

ИЗОСТАЗИЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ПЬЕНИНСКОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА

Наиболее опасной сейсмоактивной зоной западных областей Украины является Закарпатье, на территории которого расположена часть Пьенинского глубинного разлома. Он начинается в районе Вены (Австрия), простирается вдоль Западных Карпат по территории ЧССР, продолжается вдоль Восточных Карпат в СССР и затем на границе УССР и СРР уходит под Марморрошский массив.

Весь Пьенинский разлом проявляется на поверхности узкой зоной утесов, порой изолированных и разобщенных [5]. Вдоль зоны утесов сочленяются блоки, отличающиеся по своему тектоническому развитию и процессам складкообразования [2, 6]. Пьенинская утесовая зона разделяет горную систему Карпат на внешнюю и внутреннюю, которым свойственны разные типы осадконакопления [9]. К разлому вдоль линии соприкосновения с Выгорлат-Гутинской грядой в Закарпатье приурочен также многофазовый вулканизм [3]. То, что Пьенинская зона утесов является глубинным разломом, подтверждается данными глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ): зону пересекают международные профили ГСЗ III, V, VI [12].

С Пьенинским глубинным разломом связаны самые сильные землетрясения Закарпатья, что заставляет с особым вниманием относиться к изучению сейсмичности этой территории. Учитывая, что зона разлома пересекает различные по своему геологическому строению, тектонике и динамике блоки коры, необходимо также изучение и физических полей Пьенинского разлома с целью установления их закономерностей и возможной корреляции с проявлениями сейсмичности. Это поможет сделать более углубленные выводы относительно внутренних процессов, приводящих к современному сейсмическому режиму этой зоны.

Проявление сейсмичности — результат освобождения внутренних напряжений, накопившихся в коре и мантии Земли. Причины роста этих напряжений — вопрос и поныне дискуссионный, но не вызывает сомнения тот факт, что накопление их связано с процессами, протекающими в недрах Земли, которые могут вызывать перераспределение масс, что приводит к нарушению изостатического равновесия земной коры. А неизбежное стремление последней к равновесию приводит к накоплению напряжений. В восточной части Пьенинского глубинного разлома, по данным ГСЗ, наблюдается значительный скачок мощности земной коры: по одну сторону разлома под Складчатыми Карпатами граница Мохорoviчича расположена на глубине 55 км, а по другую, под Закарпатьем, — на глубине 25...30 км [12]. Такой перепад мощности коры тоже не может не вызвать напряженного ее состояния. А поскольку это явление — явное нарушение изостатического равно-

весия, то следует ожидать прямой корреляции между проявлениями сейсмичности и нарушениями изостатического равновесия.

Целью настоящей статьи и является сопоставление сейсмических данных на территории Пьенинского разлома с характеристиками изостатического состояния этой зоны. В качестве последних были вычислены изостатические аномалии силы тяжести в редукции Эри с параметрами $T_0=30$ км, $\delta_K=2,67$ г/см³, $\delta_M=3,27$ г/см³, которые в среднем хорошо представляют реальное распределение плотностей изучаемой территории.

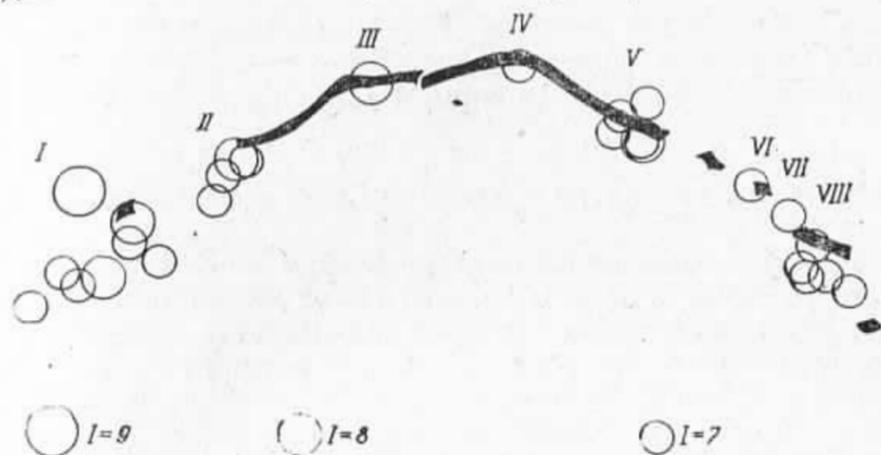


Рис. 1. Распределение землетрясений разлгой интенсивности в зоне Пьенинского глубинного разлома (темным цветом обозначена зона утесов).

Остановимся сначала на сейсмической характеристике разлома. Как уже отмечалось, здесь расположены эпицентры самых сильных закарпатских землетрясений, которые вместе с землетрясениями всего Пьенинского разлома дают информацию о выделившихся напряжениях и, следовательно, о сейсмической опасности зоны. В 1950 г. в окрестности Санкт-Пьельтен—Вена (Австрия) произошло землетрясение силой $I=9$ баллов. Далее на восток в районе Пьельтен—Трнава (на границе Австрии с ЧССР) имели место землетрясения силой $I=8-7$ баллов, затем на территории разлома в городах Мартин, Микулош (ЧССР) их сила достигала $I=8-7$ баллов. Группа землетрясений в районе Гуменне (ЧССР) имела $I=8-6$ баллов [13]. Далее расположены эпицентры одиночных закарпатских землетрясений с $I=7$ баллов в городах Свалява, Долгое. К юго-востоку сосредоточена группа эпицентров землетрясений на границе УССР и СРР [7].

Местоположение сильных землетрясений позволяет объединить их в восемь групп: I—VIII (рис. 1). Причем отдельно выделяются одиночные землетрясения в районе Западных Карпат (города Микулош, Мартин) и Советского Закарпатья (города Свалява, Долгое), так как по размерам очаговых зон их нельзя причислить ни к одной из выделенных соседних групп землетрясений. Сейсмичность VIII зоны некоторые исследователи связывают с Припаннонским глубинным разломом. Но, учитывая размеры зон подго-

товки землетрясений с силой $I=7-8$ баллов $\sim 17 \dots 25$ км соответственно и близость Припаннонского разлома к Пьенинскому, можно считать, что сильные землетрясения этой зоны вызваны процессами, происходящими на Пьенинском разломе.

Для оценки сброса напряжений при землетрясении принимается известная формула [11]

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{R^3}, \quad (1)$$

где $\Delta\sigma$ — падение напряжений; M_0 — сейсмический момент; R — средний радиус очаговой области. Значения сброса напряжений в очаговых зонах I—VIII (в дин/см²) представлены ниже:

Зона	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\Delta\sigma$	$0,81 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^8$	$0,7 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^8$	$0,6 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^7$	$0,76 \cdot 10^8$

Как видим, самые большие напряжения освободились в западной части разлома в зоне I и почти такие же напряжения освободились в восточной части разлома в зоне VIII, но за счет большого количества более слабых землетрясений $I=7-6$ баллов. Меньшие напряжения освободились в зонах II и V, в остальных зонах сброшены напряжения существенно меньшие.

Зона Пьенинского разлома характеризуется положительным полем изостатических аномалий. Профиль этих аномалий вдоль рассматриваемой части разлома показан на рис. 2. Максимальные их значения ($\sim +50 \cdot 10^{-5}$ м/с²) соответствуют западной и восточной частям разлома. Положительная изостатическая аномалия — свидетельство того, что подошва коры расположена выше, чем следует для достижения изостатического равновесия видимых масс рельефа.

Данные ГСЗ на этой территории [12] также показывают завышенное положение подошвы коры (раздел M на рис. 2) по сравнению с ее равновесным положением, соответствующим видимому рельефу M_h и удовлетворяющим вычисленным изостатическим аномалиям M_g .

Положение границ M_h и M_g вычислены по выражениям

$$M_h = T_0 + \frac{\delta_K}{\delta_M - \delta_K} \cdot h; \quad (2)$$

$$M_g = T_0 + \frac{\delta_K}{\delta_M - \delta_K} \cdot h + \frac{1}{2\pi f (\delta_M - \delta_K)} \Delta g_i, \quad (3)$$

где T_0 , δ_K , δ_M — параметры изостатической редукции; h — высоты рельефа; Δg_i — изостатическая аномалия. Как видно из рис. 2, все три границы M , M_h , M_g наиболее сближены в средней части Пьенинского разлома и максимально расходятся в западной и восточной его частях.

Данные о современных вертикальных движениях земной коры свидетельствуют о стойком поднятии территории: восточная и за

падающая его части поднимаются со скоростью 2—3 мм/год, центральная часть — со скоростью 1 мм/год. Следовательно, данная территория тектонически активна и на ней преобладают антиизостатические движения. В противном случае скорости современных вертикальных движений здесь были бы отрицательными.

Таким образом, анализируемые характеристики — сейсмические, динамические и гравитационные — качественно согласуются между собой на всей изучаемой части Пьенинского разлома.

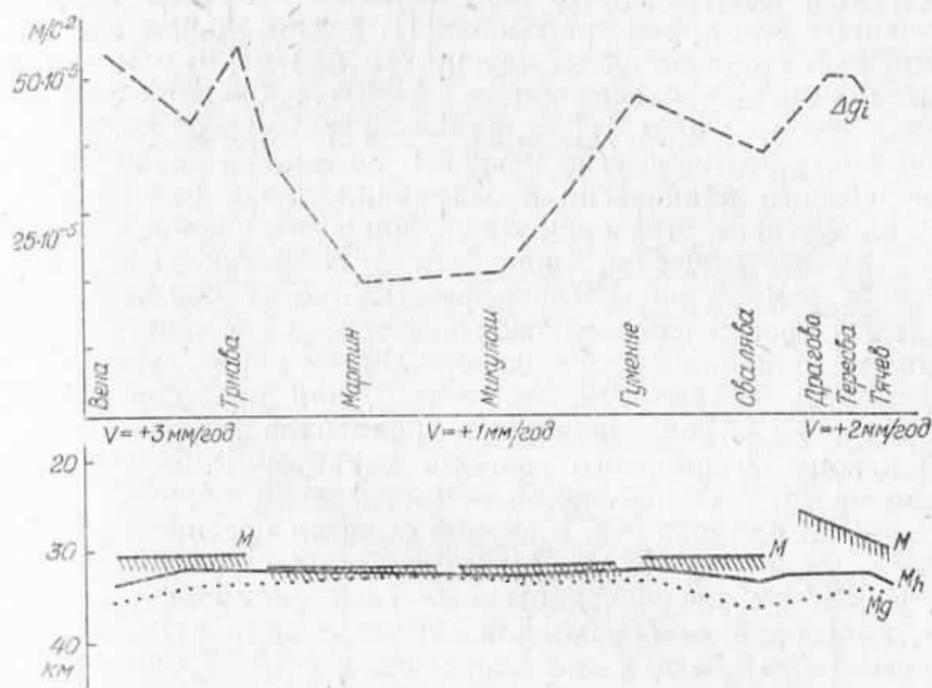


Рис. 2. Изменение изостатических аномалий и глубин поверхности Моховичича в зоне Пьенинского глубинного разлома (Δg_i — профиль изостатических аномалий; M — граница Мохо по данным ГСЗ; M_h — положение границы Мохо для уравновешенного рельефа; M_g — положение границы Мохо, удовлетворяющее вычисленным изостатическим аномалиям; $v = +2 \text{ мм/год}$ — скорости современных вертикальных движений земной коры).

Для многих тектонически активных регионов СССР показана тесная корреляция между степенью нарушения изостатического равновесия, напряженного состояния недр и величиной энергии, выделяемой при землетрясениях [1]. В качестве индикатора напряженного состояния принимается горизонтальный градиент изостатической аномалии $|\delta(\Delta g)/\Delta l| = |(\Delta g_{\max} - \Delta g_{\min})/\Delta l|$ — абсолютные значения разницы между максимальным и минимальным значениями аномалии, отнесенные к расстоянию между экстремальными значениями аномалии в некоторой области.

Такие градиенты были вычислены для областей $\sim 50 \text{ км}^2$, покрывающих территорию восточной и западной частей разлома. Максимальные значения градиентов обнаружены в трех областях.

Первая соответствует западному концу разлома ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 1,3 \cdot 10^{-5} \dots 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$), вторая — восточному концу ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 0,6 \cdot 10^{-5} \dots 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$) и третья охватывает район г. Гуменне ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 0,3 \cdot 10^{-5} \dots 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$). Численные значения горизонтальных градиентов сравнивались с напряжениями, сброшенными сильными землетрясениями в соответствующих зонах Пьенинского разлома. На качественном уровне здесь обнаруживается тесная корреляция*.

Интересно отметить, что количественные оценки корреляции выполненные для других регионов [1], дали большое значение коэффициентов корреляции между $\max |\delta(\Delta g)/\Delta l|$ и землетрясениями высоких энергетических классов $k = 0,6 \dots 0,8$. Как справедливо отмечает автор работы [1], вряд ли можно экстраполировать полученные оценки на другие регионы, но анализ связи нарушений изостатического равновесия с сейсмичностью в разных регионах СССР показывает, что существует явно выраженная тенденция увеличения сейсмической опасности в областях, где нарушено равновесие земной коры (литосферы), и особенно там, где происходит быстрое изменение изостатического состояния в горизонтальном направлении. Это подтверждается и результатами, полученными в данной работе. Более того, для участков с повышенными значениями горизонтальных градиентов изостатических аномалий в зоне Пьенинского разлома характерны большие относительные частоты Q появления землетрясений большой интенсивности $i = 8-6$ баллов. Так, в первой области повышенных горизонтальных градиентов $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$ относительная частота появления землетрясений с интенсивностью $i = 7-8$ баллов составляет $Q = 0,67$, во второй — $Q = 0,8$ для землетрясений с $i = 7-8$ баллов и в третьей $Q = 0,55$ для землетрясений с $i = 8-7$ баллов. Относительные частоты появления землетрясений низкой интенсивности существенно меньше $Q = 0,05 \dots 0,34$. Это еще одно подтверждение повышенной сейсмической опасности выделенных областей.

Для западного конца Пьенинского разлома по изолированным изостатическим аномалиям были выполнены оценки глубин залегания нескомпенсированных масс, вызывающих аномалии большой интенсивности $\sim 50 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, по методу, описанному в [4]. В восточной части разлома эти массы располагаются на глубине 24 км, а в западной — на глубине 30 км. В обоих случаях оценки глубин приурочены к положению границы M (по данным ГСЗ), но корреляцию с глубинами очагов землетрясений этих зон не обнаружено: глубины очагов 8-7 балльных землетрясений I зоны располагались в диапазоне 16...28 км, а 7-8-балльных землетрясений VIII зоны — в диапазоне 5...15 км. Очевидно, этот вопрос требует дополнительного и более тщательного изучения.

В заключение следует отметить, что выполненный анализ нарушений изостатического равновесия литосферы в зоне Пьенин-

* Коэффициент корреляции между указанными величинами не вычисляли из-за отсутствия достаточного количества данных для получения его надежного значения.

ского разлома и его сейсмичности показал, что наиболее напряженное состояние недр в зоне глубинного Пьенинского разлома соответствует местам повышенных значений горизонтальных градиентов изостатических аномалий силы тяжести $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$; эпицентры землетрясений большой интенсивности $I=8-7$ баллов и относительной частоты их появления соответствуют также областям с повышенным $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$.

Все это свидетельствует о том, что данные о нарушениях изостатического равновесия являются надежным дополнительным критерием для целей сейсмического районирования.

Список литературы: 1. *Артемьев М. Е.* Изостазия территории СССР. — М.: Наука, 1975. 2. *Вялов О. С.* Глубинные разломы и тектоника Карпат. — Геол. сб. Львов. геол. об-ва, 1965, № 9. 3. *Гофштейн И. Д.* Неотектоника Карпат. — К.: АН УССР, 1964. 4. *Евсеева Э. М., Глаголев М. Л.* Об изостатически нескомпенсированных массах литосферы Карпатского региона. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38. 5. *Крулов О. С.* О природе Мarmorошских утесов Советских Карпат. — Геол. сб. Львов. геол. об-ва, 1965, № 9. 6. *Муратов М. В.* Тектоника и основные этапы развития Восточных Карпат. — Бюллетень Моск. об-ва испыт. природы. Сер. геол., 1947. т. 22 (2). 7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. — М.: Наука, 1977. 8. *Панасюк В. В., Саврук М. А., Дацишин А. П.* Распределение напряжений около трещин в пластинках и оболочках. — К.: Наук. думка, 1976. 9. *Паффенгольц К. Н.* Геологическое строение СССР. — М.: Госгеолмезиздат, 1958. — Т. 3. Тектоника. 10. *Ризниченко Ю. В.* Размеры очагов корового землетрясения и сейсмический момент. — В кн.: Исследования по физике землетрясений. — М.: Наука, 1976. 11. *Ризниченко Ю. В.* Протяженный очаг и сейсмическое течение горных масс. — В кн.: Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. 12. *Соллогуб В. В.* Структура земной коры Центральной и Восточной Европы. — К.: Наук. думка, 1980. 13. *Prochazkova D., Karnick V.* Atlas of isoseismal maps Central and Eastern Europe KAPG. — Working Group, 43, 1978.