

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТАШКЕНТСКОГО 1966 г. И ГАЗЛИЙСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 1976 и 1984 гг. И ИХ ВКЛАД В СЕЙСМОЛОГИЮ

Уломов В.И.

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта, Российская Академия наук, Москва, Россия
e-mail: valentin.ulomov@mail.ru

Исполнилось 50 и 40 лет, соответственно, с момента возникновения уникальных сейсмических событий, каковыми стали всемирно известные Ташкентское землетрясение 1966 г. с очагом под центром столицы Узбекистана и крупнейшие Газлийские землетрясения, произошедшие в 1976 и 1984 гг. в пустыне Кызылкум на западе Республики (рис. 1).

Результаты научных исследований природы этих землетрясений стали значимой вехой не только в отечественной, но и в мировой сейсмологии [1–4]. Они открыли новые пути к прогнозу сейсмической опасности, к разработке и развитию принципиально новой методологии сейсмического районирования и долгосрочного прогноза крупных землетрясений. Было создано новое научное направление в сейсмологии и геодинамике – сейсмогеодинамика [4].

Признанием выдающихся успехов российских и узбекских сейсмологов явился первый Международный симпозиум по прогнозу землетрясений, состоявшийся в Ташкенте в 1974 г. под эгидой Международной Ассоциации сейсмологии и физики недр Земли (МАСФНЗ/IASPEI) с участием выдающихся учёных из многих стран мира и сейсмологов из всех, тогда еще союзных республик.

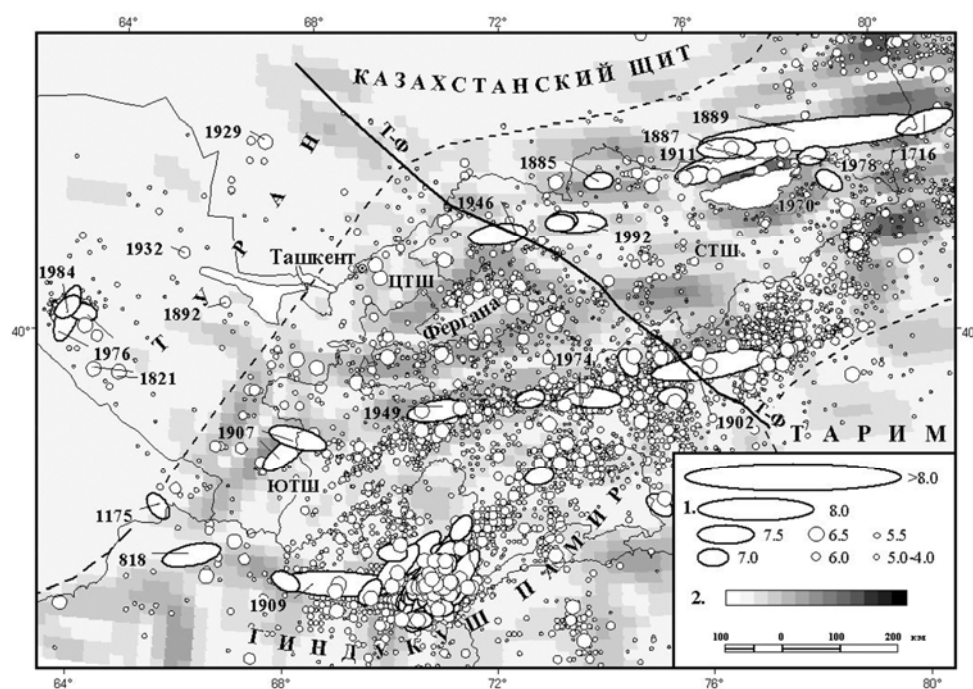


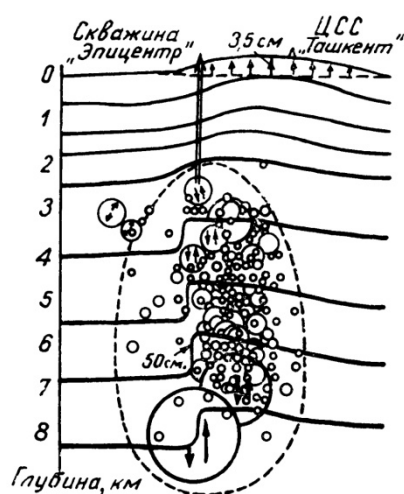
Рис.1 Сейсмичность территории Узбекистана и сопредельных регионов.

1. Очаги землетрясений разных магнитуд;
2. Градиент изостатических гравитационных аномалий разной интенсивности;
Т-Ф – Таласо-Ферганский разлом;
СТШ – Северный Тянь-Шань; ЦТШ, ЮТШ – Центральный и Южный Тянь-Шань; условная граница между орогеном и платформами показана пунктиром.

В этой краткой статье приведены лишь основные аспекты сейсмологических и сейсмогеодинамических исследований, опубликованные в монографии автора [4], где достаточно полно представлены материалы о Ташкентском землетрясении 1966 года и о подготовке Газлийских землетрясений, которые произошли спустя два года после выхода в свет этой книги и около 10 лет после обнаружения первых признаков их подготовки [5].

Последнее обстоятельство приобрело особую ценность, поскольку явилось доказательством успешного долгосрочного прогноза крупнейших Газлийских землетрясений и района их возникновения. Другого примера заблаговременной локализации области предстоящего крупного землетрясения в мировой сейсмологии пока неизвестно.

Ташкентское землетрясение произошло в 5 часов 23 минуты утра 26 апреля 1966 г. Его магнитуда была весьма умеренной – всего $M_s=5.2$, однако



из-за небольшой глубины очага этого землетрясения сейсмический эффект в эпицентре, т.е. в центре города, превысил $I=8$ баллов. Эпицентр землетрясения оказался всего в трех километрах от Центральной сейсмической станции (ЦСС) «Ташкент», которой в то время руководил автор этих строк. Благодаря близости к ЦСС и будучи окруженным сетью сейсмометрических пунктов, созданных в 1963 году при проведении сейсмического микрорайонирования Ташкента, был собран богатейший сейсмографический материал о глубинном строении и развитии очаговой области этого землетрясения [6] (рис.2).

Рис. 2. Сейсмогеодинамика очаговой области Ташкентского землетрясения 1966 г. и его афтершоков разных магнитуд. Условно показаны деформация глубинных слоёв и вертикальное поднятие земной поверхности (вертикальные стрелки), а также местоположение ЦСС «Ташкент» и специально пробуренной скважины «Эпицентр», достигшей верхней границы очаговой области [4].

Разрыв пород в сейсмическом очаге, находившемся под центром города, имел вертикальное простирание по глубине от 2-3 до 8-9 км. Горизонтальные размеры очаговой области составили 4-5 км. Землетрясение сопровождалось огромным количеством (свыше тысячи) повторных толчков, которые продолжались более года. Самые сильные из афтершоков интенсивностью до 7 баллов, произошли 9 и 24 мая, 5 и 29 июня, 4 июля 1966 года и 24 марта 1967 года. В результате подвижки пород в очаге землетрясения земная поверхность в центре города стала выше почти на 4 см.

Благодаря высокоточным инструмен-тальным наблюдениям выявлены неизвестные ранее закономерности в пространственно-временном и энергетическом развитии сейсмогеодинамических процессов в очаге землетрясения. В частности, впервые было обнаружено явление трансформации графиков повторяемости афтершоков на начальных стадиях развития очаговой

области и их постепенное спрямление со временем, связанное, по-видимому, с увеличением раздробленности пород в очаге (рис. 3, а).

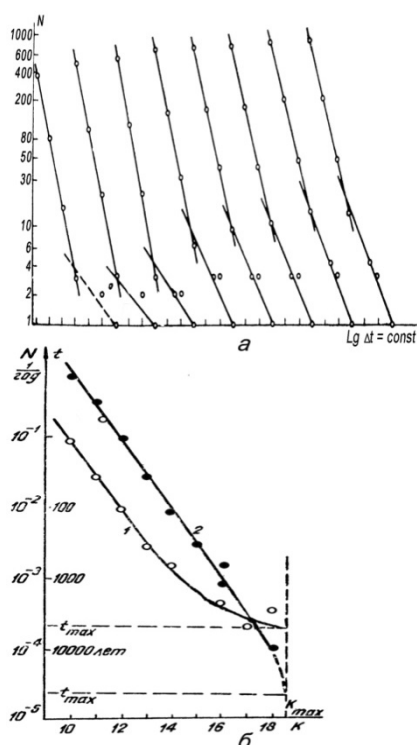


Рис. 3. а. Трансформация во времени графиков повторяемости повторных толчков Ташкентского землетрясения. Интервалы времени между графиками логарифмически равны и соответствуют: 17,8; 32,0; 56,2 ... 1000 суткам от момента главного землетрясения. Энергетические классы $K=\lg E$, где E (джоули) – энергия сейсмических волн, в интервале от $K=6$ до $K=12$ и соответствуют толчкам на графиках [4]. б. Трансформация в геологическом времени графиков повторяемости землетрясений разных магнитуд на территории Северного (1) и Южного Тянь-Шаня (2) [4].

Аналогичное явление было обнаружено автором и в региональных масштабах. Так, сейсмический режим Северного Тянь-Шаня Центрального Кызылкума, консолидированная земная кора которых начала вовлекаться в тектоническую активизацию значительно позже, чем, например, кора Южного Тянь-Шаня, характеризуется повышенной частотой возникновения крупных землетрясений и вполне нормальным режимом землетрясений меньшей величины (рис. 3, б).

К подобным представлениям об аномальной конфигурации графиков повторяемости землетрясений позже пришли и другие исследователи, в том числе и за рубежом [7, 8].

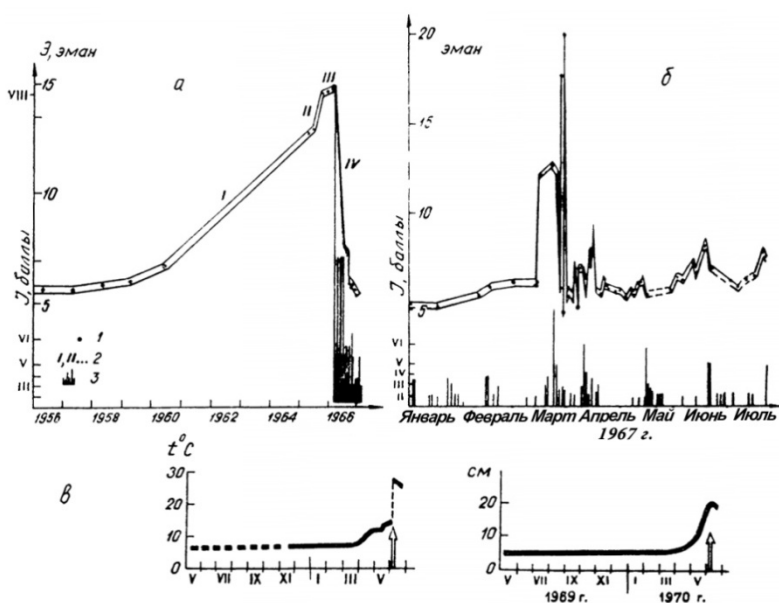


Рис. 4. Вариации радона (а, б), температуры и напора (в) термоминеральной воды: а. – при Ташкентском землетрясении 1966 г.; б. – во время его афтершоков. 1 – замеры эмиссии радона в эманах. 2–основные стадии развития очага. 3–интенсивность сотрясений в баллах; в.–изменения температуры и уровня термальной воды в скважинах перед 8-9-балльным Сарыкамьшским землетрясением 1970 года в Киргизии [4].

Другим открытием, связанным с процессами подготовки землетрясений, стало обнаружение нами аномальных изменений концентрации радона [9], температуры и уровня термоминеральной воды глубинного происхождения

(рис. 4). Радоновый метод поиска предвестников землетрясений сразу же получил широкое распространение в мире [10]. Нами было показано, что прогностические аномалии в радоновой эмиссии наблюдаются непосредственно над очагами землетрясений, а также на некотором удалении от них в зависимости от интенсивности индуцированного напряжённо-деформированного состояния геологической среды.

Радоновые аномалии обусловлены изменением объема пород при их сдвиговой деформации, сопровождающейся трещинообразованием и расширением пород – дилатансией. Обнаруженное нами явление послужило основным аргументом при создании одной из наиболее популярных дилатантно-диффузионной (ДД) модели подготовки землетрясений [10].

Представления о дилатансии и трещинообразовании при подготовке землетрясений подтвердили и наши исследования природы Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг.

Газлийские землетрясения с магнитудами $M_s=7.0$ и $M_s=7.3$, соответственно, произошли 8 апреля и 17 мая 1976 г. Следующий сильный подземный толчок с $M_s=7.2$ возник 20 марта 1984 г. в том же очаге, сместившись немного к западу. Очаговая область этих землетрясений располагалась на глубине от 3-5 до 20-25 км.

Сейсмический эффект в эпицентре достигал 9-10 баллов. Практически полностью был разрушен рабочий поселок нефтяников Газли, расположенный, примерно, в 30 км к югу от эпицентральной области. При первом землетрясении все без исключения сооружения в Газли пришли в полную негодность. Разрушения после второго землетрясения 1976 года были грандиозными.

Газлийские землетрясения, как и Ташкентское, были встречены нами во всеоружии. Впервые в мировой сейсмологической практике в эпицентре землетрясения с $M_s=7.3$ были получены инструментальные записи ускорений сотрясений грунта, превысившие в 1.36 раза ускорение силы тяжести. К этому времени Центральная сейсмическая станция «Ташкент» была преобразована в Ташкентскую сейсмологическую обсерваторию (ТСО), оборудованную цифровой регистрирующей аппаратурой и современной для того времени ЭВМ «Планета», подаренной нам военными сейсмологами. Вокруг Ташкента действовали выносные телеметрические пункты ТСО, а в пределах города телеметрия осуществлялась по специально выделенным для ЦСС «Ташкент» телефонным каналам связи.

Вокруг эпицентральной области Газлийских землетрясений задолго до их возникновения, в течение нескольких лет, действовали открытые нами стационарные сейсмические станции в пунктах Джизак, Нурата, Тамды-Булак и Кулкудук (см. рис. 1).

Рис. 5 иллюстрирует сейсмогеодинамику области перехода от орогена к платформе. Штриховкой помечены потенциальные очаговые области земной коры. Зигзагообразными пунктирными линиями показаны периоды активизации процессов трещинообразования в пустыне Кызыл-Кум,

предшествовавшие наиболее крупным местным землетрясениям. Как видно, третий цикл завершился Газлийскими событиями уже после публикации этого рисунка в [4].

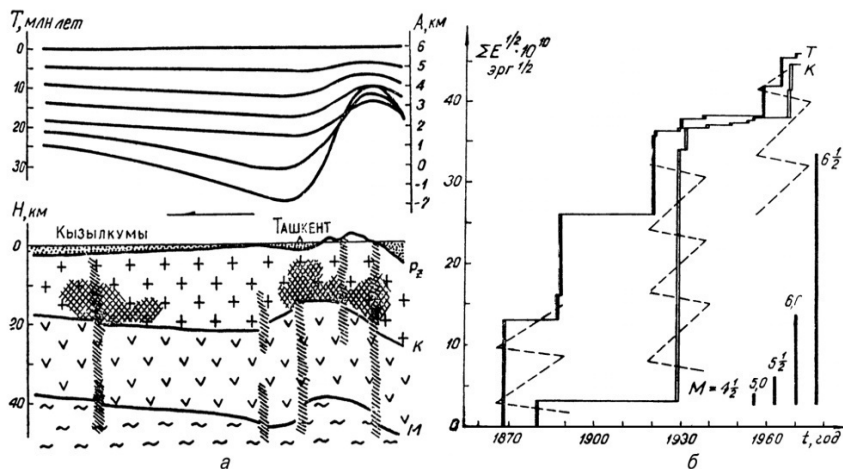


Рис.5. Сейсмогеодинамика области перехода от орогена к платформе очага [4]. а. – Вертикальный разрез земной коры: Pz , K , M – границы палеозойского фундамента, Конрада и Мохоровичича; A – изменения в геологическом времени T рельефа донегеновой поверхности. б. Сейсмический режим земной коры Ташкентского региона (T) и Центрального Кызылкума (K).

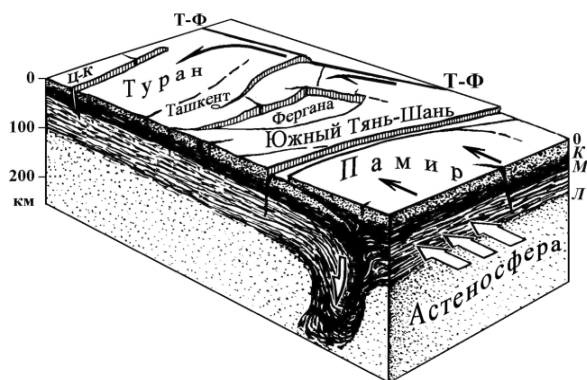


Рис. 6. Разломно-блоковая модель деформирования земной коры и всей литосферы Памиро-Алая, Южного Тянь-Шаня и Турана [4].

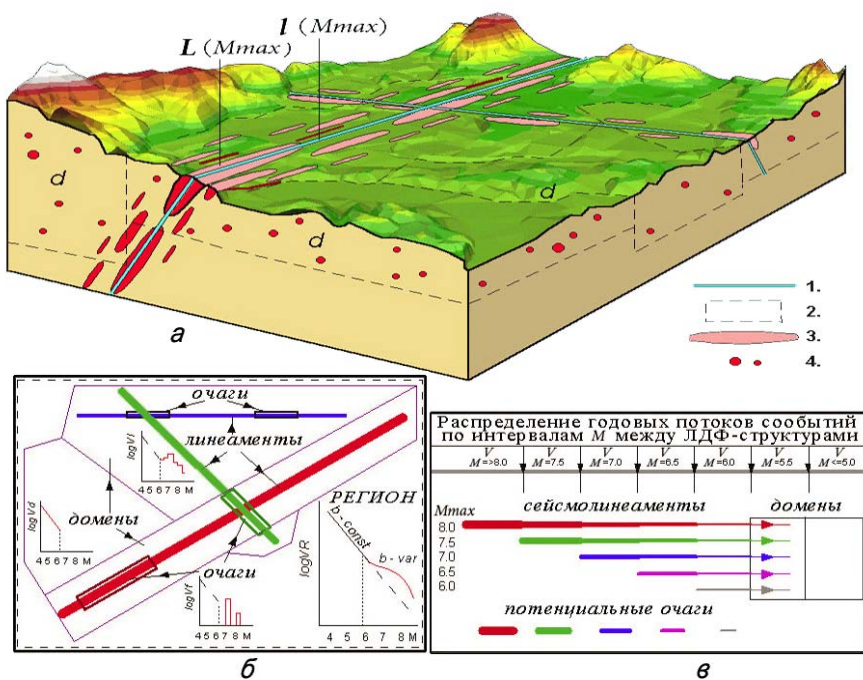


Рис. 7. ЛДФ-модели источников землетрясений [11, 12]. а). 1 –линеаменты l ; 2 – домены; 3 – очаги L с $M_{max} \geq 7.0 \pm 0.2$ вдоль линеаментов; 4 – землетрясения в доменах с $M_{max} \leq 6.5 \pm 0.2$. б). R – регион, l – линеаменты, d – домены, f – потенциальные очаги и свойственные им графики повторяемости землетрясений; в). среднегодовая плотность V потоков сейсмических событий разных магнитуд M_s .

Модель, изображённая на рис.6, явилась прообразом линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) (рис.7) [11, 12]. Разработана также решётчатая модель (РМ) очаговой

сейсмичности, отражающая фрактальную структуру геофизической среды и открывшая новые возможности для локации потенциальных очагов крупных землетрясений и оценку их повторяемости во времени [13].

Важнейшие результаты выполненных исследований состоят в следующем:

- Представление сейсмических очагов в виде объёмов геофизической среды реалистических размеров, обуславливающих магнитуду землетрясений и сейсмический эффект.
- Выявлена трансформация графиков повторяемости землетрясений разных магнитуд, свидетельствующая о разных стадиях сейсмогеодинамического развития геологической среды, характеризующейся на каждом этапе разными прочностными свойствами. Показано, что каждое отдельное землетрясение со своими афтершоками отображает картину развития крупной тектонической зоны и является моделью ее поведения во времени.
- На основе фрактальной решёточной модели очаговой сейсмичности показано, что в случаях сейсмического режима, описываемого экспоненциальными графиками повторяемости единообразно градуированных по магнитуде землетрясений, время подготовки сейсмических подвижек в каждом из очагов инвариантно по отношению к магнитуде, т.е. землетрясения возникают с одинаковой частотой в любом очаге в рассматриваемой их совокупности.
- Впервые в реальных природных условиях в результате деформометрических и радоновых наблюдений за современными движениями земной коры обнаружены процессы растяжения и трещинообразования при подготовке очага землетрясения и подтверждены явления дилатансии при сдвиговых деформациях геологической среды.
- Впервые в мировой сейсмологической практике инструментально зарегистрированы ускорения сотрясений грунта интенсивностью, превысившей ускорения силы тяжести.
- Практическое применение при оценке сейсмической опасности гистограммных графиков повторяемости землетрясений, указывающие на более частое возникновение крупных сейсмических событий, по сравнению с экспоненциальной аппроксимацией графиков.
- Результаты сейсмогеодинамических исследований легли в основу разработки новой методологии сейсмического районирования. Вместо традиционно одной детерминистской карты стал создаваться комплект вероятностных карт, предназначенных для оценки сейсмических воздействий на объекты разных категорий ответственности и сроков службы.
- Предложен радоновый метод поиска предвестников землетрясений, получивший широкое распространение во многих странах мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года. // Ташкент: ФАН Узб. ССР. 1971, 672 с.
2. Поиски предвестников землетрясений. // Международный симпозиум 27 мая 3 июня 1974 г. Ташкент: ФАН Узб. ССР. 1974, 264 с.
3. Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг., Изд. Фан Уз. ССР, Ташкент, 1986. 328 с.
4. Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН. 1974. 218 с.
5. Уломов В.И., Вишняцкий Г.Б., Жумабеков У. Инструментальные наблюдения за развитием трещиноватости в зоне Центрально-Кызылкумских поднятий // Узб. геол. ж. 1976. № 6.
6. Уломов В.И., Захарова А.И., Уломова Н.В. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. и его повторные толчки // ДАН СССР. 1967. т. 177. № 3.
7. Schwartz D., Coppersmith K. Fault behavior and characteristic earthquake: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 5681–5698.
8. Wu S.-C., Cornell C.A., Winter Stein S.T. A Hybrid recurrence model and its implication on seismic hazard results // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1995. V. 85. P. 1–16.
9. Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // ДАН СССР. 1967. т. 176. № 2. С. 35-37.
10. Scholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake prediction: a physical basis // Science, 1973. 181, 803.
11. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. 57 с.
12. Уломов В.И. На пути к снижению разрушительных последствий землетрясений // Инженерная защита, №2(13), март–апрель 2016, Санкт-Петербург. С. 22-30.
13. Уломов В.И. Решеточная модель очаговой сейсмичности и прогноз сейсмической опасности // Узб. геолог. ж. 1987. № 6. С. 20-25.
14. Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации // Физика Земли. 1998. № 9. С. 20-38.