

В. Г. ПАНАДЖЯН, Ф. П. МИРАНЯН, Э. Г. ГЕОДАКЯН,
Ю. Г. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗИ ИОНОСФЕРНЫХ МЕРЦАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Публикации результатов исследований ионосферы последних десятилетий показывают, что ряду крупных сейсмических событий (Аляска—1964, Карпаты—1977, Средняя Азия—1966, 1977, 1984, Китай—1986) предшествуют различные ионосферные эффекты. В частности, они проявляются в изменении критических частот регулярных ионосферных слоев, их действующих высот, в возникновении длиннопериодных колебаний этих высот. Отмечалось также появление спорадических ионосферных слоев [1, 7].

Это указывает на перспективность дальнейших исследований параметров ионосферы в сейсмопрогностических целях.

Закономерность проявления ионосферных предвестников за 1—3 суток до землетрясения, сопровождающих заключительную стадию развития очага землетрясения, относит их в существующей системе предвестников к оперативным.

Определенную информацию о состоянии ионосферы может дать наблюдение ионосферных мерцаний дискретных космических радионисточников, так называемый радиоастрономический метод, заключающийся в просвечивании ионосферы радиоволнами космических радионисточников с угловыми размерами менее нескольких угловых минут.

Как показали уже первые наблюдения [8], ионосферные мерцания радионисточников вызываются мелкомасштабными неоднородностями электронной плотности ионосферы, возникающими в основном вблизи F слоя и ориентированными по геомагнитному полю.

Вероятность наблюдения эффектов мерцания зависит от времени суток, частоты принимаемого радиосигнала, географического места наблюдения, а также от геофизических явлений, лежащих в основе эффекта мерцаний и ответственных за возникновение в ионосфере неоднородностей различных масштабов.

В качестве характеристики степени возмущенности ионосферы используется индекс мерцаний, определяемый по известной формуле

$$m = \frac{(\overline{\Delta I^2} - \overline{\Delta I_m^2})^{1/2}}{\overline{I_0}}$$

где $\overline{\Delta I^2}$ —среднеквадратическое значение флуктуации интенсивности радиоизлучения.

$\overline{I_0}$ —среднее значение интенсивности радиоизлучения,

$\overline{\Delta I_m^2}$ —среднеквадратическое значение флуктуаций выхода радиометра в отсутствие радионисточника.

Считается установленным [8], что аномальное увеличение индекса ионосферных мерцаний связано с появлением размывтия слоя F₂, обусловленного возникновением различного масштаба неоднородностей электронной плотности.

Существующие модели объясняют образование крупномасштабных неоднородностей вблизи слоя F ионосферы возникновением локальных неустойчивостей в плазме, воздействием флуктуирующего электрического поля, вызывающего дрейф из E слоя или мезосферы в F слой, воздействием магнитогидродинамических волн, возникающих в магнитосфере и распространяющихся до F слоя.

Возникновение неоднородностей может быть обусловлено также крупномасштабными гравитационными волнами ($\lambda \approx 100-300$ км) при нелинейном распаде которых возникают волны меньшего масштаба (неустойчивости), вызывающие градиентную неустойчивость, приводящую к образованию неоднородностей меньшего масштаба.

По существующим оценкам [4, 5, 6] процессы подготовки сильных землетрясений также способствуют возникновению неоднородностей в надэпицентральной области, т. к. на заключительной стадии подготовки землетрясения могут возникать сильные квазистационарные электрические и электромагнитные поля, распространяющиеся до высот ионосферы, обусловленные напряжением, а также возможным синхронным микрорастрескиванием разрушающихся горных пород. Суммарное эффективное воздействие электрических, электромагнитных полей, а также акустико-гравитационных волн на ионосферную и магнитосферную плазму стимулирует развитие этажей турбулентности в плазме, появление зон индуцированных излучений в верхней атмосфере на резонансных частотах плазмы, а также вызывает разогрев и ионизацию ионосферной плазмы [2, 3, 9]. Вопрос о точном физическом механизме сейсмоионосферного взаимодействия остается открытым, но исследования в этом направлении продолжаются.

Опытно-методической сейсмопрогностической экспедицией ИГИС АН АрмССР в творческом содружестве с Бюраканской астрофизической обсерваторией проводятся регулярные наблюдения ионосферных мерцаний космических радиоисточников в сейсмопрогностических целях.

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 1. Она состоит из приемной антенны (А), радиометра (Р), имеющего выход на аналоговое регистрирующее устройство (КСП-4), а также цифровой выход на измерительно-вычислительный комплекс (ИВК).

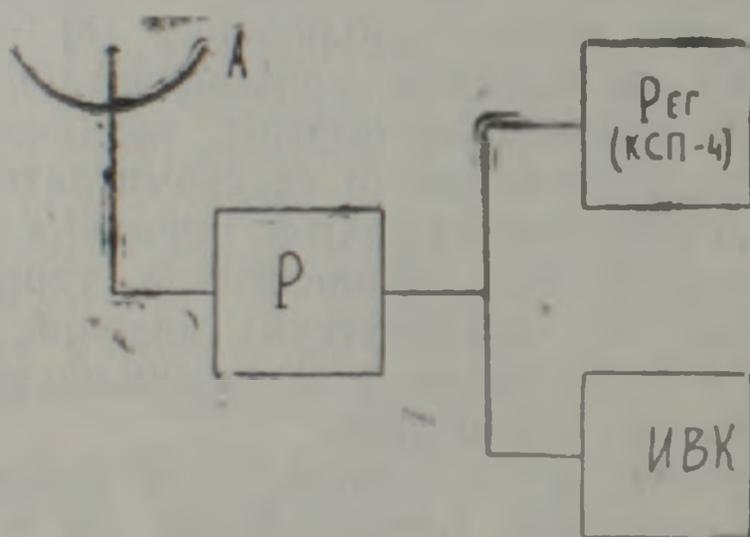


Рис. 1. Блок-схема измерительной установки.

В связи с тем, что наблюдения проводятся в промышленно развитом районе с усиленным фоном радиопомех, используется радиометр с узкой полосой пропускания $2\Delta f \approx 100$ кГц, с постоянной времени выхода $\tau \approx 1$ с. Эффективная площадь антенны $A_{эф} \approx 40$ м². Наблюдения ведутся на частоте 74 мГц. В качестве наблюдаемого источника выбран наиболее удобный для широты места наблюдения ($\varphi \approx 40^\circ$) радиоисточник Лебедь—А ($\alpha = 19^\circ 58'$, $\lambda \approx 40^\circ$) плотность потока которого на частоте 74 мГц равна 16 000 Ян.

Типичный пример развития возмущенности ионосферы перед землетрясением приведен на рис. 2, который отождествлен с сейсмическим событием, происшедшим 05.07.88 г. ($\varphi = 38^\circ 80'$; $\lambda = 44^\circ 08'$; $K = 10,3$; $UT = 03^h 44^m$).

На рис. 3 представлены временные вариации индекса ионосферных мерцаний (m) в сопоставлении с мировыми данными по текущей солнечной (R9) и геомагнитной обстановке (C_p9), где R9 — число солнечных пятен (число Вольфа), C_p9 — среднесуточный индекс геомагнитной активности по девятиклассной шкале.

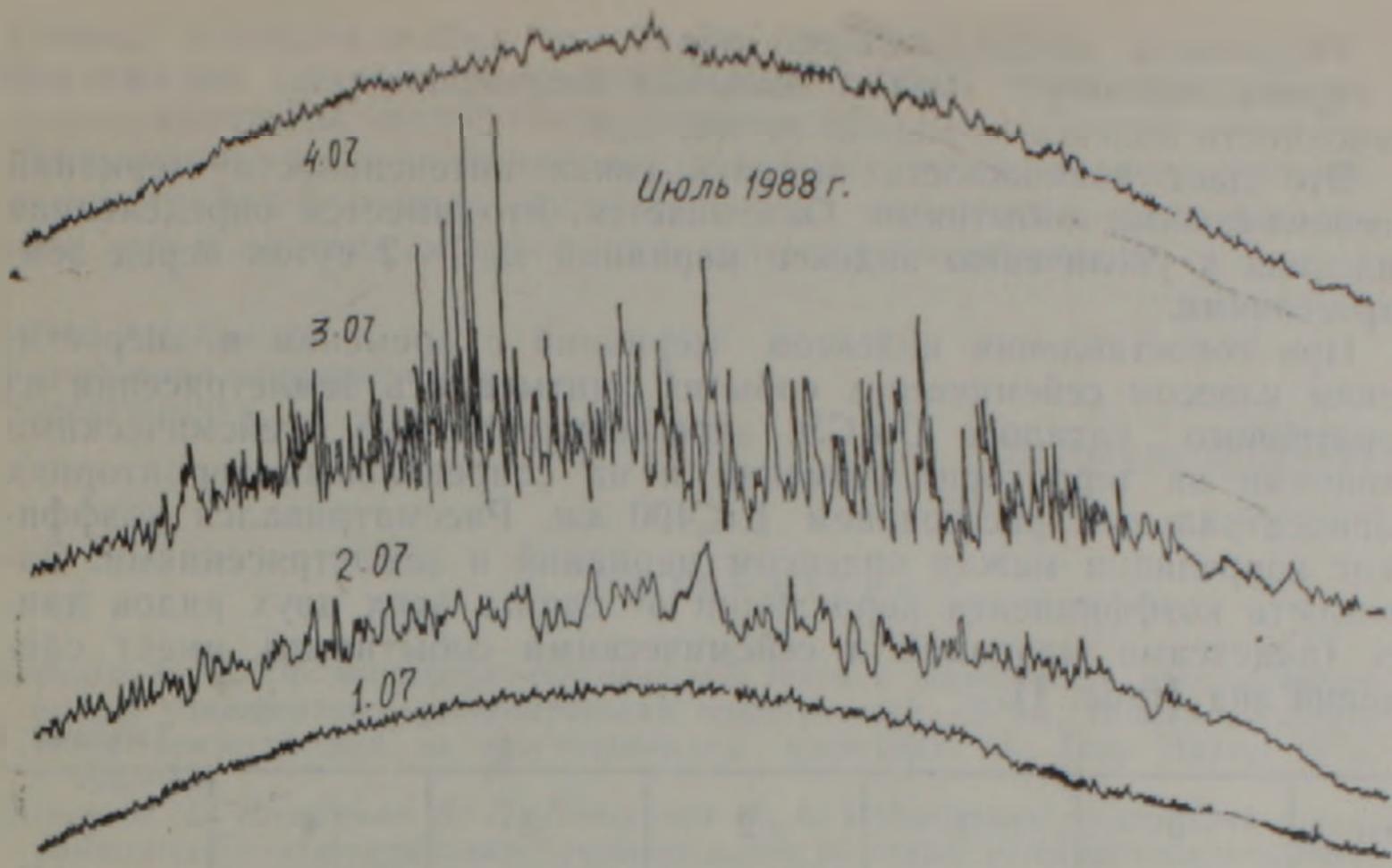


Рис. 2. Типичные аналоговые записи ионосферных мерцаний радиостанции Лебедь—А.

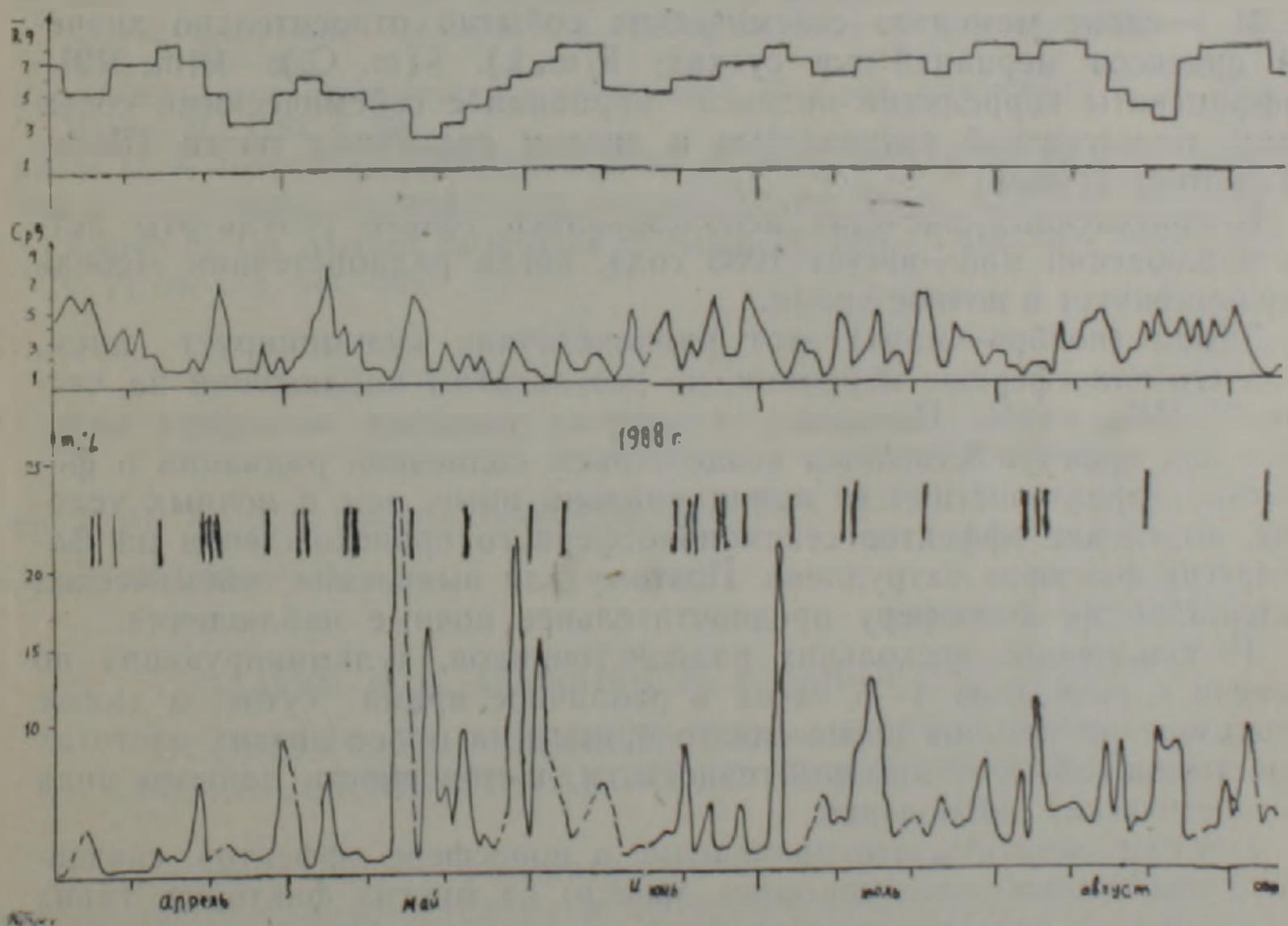


Рис. 3. Временные вариации индекса ионосферных мерцаний (m_3) в сопоставлении с текущей солнечной (R_9) и геомагнитной обстановкой ($C_p 9$), где R_9 —количество солнечных пятен, усредненное за 3 дня, $C_p 9$ —среднесуточный индекс геомагнитной активности (данные по солнечной и геомагнитной активности получены Институтом геофизики г. Геттинген, ФРГ). Стрелками обозначены моменты сейсмических событий

(1)

Результаты предварительной обработки наблюдательных данных за период май-август 1988 г. показали отсутствие ярко выраженной зависимости индекса мерцаний от $R9$, C_p9 .

Это дает возможность выявить связи интенсивности мерцаний с сейсмическими событиями. Оказывается, что имеется определенная тенденция к увеличению индекса мерцаний за 1—2 суток перед землетрясениями.

При сопоставлении индексов мерцаний с временем и энергетическим классом сейсмических событий учитывались землетрясения из оперативного каталога ОМСЭ, зарегистрированные сейсмическими станциями на территории Армении и на сопредельных территориях с эпицентральным расстоянием $L \leq 400$ км. Рассматривался коэффициент корреляции между индексом мерцаний и землетрясениями. Зависимость коэффициента корреляции от сдвига этих двух рядов данных (индексами мерцаний и сейсмическими событиями) имеет следующий вид (табл. 1).

Таблица 1

| Сдвиг Δt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| $R(m, k)$ | 0.09 | 0.21 | -0.07 | -0.05 | -0.05 | -0.01 |
| $R(m, C_p)$ | -0.07 | -0.06 | -0.017 | -0.019 | -0.08 | -0.055 |
| $R(m, R9)$ | -0.16 | -0.14 | -0.14 | -0.16 | -0.17 | -0.16 |

где Δt — сдвиг моментов сейсмических событий относительно значений индексов мерцаний m в сутках; $R(m, k)$, $R(m, C_p)$, $R(m, R9)$ — коэффициенты корреляции индекса мерцаний с сейсмическими событиями, геомагнитной активностью и числом солнечных пятен (Вольфа) соответственно.

В приведенных расчетах использовались только результаты летних наблюдений май—август 1988 года, когда радиосточник Лебедь А кульминирует в ночное время.

Зимой (ноябрь—март) этот радиосточник кульминирует днем, когда его ионосферные мерцания, по результатам наблюдений на частоте 74 МГц, слабы. Поскольку в дневных условиях ионосфера находится под преимущественным воздействием солнечной радиации и физические характеристики ее принципиально иные, чем в ночных условиях, выделение эффектов сейсмоионосферного происхождения на фоне других факторов затруднено. Поэтому для выявления сейсмических воздействий на ионосферу предпочтительнее ночные наблюдения.

Использование нескольких радиосточников, кульминирующих по времени с разностью 4—5 часов в различное время суток, а также использование методов разносенного приема на более низких частотах существенно повысит информативность и достоверность данного вида прогностических наблюдений.

Следует заметить, что проявление в ионосфере эффектов, связанных с подготовкой землетрясения, зависит от многих факторов, таких как глубина и удаленность эпицентра, его энергетических характеристик, геологических особенностей рассматриваемого района, состояния атмосферы и ионосферы.

В связи с этим трудно ожидать качественного и количественного совпадения ионосферных эффектов даже для одного типа землетрясений.

Для точного выделения образа сигнала предвестника с учетом перечисленных выше факторов необходимо накопление достаточного

статистического материала, а также необходимо комплексирование различных видов прогностических наблюдений.

Дальнейшие исследования позволят более исчерпывающе оценить возможности данного вида прогностических наблюдений для использования его в системе оперативного сейсмопрогнозирования.

ИГИС АН АрмССР,
Бюраканская астрофизическая
обсерватория

Поступила 18.IV.1989

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирфельд Я. Ч. Об ионосферно-сейсмической связи и возможности использования ее для ионосферного прогнозирования землетрясений.—В кн.: Поиск предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Изд. Наука, 1974, с. 200—202.
2. Гохберг М. Б. Пилипенко В. Л. Похотелов О. А. Наблюдения со спутника электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения.—ДАН СССР, 1983, т. 268, № 1, с. 56—58.
3. Гохберг М. Б. Гуфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Булошников А. М. Пилипенко В. А. Похотелов О. А. Шалимов С. А. Возбуждение электростатической волновой турбулентности в ионосфере, как один из эффектов сейсмической активности.—Препринт № 16. М., ИФЗ АН СССР, 1983, с. 53.
4. Гохберг М. Б. Гершензон Н. И. Гуфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Хусамеддинов С. С. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1984, т. 24, № 2, с. 217—223.
5. Моргунов В. А. К природе литосферно-ионосферных связей.—Изв. АН СССР, Физика Земли, М., 1988, с. 79—87.
6. Руденко Г. В. Возбуждение ионосферного МГД-волновода подземными токами в зоне подготовки землетрясений.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1985, т. 25, № 5, с. 799—805.
7. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. Садовского М. Л. Изд. Наука, М.: 1982, с. 89.
8. Crane R. K. Ionospheric Scintillation, Proc. of IREE, 1977, v. 65, № 2, p. 5—29.
9. Row R. V. Evidence of Long-Period Acoustic-Gravity Waves Launched into the F Region by the Alaskan Earthquake of March 28, 1964—J. Geophys. Res., 1966, v. 71, № 1, p. 343—345.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 3, 71—77.

УДК 550.348.436 (479.25)

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Э. Г. ГЕОДАКЯН, В. Ж. АГАРОНЯН, М. А. ДАНИЛОВА, С. Л. ЮНГА

ОСОБЕННОСТИ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ АФТЕРШОКОВ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В настоящей работе рассматриваются основные особенности механизма очага главного толчка и афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Афтершоковым процессом охвачена область приблизительно запад-северо-западного простирания с разворотом в восточной ее части к юго-восточному простиранию. В этой области и ее окрестностях известно несколько сильных исторических землетрясений, начиная с землетрясения 1046 года, разрушившего древнюю столицу Армении Ани. Можно отметить приуроченность эпицентров этих разрушительных землетрясений к системе глубинных разломов субширотного простирания в основной части рассматриваемой области, сменяющегося в районе эпицентра землетрясения 1988 года на