

УДК 551.248.2:550.348(581)

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СЕЙСМИЧНОСТЬ АФГАНСКОГО 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 Афганского региона и показать большое значение сдвиговых, горизонтальных перемещений структурных форм, образовавшихся в обстановке субмеридионального сжатия северной части Гиндукуша. Высокая сейсмическая активность приурочена к области максимальных воздыманий хребтов Гиндукуша и Сулеймана. Это подтверждает активное развитие данного региона на современном этапе.

Ключевые слова: неотектоника, Гиндукуш, Афганская межгорная впадина, сейсмичность, структурная геоморфология.

Koronovskii N.V., Bryantseva G.V., Arkhipova E.V., Anisimova O.V. Structural-geomorphological analysis and seismicity of the Afghan Region. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 2. P. 21–31.

Analysis of modern relief by the structural-geomorphological method has allowed to identify the characteristics of the modern structure of the Afghan Region and show the great value shift, horizontal displacement of structural forms, resulting in setting the N-S compression in the northern part of the Hindu Kush. High seismic activity is confined to the region of maximum uplift of the Hindu Kush and Suleiman. This confirms active development of this region at the present stage.

Key words: neotectonics, Hindu Kush, Afghan intermountain basin, seismicity, structural geomorphology.

Афганский регион является одним из сегментов Альпийско-Гималайского коллизионного пояса и расположен на северо-западном фланге области сближения Евразии и Индостана. В его современной структуре обособляются Гиндукушские системы поднятий, горное сооружение Сулейман-Киртара, а также Афганская межгорная впадина. Геологическому строению и геодинамическому развитию региона значительное внимание уделено в трудах А. Гансера (1977), И.М. Сборщикова (1988), В.Т. Трифонова (1999), В.С. Буртмана и С.Г. Самыгина (2001) и многих других.

Формирование Афганского региона как фрагмента области коллизии Индостана и Евразии началось около 40–50 млн лет назад, в эоцене, в связи с замыканием океана Тетис. Сближение Индостанской и Евразийской литосферных плит в новейшее время вызвало поперечное укорочение и изгиб тектонических зон в области их сближения с формированием структурной петли Памиро-Пенджабского синтаксиса и образованием складок, покровов и надвигов. Дальнейшее меридиональное сжатие привело к срыву пород чехла с фундамента, их расчлениванию и усложнению ранее образованных структур, формированию крупных рельефообразующих складок основания, сопровождавшихся проявлениями изостатической и гравитационной тектони-

ки, а также к наращиванию к северу сдвиговых зон в краевых участках синтаксиса. Движение по наиболее протяженному Чаманскому разлому системы левых сдвигов западного фланга началось еще в миоцене, а скорость плейстоценовых и голоценовых смещений составляет около 10–15 мм/год (рис. 1) (Трифонов, 1999).

Тектонические формы, возникшие в условиях сжатия, растяжения и сдвига, различаются по ориентировке, структурному положению и морфологии. Однако 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). Анализ новейших структурных форм проводился с помощью специального структурно-геоморфологического метода, в значительной степени разработанного Н.П. Костенко (1979) и позволяющего дать характеристику развития деформаций за конэрозионный этап. Образование хребтов-поднятий и впадин происходит одновременно с общей денудацией и линейным расчленением. Такие структурные формы являются наиболее молодыми и характерны для рельефа, сформировавшегося на позд-

неорогенном этапе развития. Для того чтобы оценить современную активность новейших структур, структурно-геоморфологические данные дополнены анализом пространственно-временного распределения сейсмичности региона.

Структурно-геоморфологический анализ

Для исследования сложного Гиндукушского горного сооружения и сопряженной с ним Афганской межгорной впадины была построена структурно-геоморфологическая схема Афганского региона (рис. 1), а также проведен анализ вертикального расчленения рельефа с помощью комплексных геолого-геоморфологических профилей (Брянцева, Костенко, 1999). Исходным материалом для составления структурно-геоморфологических схем послужили топографические карты масштаба 1:2 500 000 и 1:100 000. В пределах исследуемого региона можно выделить Гиндукушские системы поднятий (I, II, III), Кабульскую впадину (IV), Афганскую межгорную впадину (V) и горное сооружение Сулейман-Киртара (VI).

Гиндукушские системы поднятий подразделяются на Северо-западную горную систему, представленную Сафедкохским горным сооружением (рис. 1, I), Центральную (рис. 1, II), представленную горным сооружением Банди-Байя, включающим хребты-поднятия: Фарахрудский (рис. 1, II₁), Гильмендский (рис. 1, II₂), Тарнакский (рис. 1, II₃), и Юго-восточную (рис. 1, III). Согласные разломы, хорошо выраженные в рельефе, определяют границы Северо-западной, Центральной и Юго-восточной горных систем.

В направлении с северо-востока на юго-запад существенно изменяется их строение, при этом на границе с Памиром поднятия Гиндукуша достигают максимальных высот более 4 км, а горные впадины в его строении практически отсутствуют. Это связано, по-видимому, с тем, что в процессе орогенеза Гиндукуш и сопредельные горные сооружения испытывали сильное давление с юга на север.

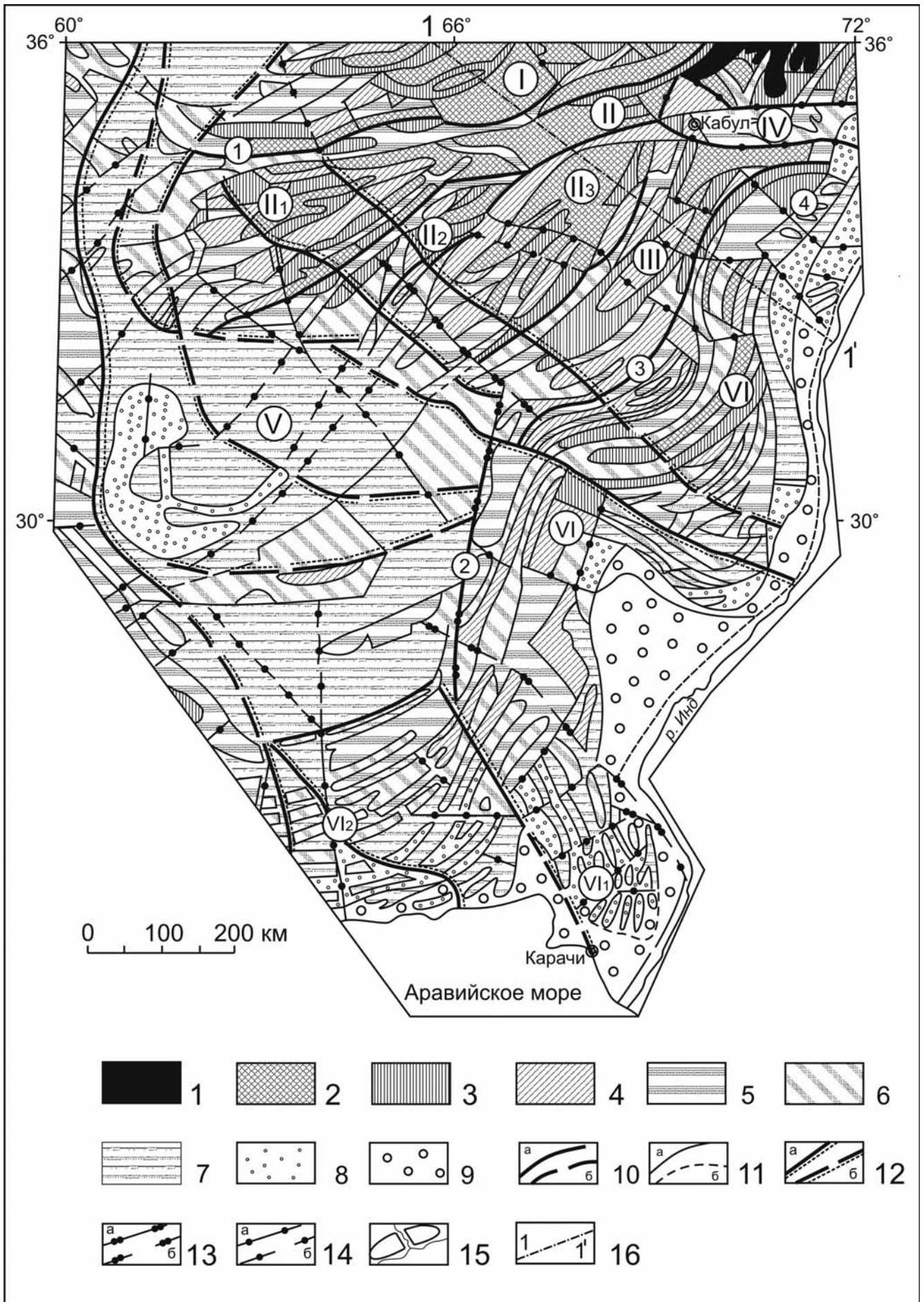
Примерно на широте Кабульской впадины (рис. 1, IV) горное сооружение расширяется, высоты уменьшаются и возникают узкие горные впадины, подразделяющие эти горные сооружения. Гиндукушская система поднятий в поперечном сечении представляет собой свод, в который вписываются вершины всех горных сооружений, что

хорошо видно на поперечном геолого-геоморфологическом профиле (рис. 2). Впадины, их разделяющие, представлены здесь узкими и глубокими ущельями, т.е. преимущественно угнетенными формами, часто развивающимися по разломам. Почти для всех впадин типично общее значительное сужение. Оно происходило в два этапа, что нашло свое отражение в рельефе в виде двучленного строения склонов долин, в которых выделяется древний (верхний) плоскодонный обширный врез и нижний ущелистый. По мере продвижения на юго-запад наблюдается снижение горного сооружения, изменяются очертания общего поднятия — впадины расширяются, в большинстве из них выделяется от двух до трех врезов, соответствующих эрозионным циклам сокращения впадины, а хребты-поднятия испытывают виргации, которые представляют в рельефе отроги. Резкое общее снижение хребтов-поднятий до высоты 2 км позволяет предположительно определить современную границу Гиндукушской системы поднятий и Афганской межгорной впадины (рис. 1, V).

Наиболее северные районы Гиндукуша представлены Сафедкохским горным сооружением (рис. 1, I), сформированным на окраине Туранской плиты. В его строении выделяются доюрское складчатое основание и пологолежащий юрско-палеогеновый осадочный чехол (Геология..., 1981). Данное горное сооружение в новейшее время испытало серьезную перестройку, проявившуюся как в складчатых деформациях, так и в вертикальных подвижках. В продольном сечении это поднятие характеризуется поверхностью, расположенной на высотах около 3,5 км. Дискретное погружение отмечается в зоне Герирудского разлома (рис. 1, I), активизированного в настоящее время. Этот разлом отделяет Северо-западную горную систему Гиндукуша от Центральной. Он хорошо выражен в рельефе и представляет собой позднеальпийский правый сдвиг (Оден, 1977; Трифионов, 1983).

Южнее Герирудского разлома располагается горное сооружение Банди-Байя, состоящее из Фарахрудского (рис. 1, II₁) и Гильмендского (рис. 1, II₂) хребтов-поднятий. Крупные продольные разрывные нарушения представлены в основном взбросами, надвигами, иногда сдвигами (Сборщиков, 1988). Простирающиеся хребты осложняются серией секущих разломов, которые проходят на участках их дискретного погружения. Необходимо отметить, что эти

Рис. 1. Структурно-геоморфологическая схема Афганского региона. Суммарные поднятия за конэрозионный этап развития, в километрах: 1—9: 1—4 и более; 2—3—4; 3—2,5—3; 4—2,0—2,5; 5—1,5—2,0; 6—1,0—1,5; 7—0,5—1,0; 8—0,2—0,5; 9—менее 0,2. Структурные формы, развивающиеся в рельефе: 10—границы мегаблоков: а—достоверные, б—предполагаемые; 11—границы блоков: а—достоверные, б—предполагаемые; 12—14—разрывы со смещением, зоны значительной трещиноватости и дробления пород (а—достоверные, б—предполагаемые); 12—трансорогенные, 13—региональные, 14—локальные; 15, 16—специальные знаки: 15—преимущественно сквозные долины и долинообразные понижения, приуроченные к зонам трещиноватости и разработанные реками, 16—линия профиля. Римскими цифрами обозначены: I—III—Гиндукушские системы поднятий: I—Северо-западная (Сафедкохское горное сооружение); II—Центральная: горное сооружение Банди-Байя (хребты-поднятия: II₁—Фарахрудский, II₂—Гильмендский, II₃—Тарнакский); III—Юго-восточная; IV—Кабульская впадина; V—Афганская межгорная впадина; VI—горное сооружение Сулейман-Киртара (VI₁—Карачинские хребты-поднятия, VI₂—Мекранские хребты-поднятия). Арабскими цифрами на карте обозначены разломы: 1—Герирудский; 2—Чаманский; 3—Орначальский; 4—Кингри



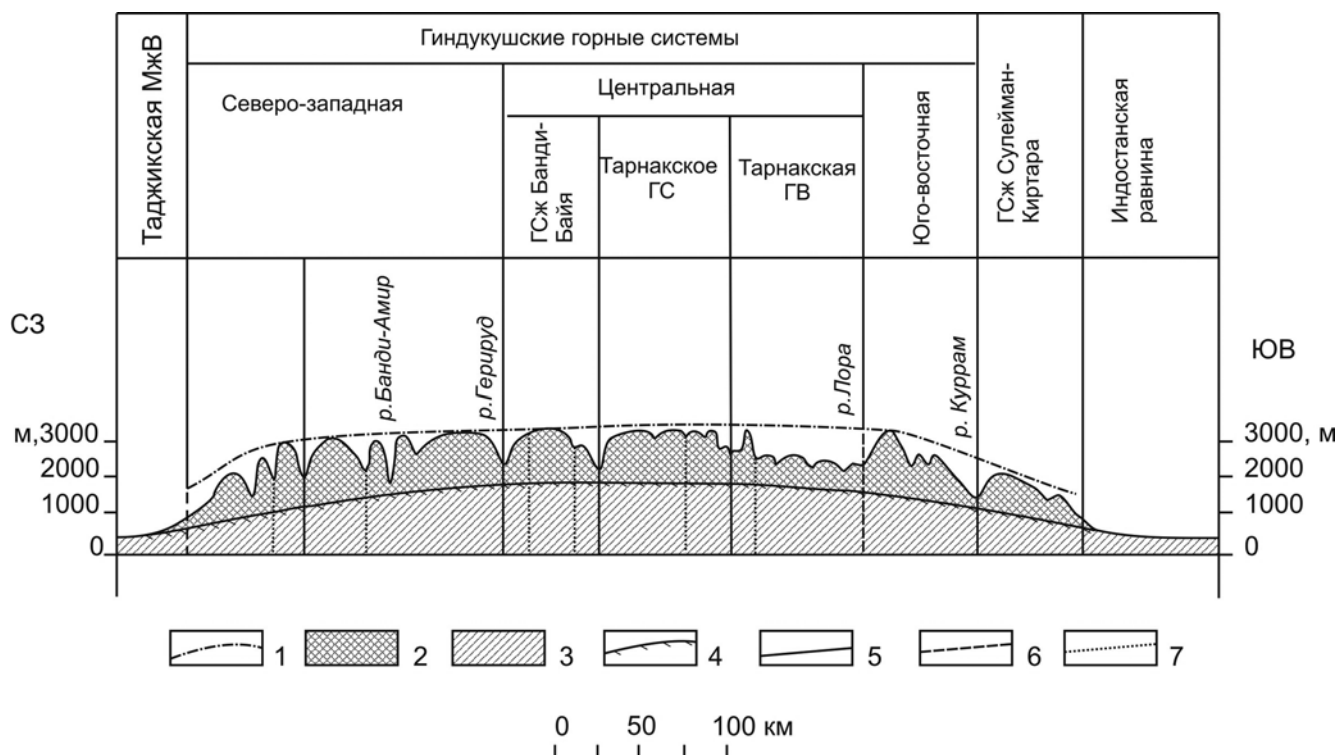


Рис. 2. Геоморфологический профиль 1-1¹ через горное сооружение Гиндукуш: 1 – обобщенная поверхность поднятий горного сооружения; 2 – горный массив, расчлененный горными реками; 3 – горный массив, не затронутый процессами денудации; 4 – линия главных базисов эрозии; 5–7 – границы мегаблоков (а) и блоков (б) (разрывы?); 5 – установленные геологическими и геоморфологическими данными, 6 – установленные геоморфологическими данными, 7 – установленные геологическими данными, но не выраженные в рельефе. Сокращения, принятые на профиле: ГСж – горное сооружение, ГС – горная система, ГВ – горная впадина, МжВ – межгорная впадина

разрывные нарушения устанавливаются впервые структурно-геоморфологическим методом. Наиболее северный разлом отделяет высочайшие вершины Гиндукуша (5 км и выше) от высокогорных хребтов с отметками ниже 5 км.

Тарнакское горное сооружение (рис. 1, П₃) на границе с Афганской межгорной впадиной очень резко погружается по разрыву, установленному по геоморфологическим данным. На востоке оно граничит с Юго-восточным Гиндукушем по Чаманскому разлому. Южнее этот разлом на большом протяжении в рельефе прослеживается нечетко. По данным В.Г. Трифонова (1983) и М.Л. Коппа (1994 и др.), это левый сдвиг.

Кабульская впадина (рис. 1, IV) ограничена примерно одновысотными хребтами и представляет собой в новейшей орогенной структуре сложно построенный грабен с тремя этапами сокращения.

В **Юго-восточной Гиндукушской горной системе** (рис. 1, III), включающей ряд хребтов-поднятий, также наблюдается несколько дискретных погружений хребтов от района максимальных поднятий в обрамлении Кабульской грабенообразной впадины к югу.

Афганская межгорная впадина (рис. 1, V) занимает значительную часть Сейстанской впадины и на большинстве карт изображена как обширная нерасчлененная или слаборасчлененная пустыня.

При структурно-геоморфологическом анализе данной территории по карте масштаба 1:1 000 000 по ряду косвенных признаков выделены системы зарождающихся поднятий, ранее неизвестных (рис. 3). Возможно, они являются структурным продолжением отрогов Гиндукушской системы поднятий. Афганская впадина выполнена молассовой толщей неоген-четвертичного возраста общей мощностью 1–3 км. Однако, по-видимому, к современной эпохе межгорная впадина как область общего прогибания испытала дробление и отмирание.

Горное сооружение Гиндукуша в пределах восточного склона Афганской межгорной впадины представлено системой хребтов, испытывающих дискретное погружение и веерообразное расхождение к югу и юго-западу, и непосредственно отражает орогенную структуру в рельефе. Так, с севера на юг, примерно на меридиане 61° в.д., испытывает быстрое погружение Софедкохское горное сооружение (рис. 3, I). Высота хребтов-поднятий достигает 1,5 км, и они отделяются впадинами с многочисленными пересыхающими водотоками, лежащими на высоте преимущественно 700–900 м. Главной речной артерией является р. Герируд, которая при выходе из гор прорезает горные сооружения. К югу от р. Герируд на широте городов Гуриам и Герат субширотные системы хребтов резко изменяют свое простираие на юго-западное. Южнее всю Афганскую впадину пересекают погружающиеся отроги

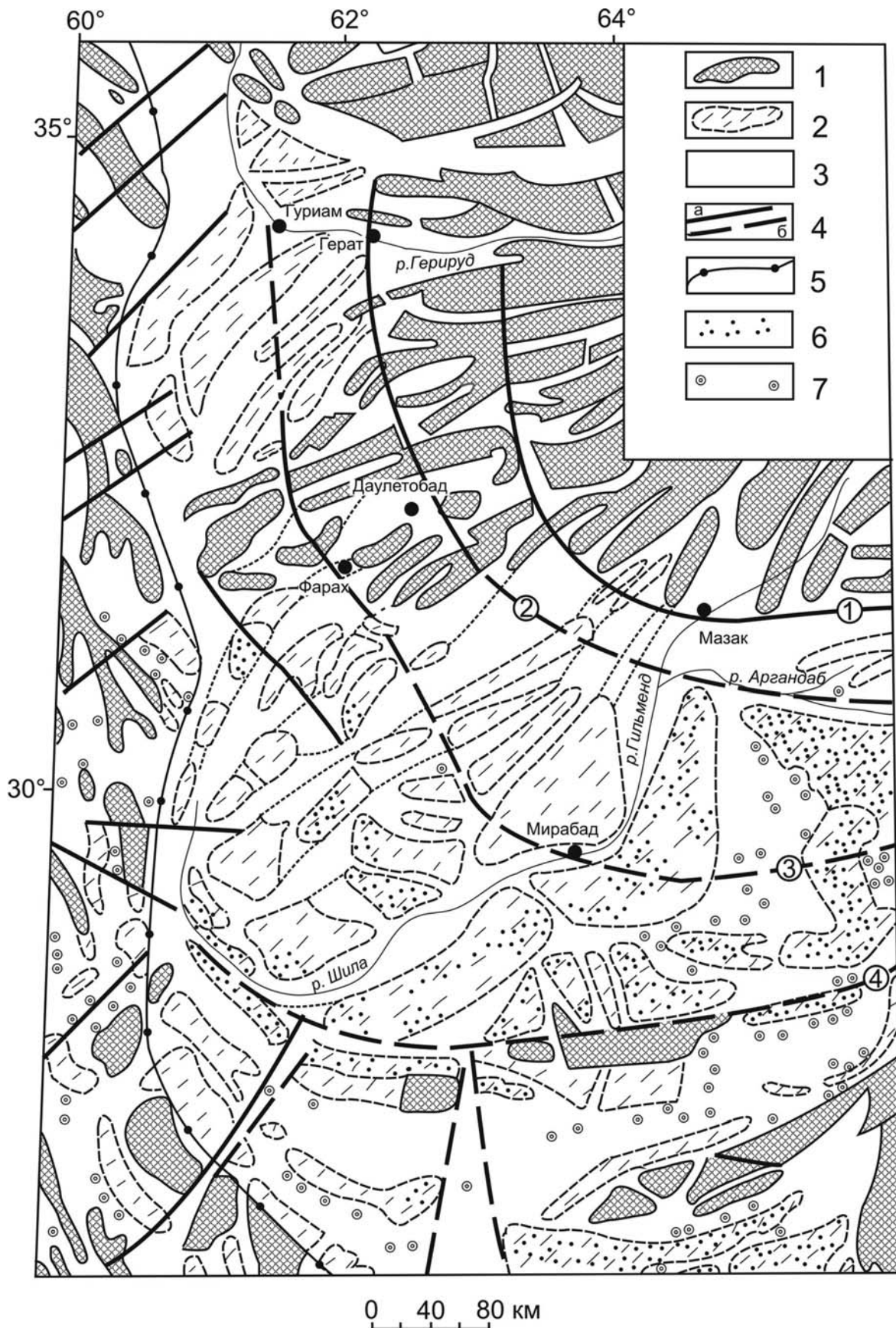


Рис. 3. Структурно-геоморфологическая схема Афганской межгорной впадины: 1 – поднятия; 2 – внутридепрессийные поднятия, выделенные по комплексу косвенных признаков; 3 – впадины и долинообразные понижения; 4 – разломы: а – достоверные, б – предполагаемые; 5 – зона Оманского линеймента; 6 – локальные скопления песков в межгорной впадине; 7 – колодцы, выходы грунтовых вод. Цифрами на схеме обозначены предполагаемые разломы (названия условные): 1 – Мазакский, 2 – Герат-Кандагарский, 3 – Мирабадский, 4 – Шилейский

горной системы Банди-Байя (рис. 3, II). Севернее и южнее этих отрогов могут быть выделены только зарождающиеся поднятия. Изменение высоты хребтов и начало значительного их ветвления приурочено к системам четырех разломов. Они выделены по геоморфологическим данным и отражают стадии развития растущего поднятия. Косвенными признаками, позволившими наметить эти разломы, являлись кулисообразные сочленения зарождающихся поднятий, дискретное изменение простирания древних и современных речных долин, наличие родников и колодцев с пресной водой, характер, распространение и изменение строения песчаных массивов.

Первый разлом, Мазакский (рис. 3, 1), отчетливо прослеживается от долины р. Герируд и далее по сквозным долинам, пересекающим всю систему горных хребтов Банди-Байя вплоть до р. Гильменд и селения Мазак. Второй разлом — Герат-Кандагарский (рис. 3, 2) — протягивается к северу от р. Герат через одноименный город, пересекает всю систему Банди-Байя, проходит у г. Даулетабад и далее на юге следует вдоль долины р. Аргандаб в районе г. Кандагар. Третий разлом, Мирабадский (рис. 3, 3), менее отчетливо выражен и устанавливается по значительным изменениям простираний отрогов хребтов Банди-Байя. Он намечается по сквозным долинам, следует с севера на юг от района г. Гуриан на юго-юго-восток через г. Фарах, южнее которого он пересекает долину р. Гильменд в районе ее субширотного отрезка у г. Мирабад. На севере эта предполагаемая зона разлома сечет юго-западные отроги Банди-Байя в районе их снижения и ветвления. Этот разлом определяет изменение простирания зарождающихся поднятий. От долины р. Гильменд к востоку он везде маркируется пресными колодцами и родниками. Четвертый разлом, Шилейский (рис. 3, 4), прослеживается вдоль северо-восточного склона зоны Иранских разломов по долине р. Шиле. Он маркируется большим количеством плейстоценовых и более древних вулканов.

Западной границей Афганской межгорной впадины служит Оманский линеамент. К западу от него все структуры меняют свое простирание с юго-западного во впадине на северо-западное (рис. 3).

Горное сооружение Сулейман-Киртара отличается контрастным рельефом. С востока и юга гиндукушские системы поднятий обрамляются широкой зоной складчато-блоковых деформаций, образующих это горное сооружение (рис. 1, VI), Орначальский разлом (рис. 1, 3) отделяет юго-восточный Гиндукуш от горного сооружения Сулейман-Киртара. Юго-западнее он наблюдается фрагментарно. По мнению М.Л. Коппа (1994), это левый сдвиг.

Южнее Кабульской впадины горное сооружение Сулейман-Киртара имеет субмеридиональное простирание и выдержанную ширину. Затем это горное сооружение в плане образует большой выступ с выпуклостью, обращенной на юго-восток, который сменяется резко выраженным сужением

и изгибом с выпуклостью, обращенной на северо-восток. М.Л. Копп (1997) считает, что такой структурный рисунок простирания хребтов Сулейман-Киртарского региона может быть в значительной степени обусловлен повторением очертаний литосферной плиты Индостана при ее перемещении в северном направлении. Отложения, слагающие Сулейман-Киртарское поднятие, представлены в основном терригенно-карбонатными породами общей мощностью 5–9 км (Хаин, 1984). На отдельных участках отмечается система многочисленных чешуйчатых надвигов, которые слабо выражены в рельефе.

На юге горное сооружение подразделяется на две ветви: восточную — Карачинскую (рис. 1, VI₁), следующую до широты г. Карачи, и западную, огибающую с юга межгорную Афганскую впадину. Оно имеет значительное протяжение, субширотное простирание и выделяется под наименованием Мекранского (рис. 1, VI₂). Хребет Мекран сложен известняками нижнего миоцена, которые согласно перекрываются аккреционными призмами, образованными в результате субдукции дна океана под окраину Евразии. Все горное сооружение и обе его вышеуказанные ветви разбиты системами согласных и секущих разрывов. Последние повсеместно ориентированы вкрест простирания хребтов. Вышеупомянутые резкие изменения очертаний горного сооружения в плане и системы разрывов свидетельствуют о том, что в ходе орогенеза его развитие не только подчинилось конфигурации обрамляющей с востока плиты, но оно испытывало неравномерное давление со стороны последней в северном и северо-западном направлениях.

Разлом Кингри (рис. 1, 4) ограничивает горное сооружение Сулейман-Киртара с востока и на данном участке хорошо выражен в рельефе, а к северу не отражается в строении орогенных структурных форм.

Таким образом, для рассматриваемой территории характерны ярко выраженное субмеридиональное сжатие в северной части Гиндукуша, значительное его сокращение при увеличении высоты новейших сооружений в этом регионе, которое уменьшается в юго-западном направлении.

Детальный анализ современного рельефа структурно-геоморфологическим методом позволил выявить наличие дискретных погружений положительных структурных форм по системам региональных секущих разрывов, а также показал наличие сводово-блоковых структур и их виргацию. Межгорная Афганская впадина на новейшем этапе развития испытала значительное сокращение, ее периферические части сформировали в рельефе предгорья, а центральные — подразделены внутридепрессионными поднятиями на ряд частных впадин.

Разломы по отношению к очертаниям орогенных поднятий представляют две системы: согласные и секущие. Среди согласных в орогенной структуре ярко выражен Герирудский разлом. Многочислен-

ные локальные разрывы, секущие хребты-поднятия, определяют морфологию отдельных глыбовых хребтов-поднятий.

Пространственно-временной анализ сейсмичности

По степени интенсивности тектонических преобразований область Индо-Евразийской коллизии на современном этапе представляет собой, по сути, район, где проявление сейсмогеодинамических процессов является существенной компонентой общего развития континента в целом. По данным мирового каталога USGS, только на территории Афганского региона за период с 1973 по 2016 г. зарегистрировано 1292 сейсмических события с $M \geq 4,3$ в диапазоне глубин до 360 км (Каталог USGS). Большинство очагов землетрясений концентрируется на уровне верхней коры до глубин около 35 км. Гипоцентры более глубоких нижнекоровых и мантийных событий сконцентрированы на северо-вос-

токе Афганского региона, в пределах юго-западной части Памиро-Гиндукушской сейсмофокальной зоны. Для выявления пространственного распределения землетрясений на территории Афганского региона построена карта плотности их эпицентров с $M \geq 4,3$ за период с 1973 по 2016 г., на которую отдельными значками нанесены эпицентры сильных землетрясений с магнитудой от 6, произошедшие в рассматриваемом периоде (рис. 4). Область высокой плотности эпицентров мантийных событий показана пунктирной линией в северо-восточной части карты.

На рассматриваемой территории отчетливо обозначились три наиболее сейсмоактивных района с плотностью более 30 событий в области максимального сгущения. Первый расположен в пределах Гиндукушских систем поднятий и характеризуется не только высокой плотностью событий, но и наличием мантийной сейсмичности; второй, наиболее активный, обозначился в северо-восточной части горного сооружения Сулейман-Киртара (рис. 1); третий соответствует Мекранскому хребту-подня-

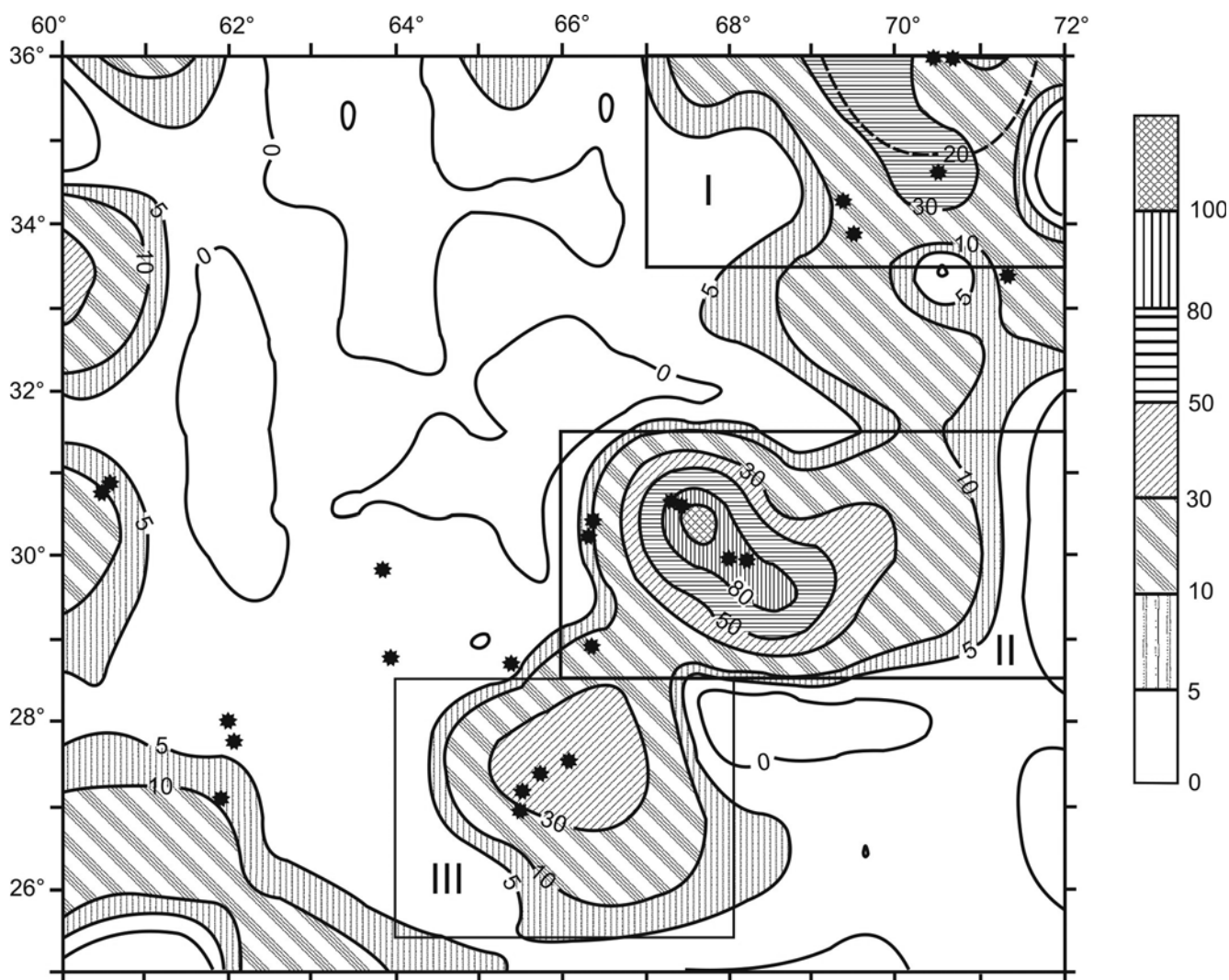


Рис. 4. Карта плотности эпицентров землетрясений Афганского региона. Минимальная магнитуда выборки M_{min} от 4,3, временной интервал с 1973 по 2016 г., глубины гипоцентров до 70 км. Вертикальная шкала отражает изменение плотности сейсмических событий, пунктирной линией показан участок Памиро-Гиндукушской сейсмофокальной зоны с плотностью эпицентров более 20 событий и с глубинами очагов от 70 до 340 км. Звездочками обозначены эпицентры сильных землетрясений с M_{min} от 6. I–III – районы Афганского региона с высокой плотностью эпицентров землетрясений

тию. Значительное число сильных землетрясений региона тяготеет к центральным частям этих районов, но вместе с тем сильные землетрясения случаются и в пределах Афганской депрессии на фоне сравнительно слабой активности событий средней силы. Их наличие, по-видимому, является свидетельством продолжающегося увеличения площади, подверженной деформационным процессам на западном фланге коллизионной области.

Анализ распределения сейсмичности региона по глубине показал, что гипоцентры большинства землетрясений (1016 событий) расположены в пределах верхней части коры до глубин в 35 км. В области сближения Индостана и Евразии мощность коры достигает 65–70 км, а граница Конрада находится на глубине около 35 км (Трифонов, 1999), поэтому гипоцентры землетрясений, в соответствии с данными каталога USGS, принадлежат, главным образом, верхнекоровому слою. Нижнекоровые землетрясения в диапазоне глубин от 35 до 70 км насчитывают 118 событий, а мантийные на глубинах от 70 до 340 км – 158.

Особенности временного хода землетрясений для Афганского региона в целом, для трех районов

с максимальной плотностью эпицентров, а также для уровней верхней и нижней коры и сейсмоактивных верхов мантии выявлены путем построения временных рядов количества землетрясений с магнитудой от 4,3 (Архипова, 2007). Временные ряды представляют собой годовые суммы числа землетрясений со скользящим осреднением по пяти годам и сдвигом в один год. Графики, построенные на основе полученных временных рядов, отражают долговременные тенденции изменения сейсмичности Афганского региона в целом, отдельных наиболее сейсмоактивных районов, а также глубинных уровней до 35 км, от 35 до 70 и свыше 70 км (рис. 5–7).

Основной вклад в общую картину сейсмичности Афганского региона вносит район II, расположенный в северо-восточной части горного сооружения Сулейман-Киртара, а по вертикали – уровень верхней коры с глубинами до 35 км. Анализ временных рядов, построенных для региона в целом, а также для уровня и района с максимальной активностью, позволяет говорить об активизации Афганского региона во второй половине 1990-х гг. и во второй половине 2000-х гг. (рис. 5, 6). Про-

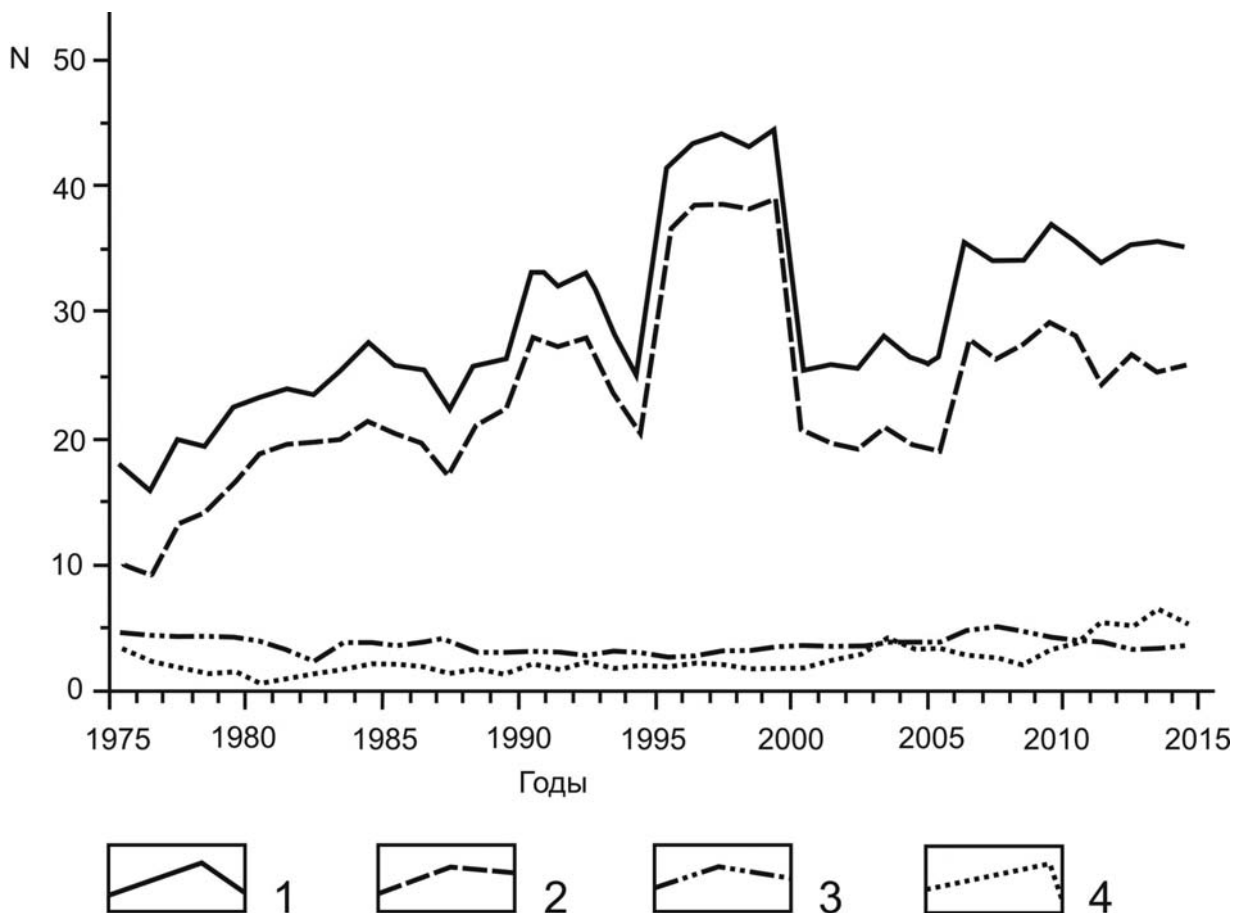


Рис. 5. Изменение годового количества землетрясений Афганского региона со скользящим осреднением по пяти годам и сдвигом в один год. M_{\min} от 4,3, временной интервал с 1973 по 2016 г., N – среднегодовое количество землетрясений Афганского региона со скользящим осреднением по пяти годам, h (км) – глубина гипоцентров. 1 – выборка включает все землетрясения Афганского региона ($h > 0$); 2 – выборка включает события с глубиной гипоцентров до 35 км ($h \leq 35$); 3 – выборка включает события с глубиной гипоцентров от 35 до 70 км ($35 < h \leq 70$); 4 – выборка включает события с глубиной гипоцентров более 70 км ($h > 70$)

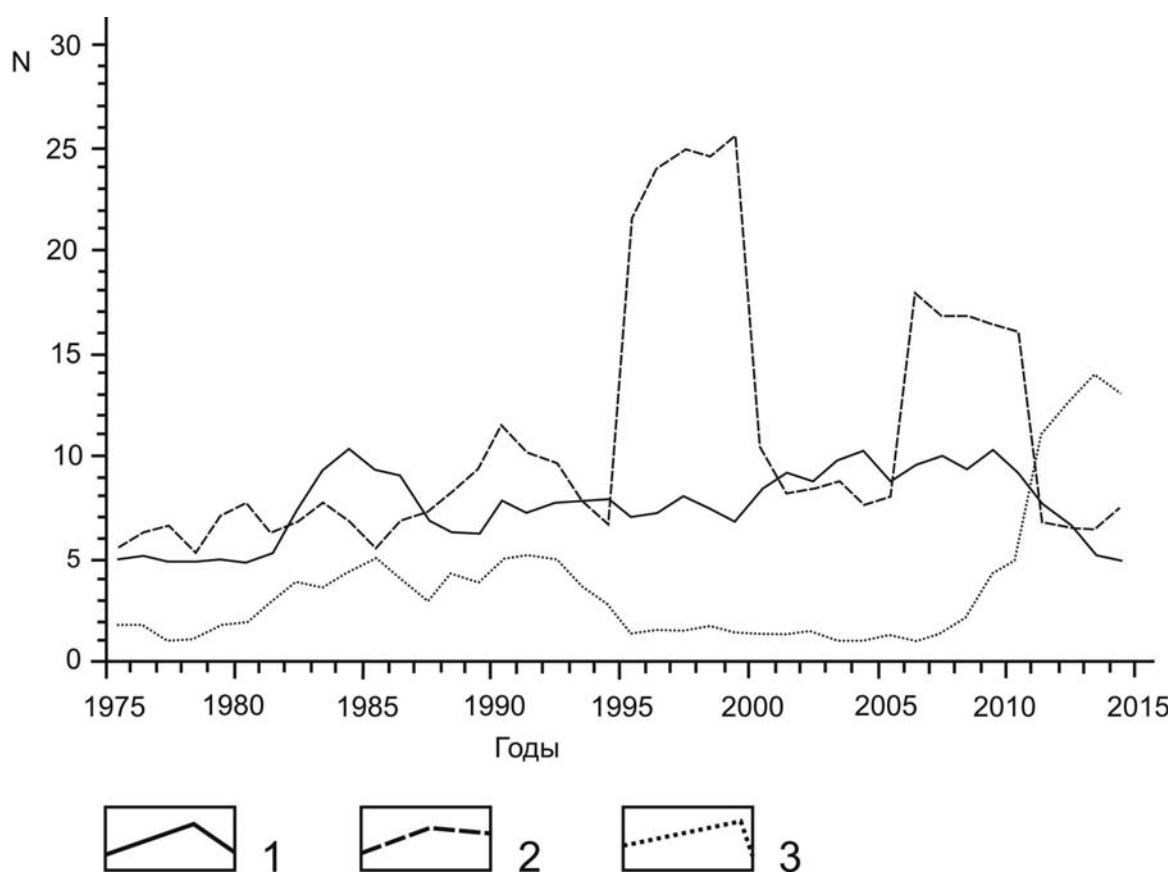


Рис. 6. Изменение годового количества землетрясений отдельных районов Афганского региона с высокой плотностью эпицентров землетрясений со скользящим осреднением по пяти годам и сдвигом в один год. M_{\min} от 4,3, временной интервал с 1973 по 2016 г. 1–3 – районы Афганского региона с высокой плотностью эпицентров землетрясений соответственно I–III; N – среднегодовое количество землетрясений в районах I–III со скользящим осреднением по пяти годам

должительность периодов активизации составляет около пяти лет. Анализ временного хода сейсмичности региона в целом показал некоторое увеличение активности к концу рассматриваемого периода, что обеспечивается активизацией в районе III, соответствующем Мекранскому хребту-поднятию, и на промежуточном уровне локализации гипоцентров с 35 до 70 км, отвечающем нижнекоровому слою (рис. 6, 7). Корреляционный анализ, выполненный для временных рядов различных районов и различных уровней глубины, не показал значимой корреляции, лишь только для относительно слабоактивных уровней нижней коры и верхней мантии наметилась противофазная тенденция временных вариаций числа землетрясений (рис. 7).

Высокая сейсмичность Афганского региона является свидетельством повышенной современной активности геодинамических процессов в его пределах. Пространственно-временная локализация землетрясений указывает на рост интенсивности этих процессов в трех районах на различных уровнях глубины в течение определенных интервалов времени.

Анализ пространственного распределения событий с $M \geq 4,3$ указывает на приуроченность участков высокой концентрации эпицентров к трем районам. Степень активности землетрясений в этих районах неодинакова и по латерали, и по вертикали.

Наиболее высокая активность наблюдается в районе II, расположенном на севере горного сооружения Сулейман-Киртара ($N = 459$), несколько менее активен район I в пределах системы Гиндукушских поднятий ($N = 322$), минимально активен участок III в районе Карачинских хребтов поднятий ($N = 170$) (рис. 1, 4). Очаги землетрясений в этих районах приурочены, главным образом, к верхней части коры до глубины 35 км, глубокие мантийные землетрясения Памиро-Гиндукушской сейсмофокальной зоны наблюдаются только в пределах района I.

Сильные землетрясения с $M \geq 6$ распределены по районам относительно равномерно. В районе I их распределение носит рассеянный характер, в районах II и III большая часть приурочена к центральной области. Значительное число сильных землетрясений сосредоточено в юго-восточной части Афганской депрессии, где пока не фиксируется увеличение активности событий средней силы с $M \geq 4,3$, три из них тяготеют к оси Чаманского разлома (рис. 1).

Временной ход сейсмичности районов не обнаруживает системного единства. В районе I сейсмические события распределены во времени относительно равномерно с колебаниями в среднем от 5 до 7 событий в год с тенденцией к снижению их общего количества к концу рассматриваемого

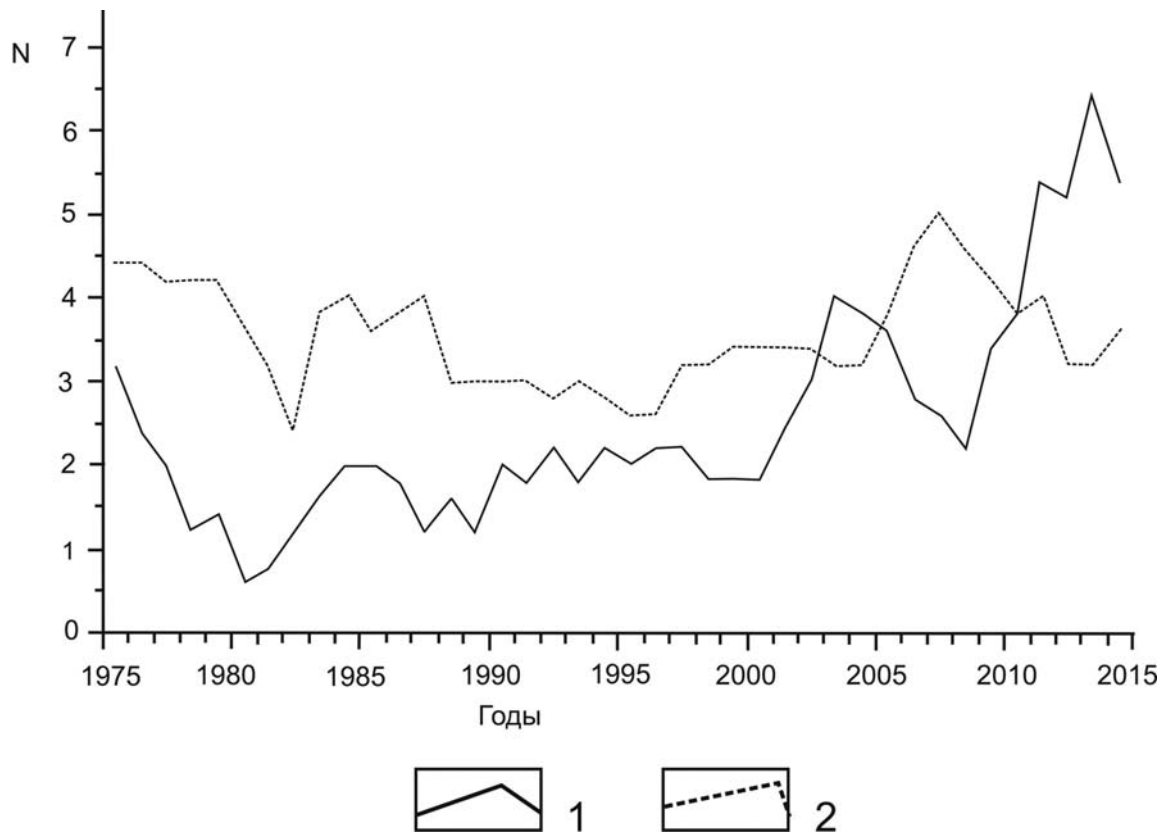


Рис. 7. Изменение годового количества землетрясений Афганского региона с глубиной гипоцентров на уровнях от 35 до 70 и более 70 км. M_{\min} от 4,3, временной интервал с 1973 по 2016 г., N – среднегодовое количество землетрясений со скользящим осреднением по пяти годам и сдвигом в один год, h (км) – глубина гипоцентров: 1 – изменение годового количества землетрясений с глубиной гипоцентров от 35 до 70 км ($35 < h \leq 70$); 2 – изменение годового количества землетрясений с глубиной гипоцентров более 70 км ($h > 70$)

периода. В районе II события происходили во времени резко неравномерно с двумя пиками активности в конце 1990-х и конце 2000-х гг. В районе III рост активности наблюдается с начала 2010-х гг. (рис. 6).

Для долговременных вариаций активности землетрясений в Афганском регионе на разных уровнях глубины общих закономерностей не выявлено, поэтому можно предположить, что сейсмогеодинамические процессы в каждом из районов носят относительно автономный характер и связаны с различной функцией этих районов в процессе перераспределения вещества коллизионной области (рис. 5, 7). В таком контексте дальнейшее исследование временного хода сейсмичности коллизионной области можно дополнить сопоставлением временного хода сейсмичности районов западного фланга с районами восточного фланга, расположенными на равном удалении от зоны максимального сжатия.

Заключение

Сопоставление структурно-геоморфологических особенностей территории Афганского региона и пространственно-временного распределения сейсмичности показывает, что развитие левого фланга

области коллизии Индостана и Евразии на разных участках протекает в значительной степени обособленно и во многом зависит от характера и степени деформаций в зоне максимального сжатия и на разном удалении от нее.

Область распространения мантийных землетрясений, расположенная на северо-востоке Афганского региона, является фрагментом Памиро-Гиндукушской сейсмической зоны и совпадает с зоной максимально высоких скоростей новейшего поднятия, которое обусловлено, по-видимому, длительной и глубокой тектонической переработкой вещества коры с образованием складок основания и чешуйчатых надвигов во фронте коллизионной области.

Максимальная сейсмическая активность в северной части горного сооружения Сулейман-Киртара говорит о высокой степени сеймотектонической активизации сдвиговых зон на западном фланге области коллизии Индостана и Евразии. За счет развития системы левых сдвигов обеспечивается отток вещества из зоны максимального сжатия, который доминирует в условиях недостатка пространства и практически исчерпанных возможностей по надвиганию и скупиванию горных масс. Высокая сейсмическая активизация коры на фоне неоднородной и менее высокой скорости новейших

поднятий объясняется, скорее всего, меньшей по сравнению с надвигами рельефообразующей значимостью сдвиговых зон.

Появление системы зарождающихся поднятий и наличие рассеянных сильных землетрясений в юго-

восточной части Афганской депрессии, вероятно, свидетельствуют о начале перестройки структурно-геоморфологического плана западного фланга коллизионной области с разрастанием деформаций в юго-западном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

Архипова Е.В. Метод сравнительного анализа долговременных вариаций сейсмичности как инструмент для выявления режима и характера современных геодинамических процессов // *Фундаментальные проблемы геотектоники. Мат-лы XL Тектонического совещания. Т. 1.* М.: ГЕОС, 2007. С. 29–31.

Брянцева Г.В., Костенко Н.П. Особенности позднеорогенной структуры Афганской межгорной впадины // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол.* 1999. № 1. С. 65–67.

Буртман В.С., Самыгин С.Г. Тектоническая эволюция высокой Азии в палеозое и мезозое // *Геотектоника.* 2001. № 4. С. 34–54.

Гансер А. Гималаи // *Мезо-кайнозойские складчатые пояса. Т. 1. Альпийско-Гималайские складчатые области / Ред. А. Спенсер.* М.: Мир, 1977. С. 326–339.

Геология и полезные ископаемые Афганистана. Кн.1 / Ред. В.И. Дронов. М.: Недра, 1981. 536 с.

Каталог Геологической службы США // URL: <http://earthquake.usgs.gov>

Копп М.Л. Поперечные перемещения в складчатых поясах и связанные с ними структурные рисунки (на примере Альпийско-Гималайского пояса) // *Геотектоника.* 1994. № 4. С. 35–51.

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 рельефа горных стран. М.: Недра, 1979. 367 с.

Оден Дж.Б. Афганистан-Пакистан // *Мезо-кайнозойские складчатые пояса. Т. 1. Альпийско-Гималайские складчатые области / Ред. А. Спенсер.* М.: Мир, 1977. С. 290–312.

Сборщиков И.М. Тектоническая эволюция восточной части океана Тетис. М.: Наука, 1988. 204 с.

Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез // *Тр. Геол. ин-та АН СССР. Вып. 361.* М.: Наука, 1983. 224 с.

Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии // *Тр. Геол. ин-та РАН. Вып. 514.* М.: Научный мир, 1999. 252 с.

Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344 с.

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».