные очертания и размеры 400 × 200 м. Судя по рельефу, возраст правобережных и левобережных смещений одинаков. Общий объем смещений может достигать 0,5 км³.

Наличие двух разновозрастных гравитационных смещений на обоих бортах долины, имеющих разное строение (рис. 2), так же как и положение их в высокосейсмичном узле, где находится Биченагская структура и известны деформации рельефа, сопровождавшие современные землетрясения (1931 г.), – аргумент в пользу их сейсмического происхождения.

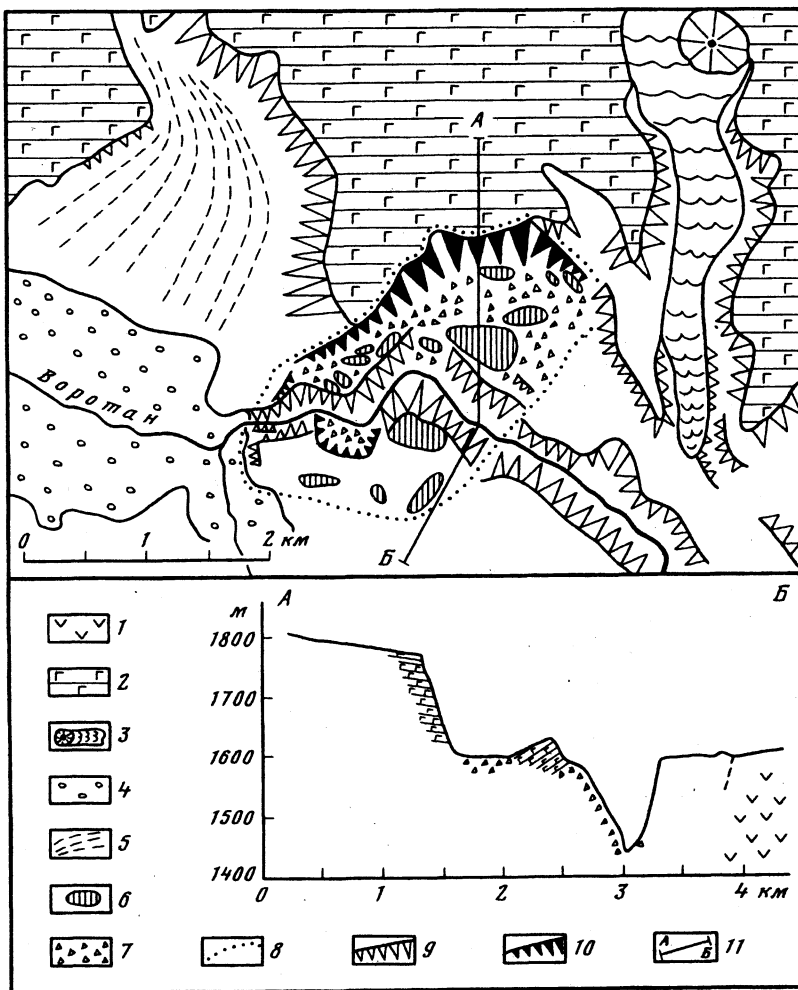


Рис. 2. Гравитационные смещения в районе Сисиан-Агуди

1 – эффузивные породы эоцена – Зангезурский хребет; 2 – плиоцен-среднеплейстоценовые базальты – вулканическое плато; 3 – четвертичные вулканические конусы и лавовые потоки; 4 – позднелейстоценовые и голоценовые аллювиальные отложения – дно долины; 5 – четвертичные аллювиально-пролювиальные отложения – дно долины; 6 – крупные блоки смещения, образующие холмы; 7 – обломочная масса; 8 – граница распространения смещений; 9–10 – крутые склоны и скальные уступы; 9 – эрозионного происхождения, 10 – ниши отрыва; 11 – линия профиля

7. Гравитационные смещения в долине р. Воротан, вблизи пос. Шинуайр (7 на рис. 1) возникли на левом борту каньона Воротана, образованном здесь высоким плато, которое с поверхности покрыто средне- и позднечетвертичными базальтами. Высоты поверхности плато 1500 м, а уреза реки – около 800 м. Высота левого, местами почти отвесного борта р. Воротан более 700 м. Раздробленные породы и крупные блоки обрушившегося края плато прослеживаются на площади $3,5 \times 2$ км. Наиболее крупный обрушившийся блок имеет размеры $1 \times 0,5$ км и сместился вниз на 350 м. Раздробленная масса прослеживается до дна долины. Возраст обрушений определяется очень приблизительно. На поверхности самого крупного обрушившегося блока расположен пос. Шинуайр, в настоящее время заброшенный. В нем сохранилось много старинных сооружений, построенных сотни лет назад. В них не заметно никаких

деформаций. Следовательно, возраст смещений не старше голоценового, но не менее нескольких сотен лет. Их возникновение в столь глубоком каньоне вполне естественно. Возможно, что спусковым механизмом и фактором, обусловившим значительные размеры смещений, послужило землетрясение. Нарушение Шинуайр приурочено к высокосейсмичному Зангезурскому морфоструктурному узлу, с которым также связаны смещения Биченаг и Сисиан-Агуди.

8. Кафанское гравитационное смещение в долине р. Охчи включает три обвала на левом борту Охчи в 10–14 км к востоку от г. Кафан (8 на рис. 1). Самый крупный обвал имеет размеры $1,7 \times 0,5$ км и объем менее $0,1 \text{ км}^3$. Обвал состоит из глыб размером до нескольких, иногда десятков метров юрских плотных эффузивов. Часть обломочной массы находится на правом борту долины р. Охчи. Возраст оценивается, как голоценовый. Кафанское гравитационное смещение связано с высокосейсмичным морфоструктурным узлом (рис. 1), в котором находятся гравитационные смещения Биченаг, Сисиан-Агуди и Шинуайр.

Таким образом, все самые крупные известные нам голоценовые и современные гравитационные смещения приурочены к морфоструктурным узлам, классифицированным как сейсмоопасные относительно землетрясений с $M \geq 6,5$.

Крупные голоценовые и современные гравитационные смещения. Вероятно, их число велико, однако нам известны лишь девять таких объектов (9–17 на рис. 1). Большая их группа связана со Спитакским узлом (12–16 на рис. 1). Другая группа гравитационных смещений (9–11 на рис. 1) расположена в узле, классифицируемом как высокосейсмичный относительно землетрясений с $M \geq 5,5$ [6], и связывается с Вайоцзорским землетрясением 735 г. [8], интенсивность которого оценивается в 10 баллов [16]. Два гравитационных смещения (16 и 17) находятся в стороне от скоплений обвалов. Одно из них (17) располагается в непосредственной близости от центра пересечений линеаментов, в узле, отнесенном к сейсмоопасным с $M \geq 5,5$ [6]. Другое (16) находится в зоне линеамента и кажется удаленным от центров пересечений линеаментов, но попадает в границы территории, относимой к сейсмоопасным узлам [6].

На Малом Кавказе описаны гравитационные смещения, которые по размерам могли быть отнесены к самым крупным [17], однако их возраст определен как плиоцен-раннечетвертичный и среднечетвертичный [17]. Большинство из них также связано с высокосейсмичными морфоструктурными узлами. Несколько таких гравитационных смещений соотносятся с низкосейсмичным морфоструктурным узлом. Последнее может свидетельствовать об уменьшении в нем активности тектонических процессов к началу голоцена.

Таким образом, крупные голоценовые и современные гравитационные смещения, так же как и самые крупные, располагаются в сейсмоопасных морфоструктурных узлах. Самые крупные соотносятся с узлами, в которых были или могут возникнуть землетрясения с $M \geq 6,5$, а крупные или попадают в один узел с самыми крупными смещениями, или в узлы, сейсмоопасные относительно $M \geq 5,5$ (рис. 1). То есть крупные гравитационные смещения приходятся на морфоструктурные узлы менее активные, чем те, в которых образовались самые крупные гравитационные смещения.

Суммарный объем гравитационных смещений достигает кубических километров, что является заметной величиной даже в общем объеме горного сооружения Малого Кавказа. Смещения такого масштаба существенно изменяют рельеф и разрушают любые сооружения, попадающие на их площадь. Большое число морфоструктурных узлов, даже высокосейсмичных, остается потенциально возможным для возникновения крупных и самых крупных гравитационных смещений (рис. 1). Выделение признаков узлов и самих узлов, в которых они могут образовываться, следует осуществлять по аналогии с распознаванием высокосейсмичных узлов [1, 2, 5, 6].

1. Раницман Е.Я. Места землетрясений и морфоструктура горных стран. М.: Наука, 1979. 170 с.
2. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.Л. и др. О критериях высокой сейсмичности // Докл. АН СССР. 1972. Т. 202. № 6. С. 1317–1320.
3. Гласко М.П., Раницман Е.Я. О морфоструктурных узлах – местах активизации современных рельефообразующих процессов // Геоморфология. 1992. № 4. С. 53–61.
4. Герасимов И.П., Раницман Е.Я. Морфоструктура горных стран и их сейсмичность // Геоморфология. 1973. № 1. С. 3–13.
5. Жидков М.П., Ротвайн И.М., Садовский А.М. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. IV. Высокосейсмичные пересечения линейментов Армянского нагорья, Балкан и бассейна Эгейского моря // Интерпретация данных сейсмологии и неотектоники. Вычислительная сейсмология. Вып. 8. М.: Наука, 1975. С. 53–70.
6. Горшков А.И., Жидков М.П., Раницман Е.Я., Тумаркин А.Г. Морфоструктура Малого Кавказа и места возможных землетрясений ($M \geq 5,5$) // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 6. С. 30–38.
7. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344 с.
8. Караханян А.С., Гаспарян Г.С. Палеосейсмогеологический метод и предпосылки его применения на территории Армянской ССР // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1984. Т. XXXVII. № 6. С. 61–67.
9. Никонов А.А., Никонова К.И. Сильнейшее землетрясение Закавказья 30 сентября 1139 г. Детальные инженерно-сейсмологические исследования // Вопр. инж. сейсмологии. Вып. 27. М.: Наука, 1986. С. 152–183.
10. Жидков М.П., Макаренко А.Г., Раницман Е.Я. Биченагская сейсмогенная структура в Зангезурском хребте (Малый Кавказ) // Геоморфология. 1987. № 3. С. 44–48.
11. Никонов А.А., Асланян И.И. Ереванское землетрясение 1679 г. // Природа. 1991. № 12. С. 91–95.
12. Паффенгольц К.Н. Озеро Гек-гёль и р. Ганджа-чай как возможные источники водоснабжения Ганджи // Тр. Всесоюз. геол.-разв. объединения НКТП СССР. Вып. 274. Л.; М., 1993. 28 с.
13. Авдеев М. Озеро Гек-Гель. Баку: Изд-во АзФАН, 1940. 90 с.
14. Bousquet J., Rhilip H. Geologie et risques sismiques les enseignements du seisme de Spitak (Armenie, 7 decembre 1988) // Bull. Soc. Langedocienne de geographie. Catastrophes et risques naturels. T. 24. F. 1–2. 1990. P. 65–77.
15. Никонов А.А. Разрушительные землетрясения в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения 1988 г. в прошлом // Физика Земли. 1991. № 12. С. 3–16.
16. Никонов А.А. Земля землетрясений // Природа. 1989. № 12. С. 39–46.
17. Бонагрян В.Р. Общая направленность развития склонов Армянского нагорья за плиоцен-четвертичное время // Геоморфология. 1989. № 2. С. 69–73.

Институт географии РАН

Поступила в редакцию
24.06.94

LARGE GRAVITATIONAL DISPLACEMENTS AND MORPHOSTRUCTURAL NODES OF THE LESSER CAUCASUS

M. P. ZHIDKOV

S u m m a r y

Morphostructural nodes are most important elements of the earthorust block structure. They are formed by lineaments intersections and feature increased rates of enogenic and exogenic processes. A majority of the morphostructural nodes of the Lesser Caucasus are prone to earthquakes of magnitudes not less than 5,5. Field data, aerial photos interpretation and analysis of literature reveal numerous large gravitational mass displacements (landslides, rockfalls, etc.) restricted to highly seismic morphostructural nodes. The largest displacements are recorded in the nodes prone to earthquakes of $M = 6,5$ or more. The indentification of morphostructural nodes liable to form large gravitational displacements is of theoretical and practical interest.