

УДК 551.248.2:550.348(55)

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ИРАНСКОГО РЕГИОНА

Н.В. Короновский¹, Г.В. Брянцева^{1,2}, Е.В. Архипова², О.В. Анисимова²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

² Государственный университет «Дубна», Московская обл., Дубна

Поступила в редакцию 10.02.17

Анализ современного рельефа структурно-геоморфологическим методом позволил выявить особенности новейшей структуры и показать большое значение сдвиговых, горизонтальных перемещений структурных форм, образовавшихся в обстановке сжатия в направлении северо-восток–юго-запад. Высокая сейсмическая активность Иранского региона подтверждает его динамичное развитие на современном этапе. Области с высокой плотностью эпицентров землетрясений пространственно совпадают с зонами активных разломов. Системные взаимодействия на уровне верхней и нижней коры проявляются при сопоставлении долговременных вариаций числа землетрясений различных уровней и указывают, что современная сейсмогеодинамическая трансформация региона протекает под влиянием единого управляющего начала, которым, по-видимому, является сближение Аравии и Евразии.

Ключевые слова: неотектоника, Иранский регион, сейсмичность, структурная геоморфология.

Koronovskii N.V., Bryantseva G.V., Arkhipova E.V., Anisimova O.V. Structural-geomorphological analysis and seismicity of the Iranian Region. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 3. P. 12–22.

Analysis of modern relief of the structural-geomorphological method has allowed to reveal features of the latest structure and show a large value of shear horizontal displacements of structural shapes, formed in the environment of NE-SW compression. The high seismic activity of the Iranian Region confirms its dynamic development at the present stage. Areas with a high density of earthquake epicenters spatially coincide with the active fault zones. The presence of systemic interactions at the level of the upper and lower crust is evident in a cross-comparison of long-term variations of number of earthquakes of different levels and indicates that modern seismic geodynamic transformation of the region occurs under the influence of a single controlling force, which, apparently, is the convergence between Arabia and Eurasia.

Key words: neotectonics, Iran, seismicity, structural geomorphology.

Иранский регион является частью Альпийско-Средиземноморского пояса и объединяет в своем составе Иранскую горно-складчатую систему, а также складчато-надвиговое орогенное сооружение Загроса. Регион имеет сложное геологическое строение и представляет особый интерес, поскольку сформирован в условиях интерференции геодинамических процессов разного порядка, генезиса и времени проявления. Тектоническому строению и геодинамическому развитию этого региона значительное внимание уделено в трудах В. Берберян и Дж. Кинга (Verberain, King, 1981), В.Е. Хаина (1984), Ю.Г. Леонова (1993), М.Л. Коппа (1974, 1997), В.Г. Трифонова (1983), Н. Фолкона (1977) и др.

Современное развитие Иранского региона протекает в обстановке конвергенции Аравийской и Евразийской плит и, по мнению М.Л. Коппа, основным процессом формирования его современного структурно-геоморфологического облика является отток вещества из зоны максимального сжатия на восток и юго-восток вдоль Северо-Армянской дуги

активных разломов в направлении Кавказа и Иранского нагорья (Копп, 1997). Дополнительное усложнение структурного плана региона обусловлено целым рядом процессов подчиненного значения. Одним из них является встречное движение на север Лутского блока, в северной части региона существенную роль играет интенсивное прогибание Южно-Каспийской впадины Черноморско-Каспийской системы седиментационных бассейнов. На юго-западе на образование складчато-надвиговой системы Загроса ощутимое влияние оказывают процессы рифтогенеза, связанные с формированием Персидского залива, по направлению с востока воздействуют коллизионные процессы в области сближения Индостана и Евразии.

Иранский сегмент Альпийско-Средиземноморского пояса состоит из многочисленных разнородных структурных блоков, сформированных в процессе длительного геодинамического развития и объединенных в общую систему лишь на заключительных стадиях. В настоящее время большин-

ство исследователей (Леонов, 1993; Сборщиков, 1988, Сборщиков и др., 1981; Хаин, 1984 и др.) едины во мнении, что доальпийское основание региона сложено мозаикой из фрагментов разнообразных по форме и размерам блоков или микроплит, разделенных системами офиолитовых швов. Современная структура сегмента обусловлена сложным взаимным перемещением таких блоков в условиях сближения Аравийского индентора и Евразийской литосферной плиты (Delalove, Desmons, 1980).

Большое разнообразие форм и высокая контрастность рельефа подчеркивают сложную историю неотектонического развития региона. Иранское нагорье с севера обрамляют Туркмено-Хорасанские горы, а восточнее находится обширная область Северо-Афганских гор. Южные горы от Загроса до Макрана прослеживаются дугообразно изогнутыми параллельными хребтами.

Рассматриваемый район охватывает большую территорию и включает структурные формы, которые значительно отличаются по условиям орогенного и доорогенного развития. Сравнительным анализом рельефа и новейших структур областей горообразования установлен ряд общих черт, и следует отметить, что при формировании новейших структур значительная роль принадлежит горизонтальным движениям. Тектонические формы, возникшие в условиях сжатия, растяжения и сдвига, различаются по ориентировке, структурному положению и морфологии. Характер современного рельефа наиболее полно отражает новейшие тектонические движения, поэтому его детальное изучение специальными геоморфологическими методами позволяет дать объективную информацию о новейшем строении и о соотношении деформаций изгибов (складок основания) и разрывов (определяющих блоковое строение). Вопросу соотношения рельефа и блоковой структуры посвящены многие работы Н.П. Костенко (1972; Брянцева, Костенко, 1997). Анализ новейших структурных форм проводится с помощью специального структурно-геоморфологического метода, позволяющего дать характеристику развития деформаций за конэрозионный этап. При помощи этого метода установлена степень горизонтального расчленения рельефа, выполнен анализ комплексных геолого-геоморфологических профилей и вертикального сечения рельефа. Исходным материалом для составления структурно-геоморфологических карт послужили топографические карты масштаба 1:2 500 000 и карта масштаба 1:100 000 для горного сооружения Загроса. С тем чтобы оценить современную активность новейших структур, структурно-геоморфологические данные дополнены анализом пространственно-временного распределения сейсмичности региона.

Структурно-геоморфологический анализ

Конфигурация и положение орогенных структурных форм Иранского региона позволяют выделить в плане с северо-востока на юго-восток три

сектора: Северо-Западный, Центральный и Южный, отличающиеся рядом параметров, главным образом, простираемостью горных систем и развитием трансорогенных разломов. Основные хребты-поднятия на северо-западе в общих очертаниях повторяют простираемостью склона, сопряженного с Месопотамской впадиной, а в Центральном и Южном секторах — с континентальным склоном Персидского и Оманского заливов.

Северо-Западный сектор. Включает северо-западные части Загросского и Кухрудского складчатоблоковых горных сооружений, Хамаданские хребты-поднятия, горную впадину Гавкуни и Деште-Кевирскую межгорную впадину (рис. 1). Складчатая зона *Внешнего Загроса* начала формироваться в конце миоцена — начале плиоцена. Загросская горная система характеризуется линейностью очертаний орогенных структурных форм, т.е. небольшой шириной поднятий и впадин при значительном протяжении, осложненных их кулисообразным замещением, что свидетельствует о существенной роли горизонтальных смещений, сопровождавших формирование новейших структур и, возможно, складок срыва Внешнего Загроса. Морфология складок к северо-востоку постепенно меняется, что позволяет выделить зоны *Внешнего* (рис. 1, I) и *Внутреннего* (рис. 1, II) *Загроса*, это соответствует также изменению их внутреннего строения (Хаин, 1984). В пределах Внешнего Загроса хребты-поднятия и долины-впадины становятся шире, их линейный облик выражен менее четко по сравнению с Внутренним Загросом. *Хамаданские хребты-поднятия* (рис. 1, III), ограничивающие с юго-запада впадину Гавкуни, расположены вдоль зоны Загросских надвигов (рис. 1, б), в которых развиты офиолиты. Для всего сектора отчетливо выделяются секущие разрывы северо-восточного простираемостью, осложняющие строение впадин и поднятий этой горной системы и располагающиеся перпендикулярно к простираемостью хребтов-поднятий и долин-впадин.

Впадина Гавкуни (рис. 1, IV) в современной структуре представляет собой относительно опущенный блок в общем сводово-блоковом Загросско-Кухрудском гетерогенном поднятии. Строение впадины Гавкуни сложное, так как ее отдельные участки вовлечены в поднятие.

Далее к северо-востоку располагается *Кухрудское горное сооружение* (рис. 1, V), имеющее асимметричное строение. Юго-западный склон образован вулканотектоническими структурами, протягивающимися параллельно Загросу (субдукционный вулканический пояс). Северо-восточный пологий склон образован вовлеченными в поднятие сопредельными участками впадины Деште-Кевир. В общем сводово-глыбовое Кухрудское поднятие имеет значительную ширину при умеренной протяженности. Кухебенанский разлом (рис. 1, 3) является согласным с простираемостью структур, отделяя Кухрудское горное сооружение от Деште-Лутской межгорной впадины. По данным структурно-геоморфоло-

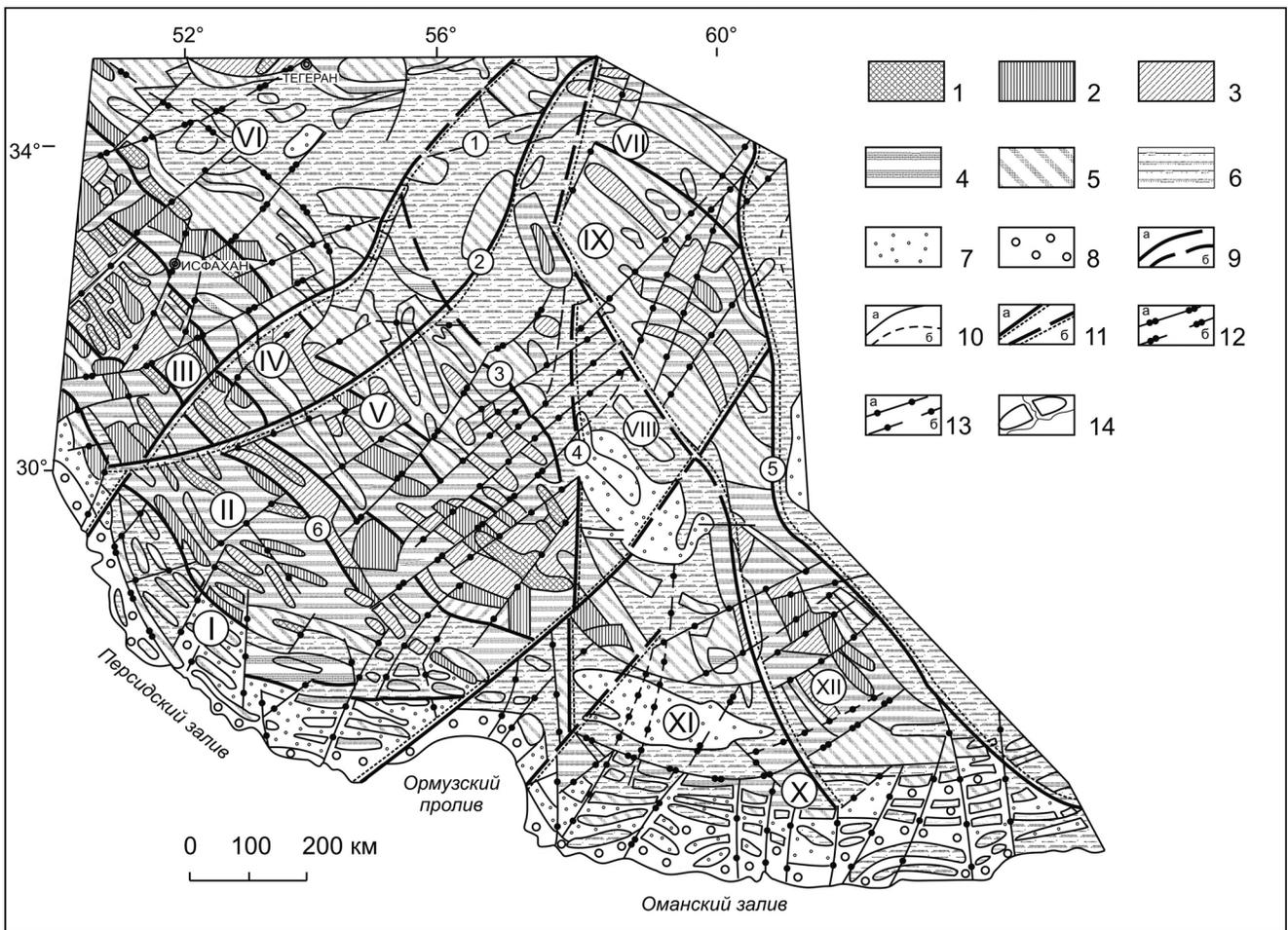


Рис. 1. Структурно-геоморфологическая схематическая карта Иранского региона. Суммарные поднятия за конэрозивный этап развития, в км: 1–8: 1 – 3–4; 2 – 2,5–3; 3 – 2,0–2,5; 4 – 1,5–2,0; 5 – 1,0–1,5; 6 – 0,5–1,0; 7 – 0,2–0,5; 8 – менее 0,2. Структурные формы, развивающиеся в рельефе: 9 – границы мегаблоков: а – достоверные, б – предполагаемые; 10 – границы блоков: а – достоверные, б – предполагаемые; 11–13 – разрывы со смещением, зоны значительной трещиноватости и дробления пород (а – достоверные, б – предполагаемые): 11 – трансорогенные, 12 – региональные, 13 – локальные; 14 – преимущественно сквозные долины и долинообразные понижения, приуроченные к зонам трещиноватости и разработанные реками. Римскими цифрами обозначены: I, II – Загросское горное сооружение: I – Внешний Загрос, II – Внутренний Загрос; III – Хамаданские хребты-поднятия; IV – впадина Гавкуни; V – Кухрудское горное сооружение; VI – Деште-Кевирская межгорная впадина; VII – межгорная впадина Кевир-Немек; VIII – межгорная впадина Деште-Лут; IX – Кайенское горное сооружение; X – Мекранское горное сооружение; XI – Джазмурианская межгорная впадина; XII – Серхедское горное сооружение. Арабскими цифрами обозначены разломы: 1 – Дорунихский, 2 – Чах-и-Сорбский, 3 – Кухбенанский, 4 – Нейбендский, 5 – Нехский, 6 – Загросский

гического анализа, он состоит из серии небольших сдвигов, входящих в общий региональный разлом, отделяющий выделенные орогенные структуры.

Деште-Кевирская межгорная впадина (рис. 1, VI) отделяет Кухрудское горное сооружение от Туркмено-Хорасанского, находящегося за пределами исследуемого района. Межгорная впадина представляет собой плиту, наклоненную на северо-восток. Она осложнена отдельными поднятиями – брахморфными складками при общем равнинном характере местности. Возможно, Северо-западный сектор на отдельных участках граничит с Центральным по Чах-и-Сорбскому разлому (рис. 1, 2) северо-восточного простирания. Последний отчетливо выражен в рельефе и определяет границы структур северо-западного простирания. Этот разлом пересекает структуры Загроса и Кухруда, достигая Туркмено-Хорасанской горной системы. По мнению

В.Г. Трифонова (1983), это правосторонний сдвиг, имеющий незначительное протяжение. Правосдвиговая составляющая определяется и по структурно-геоморфологической карте.

Центральный сектор. Соответствует области наиболее значительного развития горных систем Загроса и Кухруда. Расширение горного сооружения начинается непосредственно к юго-востоку от Чах-и-Сорбского разлома. Этот сектор включает юго-восточные системы орогенных поднятий и впадин Загроса, Кухруда, межгорные впадины Кевир-Немек (рис. 1, VII) и Деште-Лут (рис. 1, VIII), а также разделяющее их Кайенское горное сооружение (рис. 1, IX). Особенностью строения последнего является широкое развитие покровов позднекайнозойских лав, бронирующих рельеф. На северо-востоке Центральный сектор ограничен крупным Нехским разломом (рис. 1, 5), который

отчетливо выражен в рельефе уступом (Милановский, Короновский, 1973; Хаин, 1984).

Строение Загросского и Кухрудского горных сооружений весьма близко к вышеописанному. Можно лишь отметить отсутствие отчетливого различия между морфологией структурных форм Внутреннего и Внешнего Загроса.

Деште-Лутская межгорная впадина (рис. 1, VIII) является, по-видимому, структурным продолжением Деште-Кевирской и расположена к югу от нее. Она отделена от Деште-Кевирской поднятым блоком — *Кайенским горным сооружением* (рис. 1, IX), которое называют Керман-Табасской зоной или «кряжем Шотори» и которое орографически является отрогом Кухрудского горного сооружения.

Межгорная впадина Кевир-Немек (рис. 1, VII) значительной протяженности, выполненная мощной (до 5 км) толщей неогеновых отложений, огибает с севера Кайенское горное сооружение. Впадина в настоящее время, по-видимому, отмирает и ее периферические части уже испытывают слабые поднятия.

Южный сектор. Отделяется от центрального двумя трансорогенными разломами северо-восточного простирания, в их пределах резко изменяется строение горных систем. В рельефе эта граница представлена в виде долинообразного понижения, переходящего во впадину Ормузского залива. Южный сектор включает Макранское и Серхедское горные сооружения и Джазмурианскую межгорную впадину.

Макранское складчато-блоковое горное сооружение (рис. 1, X) значительной протяженности, простирается согласно с континентальным склоном Оманского залива, который определяет в плане западные и восточные границы этой системы поднятий по предполагаемым трансорогенным разломам. Крупная *Джазмурианская впадина* (рис. 1, XI) лежит к северу от Макранского горного сооружения, и примерно на востоке ее ограничивает *Серхедское горное сооружение* (рис. 1, XII), непосредственно примыкающее к Макранскому. В орографическом отношении Серхедское горное сооружение является непосредственным продолжением Кайенского.

Для всего этого района характерна высокая раздробленность с преобладанием северо-восточных и субмеридиональных разрывов. Наиболее крупным из них является линеймент, который при пересечении Макранского сводово-складчатого горного сооружения испытывает «вырождение» и ветвление. Следует отметить, что непосредственно к востоку от него намечается замыкание впадины Оманского залива и существенное изменение простирания складчато-блоковых горных систем.

Для одного из участков западной части Иранского региона составлена детальная структурно-геоморфологическая карта, которая позволяет подробнее рассмотреть строение горного сооружения Загроса, Кухруда и сопредельной Деште-Кевирской впадины (рис. 2).

В пределах *Внутреннего Загроса* (рис. 2, I) видно, что система разрывов северо-восточного прости-

рания на отдельных участках вызывает значительные смещения и нарушение целостности отдельных хребтов-поднятий. По-видимому, это связано со сдвиговыми деформациями, а также со сбросами.

Впадина Гавкуни (рис. 2, II) на значительном протяжении отличается отсутствием внутренних поднятий, которые появляются только в ее северо-западной части. Возможно, они обусловлены пересечением впадины Гавкуни региональным трансорогенным разломом.

Кухрудское горное сооружение (рис. 2, III) характеризуется большим усложнением хребтов-поднятий на участках их пересечения разрывами северо-восточного простирания. Здесь также наблюдаются многочисленные сдвиговые деформации, которые маркируются горизонтальными смещениями хребтов, их дискретным снижением и даже окончанием, приуроченным к участкам разрывов.

В пределах *Деште-Кевирской впадины* (рис. 2, IV) выделяются два подрайона: один сопряженный с Кухрудским горным сооружением и второй — центральный. Они отличаются насыщенностью внутридепрессийными поднятиями и разломами. По-видимому, это обстоятельство отражает дальнейшее развитие Кухрудского горного сооружения в позднеорогенном этапе и формирование его молодых предгорий в сопредельных районах с Деште-Кевирской впадиной. В центральной части этой впадины разрывы не дешифрируются, по-видимому, вследствие значительной мощности четвертичных отложений.

Система разрывов, осложняющих Иранский регион, хорошо дешифрируется структурно-геоморфологическим методом. Выделяются согласные, региональные разломы на границе Внешнего и Внутреннего Загроса. Менее отчетливо выражен согласный разлом между впадиной Гавкуни и Кухрудским горным сооружением. К крупным секущим разломам относятся два трансорогенных разлома, подразделяющих горные сооружения на Северо-Западное, Центральное и Юго-Восточное. Секущие разрывные нарушения примерно параллельны между собой и имеют преобладающее северо-восточное простирание.

Пространственно-временной анализ сейсмичности

Современная геодинамическая активность Иранского региона подтверждается его высокой сейсмичностью. Чтобы выявить черты современного сейсмогеодинамического развития этого региона и возможные системные взаимодействия, которые проявляются при сопоставлении долговременных вариаций сейсмичности (Архипова, 2004, 2006), выполнен анализ пространственно-временного распределения землетрясений. По данным каталога USGS, на территории Иранского региона и примыкающих с севера Туркмено-Хорасанских гор в период с 1973 по 2015 г. произошло 5398 событий с магнитудой 4 и выше. Для выявления простран-

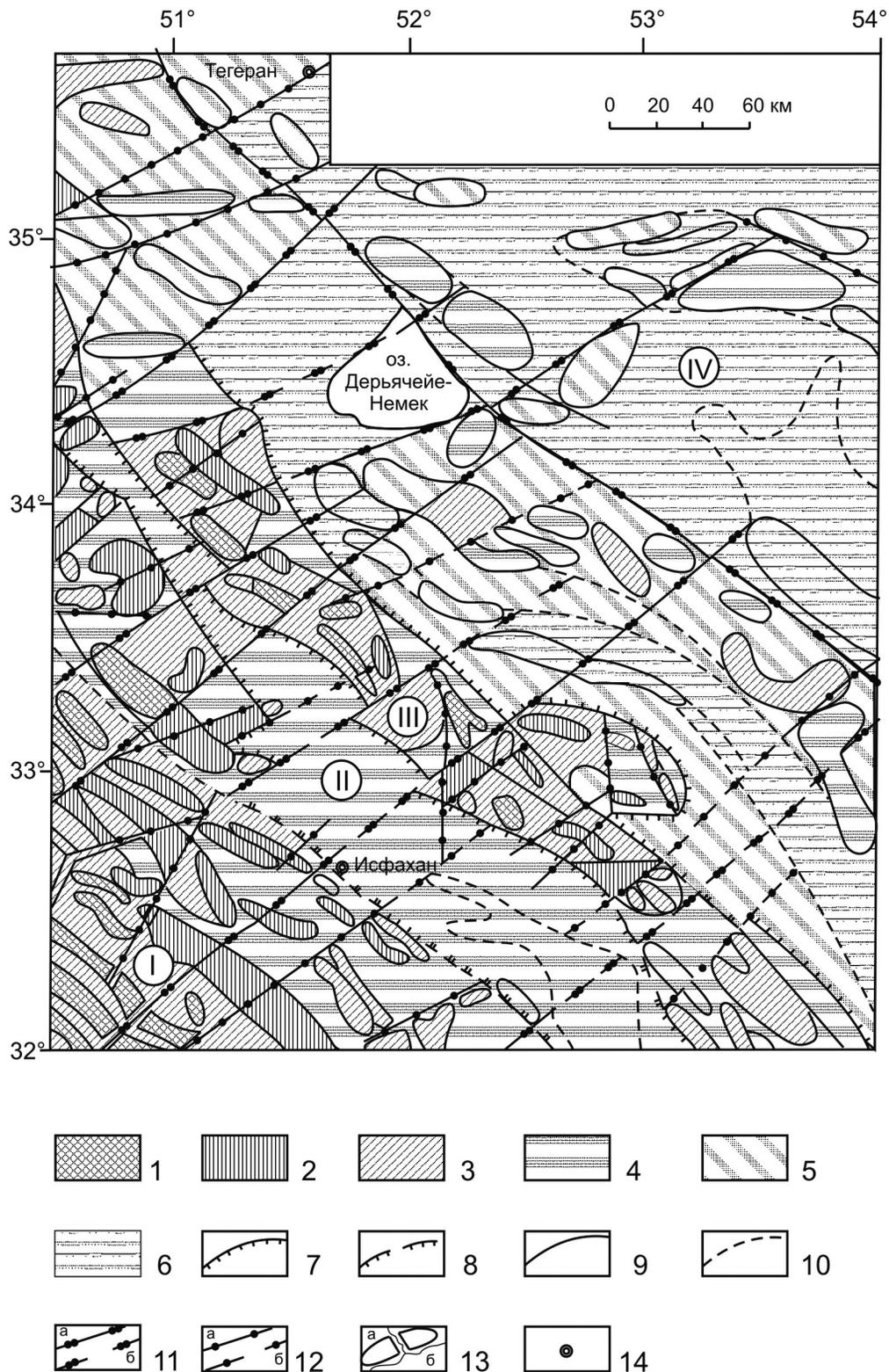


Рис. 2. Структурно-геоморфологическая карта северо-запада Иранского региона: 1–6 – суммарные поднятия (в км) за конэрозионный этап развития: 1 – 3–4; 2 – 2,5–3; 3 – 2,0–2,5; 4 – 1,5–2,0; 5 – 1,0–1,5; 6 – 0,5–1,0. Структурные формы, развивающиеся в рельефе: 7 – границы мегаблоков – новейших поднятий и впадин (систем хребтов, долин и долинообразных понижений); 8 – предполагаемое продолжение хребтов-поднятий в межгорных впадинах; 9 – границы блоков; 10 – предполагаемые границы блоков; 11, 12 – разрывы со смещением, зоны значительной трещиноватости и дробления пород (а – достоверные, б – предполагаемые): 11 – региональные, 12 – локальные; 13 – преимущественно сквозные долины и долинообразные понижения, приуроченные к зонам трещиноватости и разработанные реки; а – согласные, б – секущие; 14 – населенные пункты. Римскими цифрами обозначены: I – хребты-поднятия Внутреннего Загроса, II – впадина Гавкуни, III – Горное сооружение Кухруд, IV – Деште-Кевирская межгорная впадина

ственного распределения этих событий построена карта плотности эпицентров землетрясений, на которую нанесены отдельные эпицентры событий с магнитудой 6 и более (рис. 3). На карте отчетливо обозначились три домена с высокой плотностью событий: 1) Туркмено-Хорасанские горы, расположенные в северной части обозначенной территории; 2) складчато-надвиговое сооружение Загроса; 3) структуры Иранского нагорья, локализованные в юго-восточной части региона.

С тем чтобы выявить особенности временного хода сейсмичности для всего региона в целом, для трех обозначенных доменов, а также для уровней

верхней и нижней коры, построены временные ряды количества землетрясений с магнитудой в представительном диапазоне значений от 4,5 и выше. Временные ряды представляют собой десятилетние суммы числа землетрясений со скользящим усреднением по десяти годам и сдвигом в один год и показывают долговременные тенденции изменения сейсмичности для региона в целом, для отдельных сейсмоактивных доменов, а также для глубинных уровней до и выше 25 км (рис. 4–8). Выявление общих тенденций в поведении активности землетрясений на основе сопоставления графиков временных рядов дополнено корреляци-

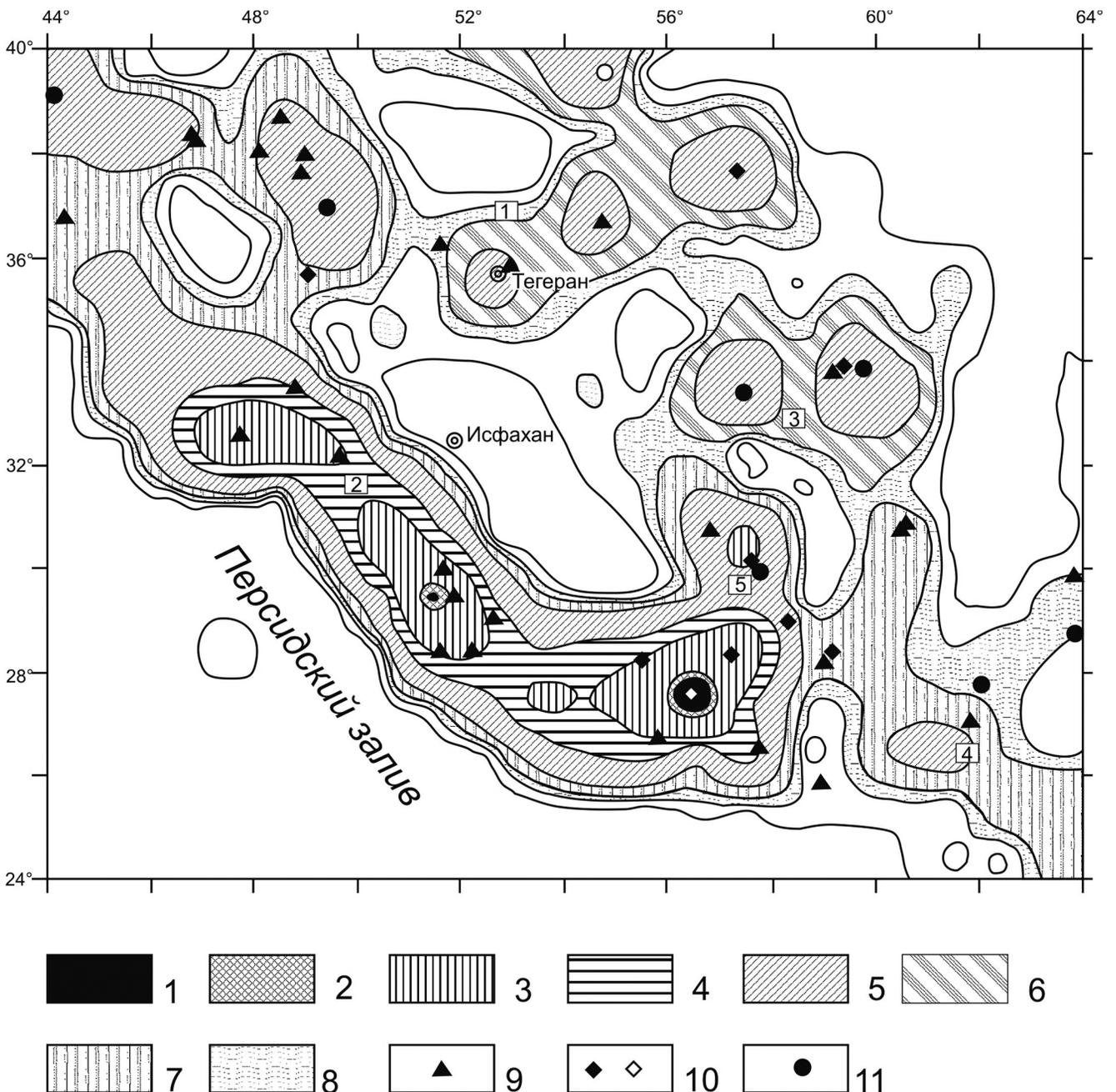


Рис. 3. Карта плотности эпицентров землетрясений Иранского региона и сопредельных территорий. Выборка из 5398 событий с 1973 по 2015 г.; $M \geq 4,0$. Количество эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 4,0$: 1 – более 110; 2 – 100–110; 3 – 50–100; 4 – 30–50; 5 – 10–30; 6 – 5–10; 7 – 1–3; 8 – менее 1; 9–11 – эпицентры сильных землетрясений с магнитудой: 9 – 6–6,5, 10 – 6,5–7,0, 11 – 7,0–7,5. Цифрами на карте обозначены горные сооружения: 1 – Туркмено-Хорасанское; 2 – Загросское; 3–5 – Иранское нагорье, горные сооружения: 3 – Кайенское, 4 – Мекранское, 5 – Кухрудское

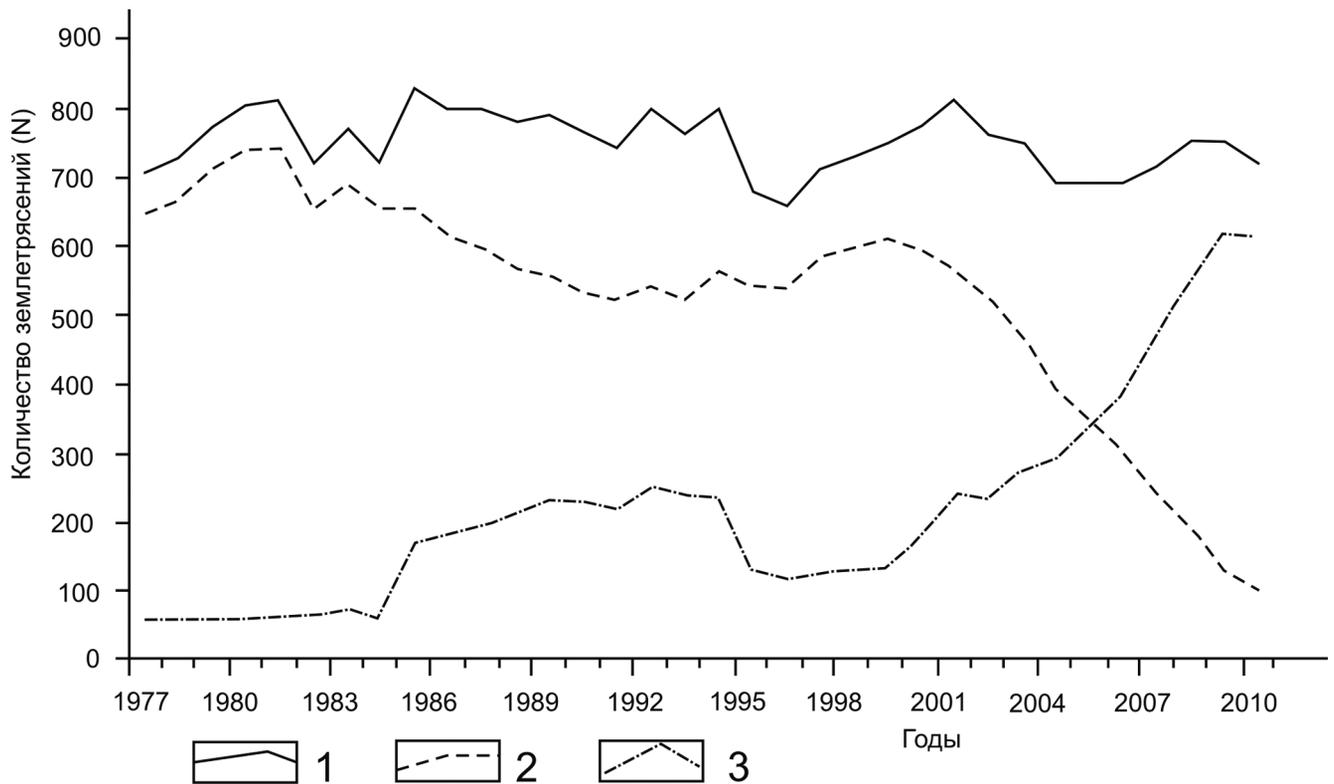


Рис. 4. Временные ряды количества землетрясений Иранского региона в целом (1) и для уровней глубины до 25 км (2) и более 25 км (3). Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. (N), $M \geq 4,5$. Коэффициент корреляции для временных рядов событий, произошедших на глубинах до и более 25 км $Q = -0,97$

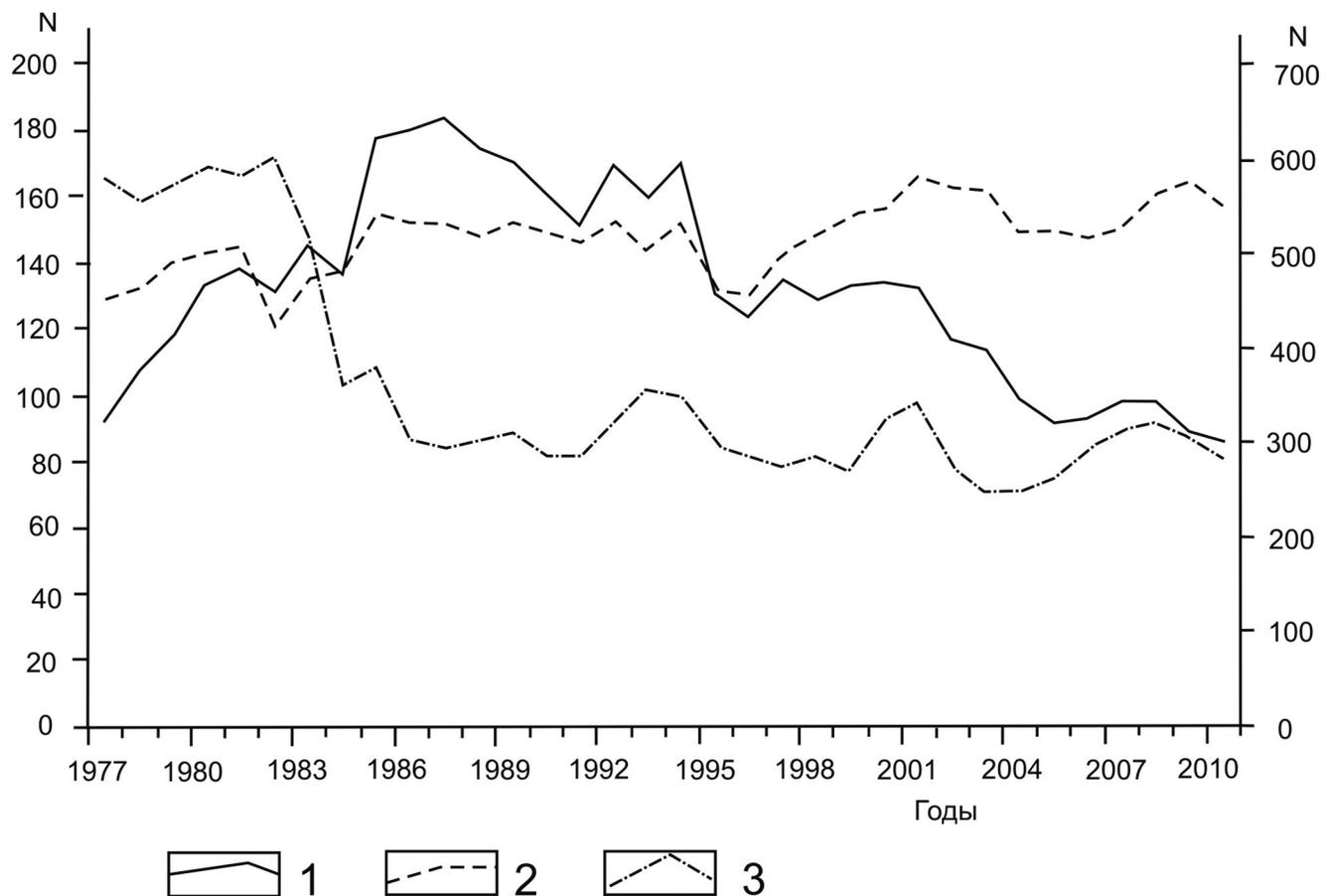


Рис. 5. Временные ряды количества землетрясений для трех доменов: 1 – Туркмено-Хорасанские горы, 2 – Загрос (ось справа), 3 – Иранское нагорье. Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. (N), $M \geq 4,5$

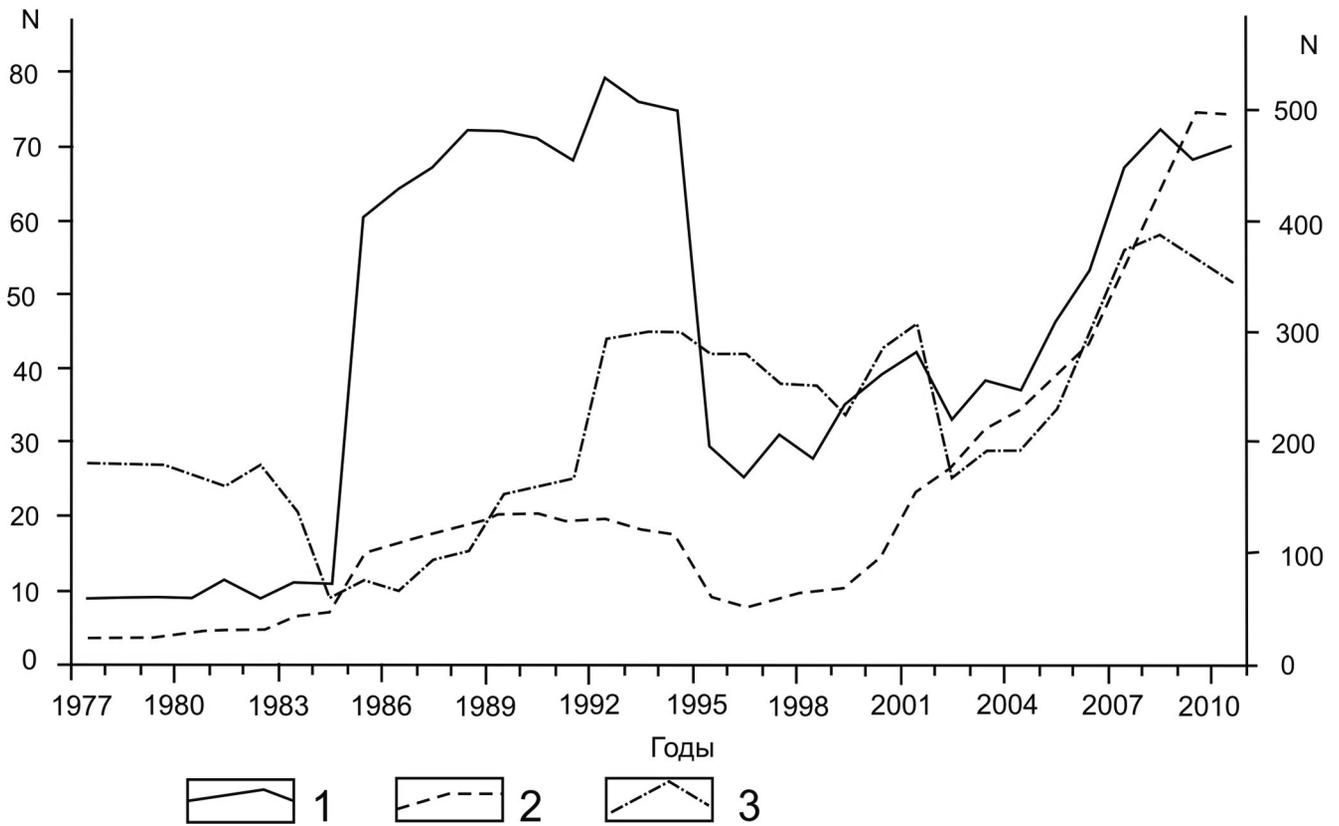


Рис. 6. Временные ряды количества событий с гипоцентрами, расположенными на глубине до 25 км для трех доменов: 1 – Туркмано-Хорасанские горы, 2 – Загрос (ось справа), 3 – Иранское нагорье. Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. (N), $M \geq 4,5$

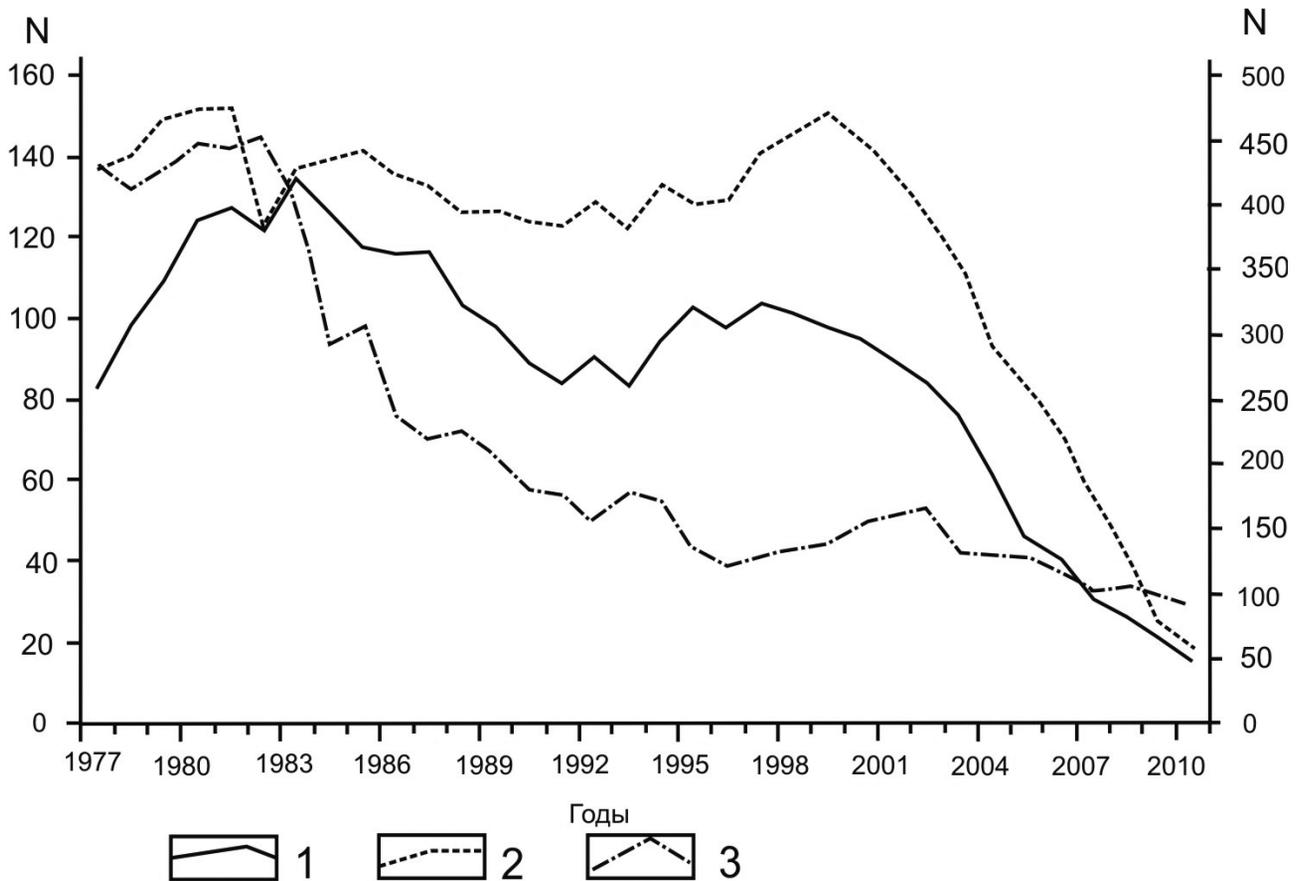


Рис. 7. Временные ряды количества землетрясений с гипоцентрами, расположенными на глубине свыше 25 км для трех доменов: 1 – Туркмано-Хорасанские горы, 2 – Загрос (ось справа), 3 – Иранское нагорье. Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. (N), $M \geq 4,5$

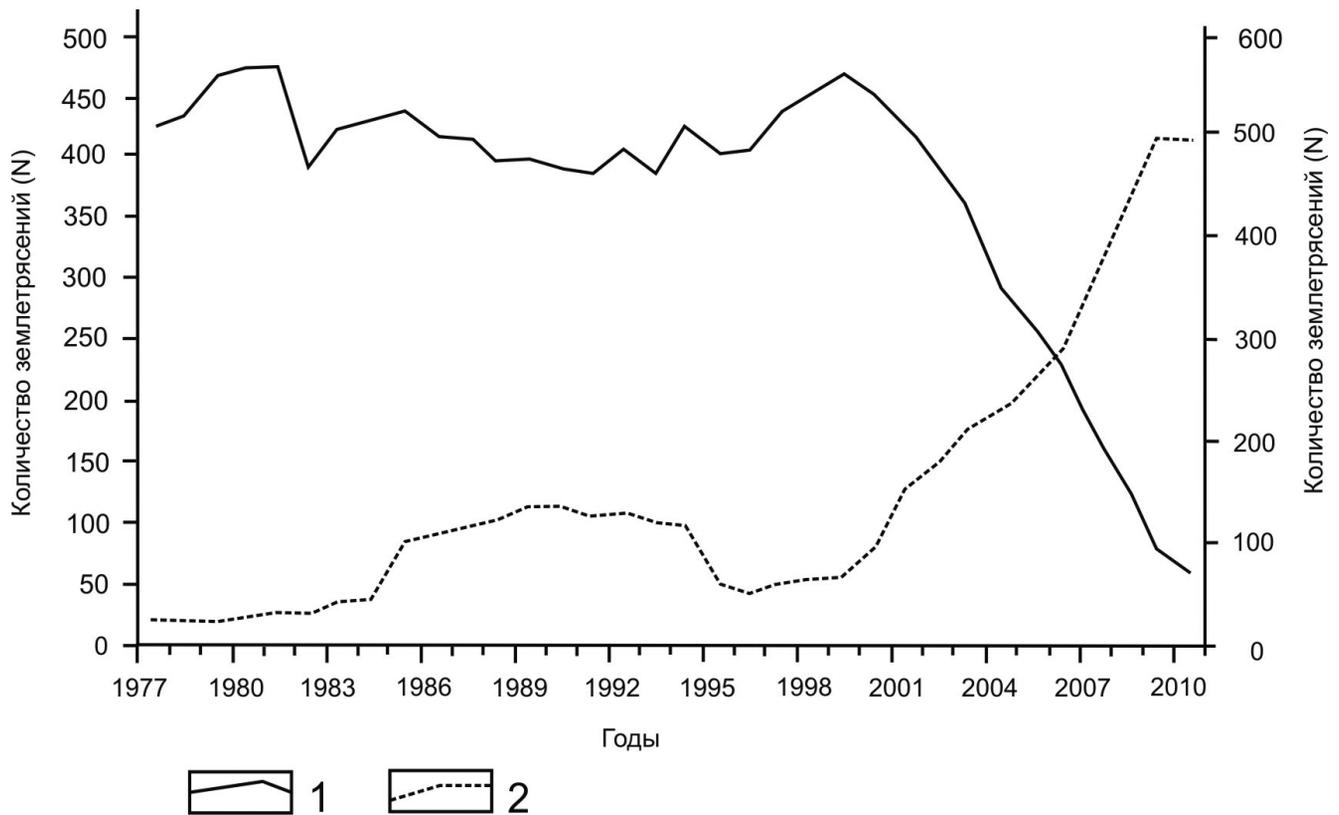


Рис. 8. Временные ряды количества землетрясений для складчато-надвигового сооружения Загроса с гипоцентрами, расположенными на глубинах более 25 км (1) и до 25 км (2). Скользящее осреднение годового числа землетрясений по десяти годам и сдвигом в один год по данным с 1973 по 2015 г. (N), $M \geq 4,5$. Коэффициент корреляции временных рядов количества землетрясений на глубинах более 25 км и до 25 км $Q = -0,96$

онными таблицами, где произведен расчет коэффициентов корреляции (Q) для временных рядов событий трех доменов высокой концентрации событий на уровнях верхней и нижней коры на глубинах до и свыше 25 км (табл. 1–4).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (Q) временных рядов десятилетних сумм годового числа землетрясений со скользящим осреднением по десяти годам и сдвигом в один год для доменов в целом

Названия доменов	Туркмено-Хорасанские горы	Загрос	Иранское нагорье
Туркмено-Хорасанские горы		0,01	-0,41
Загрос	0,01		-0,58
Иранское нагорье	-0,41	-0,58	

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (Q) временных рядов десятилетних сумм годового числа землетрясений со скользящим осреднением по десяти годам и сдвигом в один год (SN) для доменов на глубинном уровне менее 25 км

Названия доменов	Туркмено-Хорасанские горы	Загрос	Иранское нагорье
Туркмено-Хорасанские горы		0,58	0,29
Загрос	0,58		0,6
Иранское нагорье	0,29	0,6	

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (Q) временных рядов десятилетних сумм годового числа землетрясений со скользящим осреднением по десяти годам и сдвигом в один год для доменов на глубинном уровне более 25 км

Названия доменов	Туркмено-Хорасанские горы	Загрос	Иранское нагорье
Туркмено-Хорасанские горы		0,92	0,64
Загрос	0,92		0,52
Иранское нагорье	0,64	0,52	

Таблица 4

Противофазная корреляция временных рядов десятилетних сумм годового числа землетрясений со скользящим осреднением по десяти годам и сдвигом в один год для доменов на глубинных уровнях более 25 км и менее 25 км

Названия доменов, глубины	Туркмено-Хорасанские горы (≤ 25)	Загрос (≤ 25)	Иранское нагорье (≤ 25)
Туркмено-Хорасанские горы (> 25)	-0,48	-0,92	-0,72
Загрос (> 25)	-0,47	-0,96	-0,61
Иранское нагорье (> 25)	-0,64	-0,62	-0,57

Анализ графика вариаций для региона в целом показывает, что общая активность землетрясений региона в периоде с 1973 по 2015 г. варьирует в среднем от 60 до 80 событий в год (600–800 за десятилетие) и не имеет четких однонаправленных тенденций, сохраняясь приблизительно на одном уровне (рис. 4). Однако если рассматривать вариации на различных уровнях глубины – до и свыше 25 км, что приблизительно соответствует уровням нижней и верхней коры, то выявляется отчетливая тенденция активизации землетрясений верхней коры на фоне снижения общего количества нижнекоревых землетрясений.

Сопоставление временных рядов для трех доменов с высокой активностью обнаруживает относительно слабо выраженную активизацию для Загроса (домен 2) и некоторое снижение активности для Туркмено-Хорасанских гор и Иранского нагорья (домены 1 и 3). Высокой корреляции сейсмичности для доменов в целом не выявлено, но отмечена заметная отрицательная корреляция вариаций землетрясений Загроса и Иранского нагорья с коэффициентом $Q = -0,58$ (рис. 5, табл. 1). Для временных рядов верхнекоревых землетрясений с глубинами до 25 км во всех доменах отмечена активизация к концу рассматриваемого периода и положительная корреляция между собой (рис. 6, табл. 2). Число сейсмических событий, сконцентрированных в нижней коре на глубинах более 25 км, напротив, резко уменьшается с началом 21 столетия, и эта тенденция синхронна для всех доменов (рис. 7). Положительная корреляция временных рядов нижнекоревых землетрясений является более высокой и достигает максимального значения для доменов Туркмено-Хорасанских гор (1) и Загроса (2) с коэффициентом $Q = 0,92$ (табл. 3). При перекрестной корреляции временных рядов доменов на глубинах до и свыше 25 км в подавляющем большинстве случаев выявлена значимая отрицательная корреляция с коэффициентами от $-0,48$ до $-0,96$ (табл. 4, рис. 8).

Анализ пространственно-временного распределения землетрясений показывает, что территория Иранского региона в целом характеризуется высокой сейсмической активностью. Землетрясения средней силы в пределах складчато-надвигового сооружения Загроса имеют весьма высокую плотность, однако при относительно меньшей активности Туркмено-Хорасанских гор и Иранского нагорья сильные события случаются в их пределах чаще, что указывает на высокую степень современной сейсмогеодинамической активности этих доменов (рис. 3).

Анализ сглаженной временной последовательности сейсмических событий для Иранского региона в целом не позволяет выявить однозначных тенденций, число землетрясений сохраняется в целом примерно на одном уровне, однако анализ временных последовательностей на различных глубинах показывает относительно синхронные вариации сейсмичности для каждого из уровней. Вместе с тем

наблюдается отчетливая зеркальная корреляция между отдельными уровнями как в пределах любого из доменов, так и при перекрестном сопоставлении вариаций различных доменов и на различных уровнях для региона в целом (табл. 4, рис. 4, 8).

Заключение

Для всей рассматриваемой горной области Ирана характерны две системы молодых разрывов, выраженных в рельефе и, по-видимому, активно развивавшихся на позднеорогенном этапе. К первой относятся разломы секущие, ко второй – согласные с общим простиранием хребтов-поднятий и с границами континентального склона и Месопотамской предгорной впадины. Обе системы разрывов изменяют свое простирание в соответствии с общим простиранием областей горообразования. Такое строение горной системы Загроса и развитие сдвиговых деформаций являются следствием коллизии Аравийской плиты с Иранским микроконтинентом.

В результате детального анализа современного рельефа структурно-геоморфологическим методом выяснилась большая роль секущих активных разрывов, ориентированных с ЮЗ на СВ. Именно по ним происходит сдвиговое смещение многочисленных складок. Вертикальные сечения рельефа устанавливают наличие обширных гетерогенных сводообразных поднятий, включающих горные сооружения различных типов: Внешнего и Внутреннего Загроса и Кухруда. В поперечном сечении эти асимметричные поднятия бывают осложнены в центральной части впадинами. Для Иранской области горообразования характерно значительное расширение орогенных поднятий за счет отмирания сопредельных впадин. Этот процесс протекал неравномерно, что привело с начала конэрозионного развития и до современной эпохи к двух- и трехкратному сокращению ширины горных долин.

Высокая активность землетрясений подтверждает наличие интенсивных геодинамических процессов в пределах Иранского региона на современном этапе. Главной особенностью пространственного распределения сейсмичности является высокая плотность землетрясений средней силы в пределах складчато-надвигового сооружения Загроса и значительное количество сильных событий с магнитудами более 6 в пределах Иранского нагорья. Данные по пространственному распределению сейсмичности согласуются с результатами структурно-геоморфологического анализа, в соответствии с которыми на позднеорогенном этапе наиболее активно развиваются две системы молодых разрывов, выраженных в рельефе. К первой относятся разломы секущие, ко второй – согласные с общим простиранием хребтов-поднятий.

При сопоставлении структурной геоморфологической карты Иранского нагорья с картой плотности эпицентров землетрясений (рис. 1, 3) отчетливо

видна приуроченность зон высокой плотности эпицентров землетрясений к крупным секущим трансорогенным разломам, подразделяющим горные сооружения региона на Северо-Западный, Центральный и Юго-Восточный сегменты. Зоны высокой плотности эпицентров линейно ориентированы, но захватывают большую территорию, на северо-западе включая впадину Гавкуни, а на юго-востоке — впадину Ормузского залива и впадину Деште-Лут с разломами в обрамлении (рис. 1).

Согласные с общим простиранием хребтов и поднятий региональные разломы на границе Внешнего и Внутреннего Загроса проявляются в сейсмичности в виде зоны высокой плотности эпицентров землетрясений, линейно вытянутой с северо-запада на юго-восток. Землетрясения представлены, главным образом, событиями средней силы, что говорит о высокой степени тектонической переработки

пород, слагающих складчато-надвиговое сооружение Загроса.

Важной особенностью изменения активности землетрясений во времени являются долговременные синхронные вариации сейсмичности на уровне нижней и верхней коры и их противофазная корреляция, которая отражает динамически взаимосвязанное развитие этих уровней и указывает на наличие общего управляющего начала, которое обеспечивает синхронизацию вариаций. Поэтому, несмотря на мозаичное внутреннее строение Иранского региона и обилие локальных факторов, способных влиять на его развитие, при анализе долговременных вариаций сейсмичности отчетливо намечается доминирующий процесс, которым в контексте современных представлений, по-видимому, является конвергенция Евразийской и Аравийской литосферных плит.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипова Е.В.* Корреляция временного хода сейсмичности районов Кавказско-Копетдагского сегмента Альпийского Средиземноморского пояса // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2004. Т. 79, вып. 1. С. 27–32.
- Архипова Е.В.* Тектоника и сейсмичность Аравийско-Евразийской коллизионной области: Дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ИФЗ РАН, 2006. 178 с.
- Брянцева Г.В., Костенко Н.П.* Некоторые особенности строения позднеорогенного рельефа Ирана // Тез. докл. науч. конф. «Ломоносовские чтения». 23–27 апр. 1997 г. М.: Моск. ун-т. 1997. С. 84–85.
- Копп М.Л.* Тектоника Восточного Ирана (в свете новейших геологических и космофотографических данных) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1974. № 12. С. 44–56.
- Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе // Тр. Геол. ин-та РАН. Вып. 506. М.: Научный мир, 1997. 313 с.
- Костенко Н.П.* Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе. М.: Недра, 1972. 320 с.
- Леонов Ю.Г.* Коллаж гондванских и палеозойских элементов в инфраструктуре альпид Среднего Востока // Геотектоника. 1993. № 1. С. 23–32.
- Милановский Е.Е., Короновский Н.В.* Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М.: Недра, 1973. 280 с.
- Сборщиков И.М.* Тектоническая эволюция восточной части океана Тетис. М.: Наука, 1988. 204 с.
- Сборщиков И.М., Савостин Л.А., Зоненшайн Л.П.* Структурная эволюция восточной части Альпийского пояса Евразии (современная кинематика) // Геотектоника. 1981. № 6. С. 92–108.
- Трифонов В.Г.* Позднететивичный тектогенез // Тр. Геол. ин-та АН СССР. Вып. 361. М.: Наука, 1983. 224 с.
- Фолкон Н.* Южный Иран: горы Загрос // Мезо-кайнозойские складчатые пояса. Т. 1. Алтайско-Гималайские складчатые области / Ред. А. Спенсер. М.: Мир, 1977. С. 248–263.
- Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Альпийский средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344 с.
- Berberian V., King G.C.P.* Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran // J. Can. Earth Sci. 1981. Vol. 18, N 2. P. 210–262.
- Delaloye M., Desmons J.* Ophiolites and mélange terranes in Iran: a geochronological study and its paleotectonic implications // Tectonophysics. 1980. Vol. 68, N 1. P. 83–111.
- Earthquake Data Base. U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center // URL: <http://earthquake.usgs.gov>

Сведения об авторах: *Короновский Николай Владимирович* — докт. геол.-минерал. наук, профессор, зав. каф. динамической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова; *Брянцева Галина Владимировна* — канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. динамической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail:* bryan.bryan@yandex.ru; *Архипова Елена Витальевна* — канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. экологии и наук о Земле Университета «Дубна», *e-mail:* olenageo@mail.ru; *Анисимова Ольга Витальевна* — канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. экологии и наук о Земле Университета «Дубна».