
О ПРОГНОЗЕ МЕСТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ И ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

И. Е. Губин



В пределах Советского Союза почти ежегодно происходят сильные землетрясения. Они возникают в различных пунктах южных областей — от Карпат до Камчатки включительно. Проявляются эти землетрясения не везде с одинаковой силой, разрушения они вызывают только вблизи мест своего возникновения. Поэтому выявление в сейсмических областях мест, которым угрожают или не угрожают в будущем сильные подземные толчки, весьма важно для проведения специальных мер при строительстве.

Еще в древнее время существовало представление о возможности повторения сильных землетрясений в тех местах, где они были отмечены. Об этом свидетельствует антисейсмическое укрепление строений, сохранившихся до нашего времени. Сведения об этих бывших тогда подземных толчках не дошли до нас, за исключением отдельных случаев. О причинах землетрясений в то время имелись мало обоснованные догадки.

С прошлого столетия площади распространения зарегистрированных сильных землетрясений начали наносить на карты. Примером может служить первая сводная карта землетрясений территории нашей страны, составленная в 1890 году А. П. Орловым и И. В. Мушкетовым. Она включает сейсмостатистические данные примерно с середины XVIII столетия.

В дальнейшем, с начала нынешнего столетия, стали составлять карты, названные в одних случаях сейсмическими, в других — сейсмического районирования или сейсмической деятельности. На них в пределах изучаемых сейсмических областей выделены площади, в которых возможны в будущем сильные землетрясения или в которых они не произойдут. К первым из них попрежнему причислены места зарегистрированных сильных землетрясений, ко вторым — зоны слабых толчков и места, откуда сведения не поступали. Материалами для этих карт служили статистические данные, которые в большинстве своем собирались за небольшие периоды времени. У нас в СССР детальные сведения собраны по многим районам за 50—150 лет. Так составлены карты А. Зиберга, Д. И. Мушкетова, Н. И. Ботвинкина, Г. В. Попова, К. Морелли, Г. П. Горшкова и другие.

Метод составления этих карт, названный сейсмостатистическим, состоит в выяснении площадей распространения зарегистрированных землетрясений различной силы и нанесении их на карты. Способ нанесения у разных авторов неодинаков. Обычно зоны сильнейших сотрясений обозначаются в виде обособленных овалов, которые окружены полосами меньшего сотрясения. Последнее у близко расположенных землетрясений обобщаются и в некоторых случаях

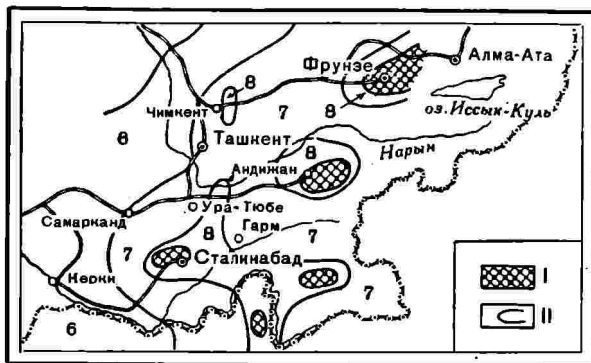


Рис. 1. Карта возможных наибольших землетрясений в Средней Азии. По Г. В. Попову, 1932. I — площадь девятибалльного сотрясения; II — линия, ограничивающая зоны одинакового сотрясения

экстраполируются в виде связующих рукавов с площадями более удаленных подземных толчков. Такие связующие рукава или зоны на некоторых картах механически расширены и занимают крупные площади.

Простейшей картой этого типа является карта Средней Азии Г. В. Попова (рис. 1). На этой карте в центральной и южной частях изображены в виде небольших овалов площади распространения трех разрушительных девятибалльных землетрясений, зарегистрированных до 1932 года. Они окружены плавной изогнутой линией, которая ограничивает обобщенную расширенную связующую восьмibalльную зону. Территория вне ее причислена к семibalльной зоне и ниже. На карте немецкого сейсмолога А. Зиберга (рис. 2) площади зарегистрированных землетрясений силой 8—9 баллов даны также обособленно; окружающие их участки, в которых сотрясения были силой 6—7 баллов, слиты и образуют вследствие этого неправильные полосы.

Разрывы на карту нанесены формально, они к сейсмостатистическим данным ничего не добавляют.

Анализ сейсмостатистических карт районирования показывает, что они основаны на двух допущениях. Первое допущение: землетрясения на зарегистрированных местах повторяются с той же силой. Второе допущение: сильные подземные толчки в местах, где они не отмечались, в будущем в сейсмических областях не возникнут. Рассмотрим эти допущения.

Можно считать установленным, что сильные землетрясения возникают преимущественно в периодически действующих очагах. Вследствие того, что даты их повторения неизвестны, приходится полагать, что они могут возникнуть в любой момент. Таким образом, первое допущение исходного положения статистического метода: «землетрясения на зарегистрированных местах повторяются, и с той же силой», является до некоторой степени обоснованным, но только в том случае, если установлено, что для данных мест были зарегистрированы типичные сотрясения высшего балла. Между прочим, при статистическом районировании такие определения не делаются.

Второе допущение этого же метода: «сильные подземные толчки в местах, где они не отмечались, в будущем, в сейсмических областях, не возникнут», не может быть признано правильным, так как по существу оно ничем не обосновано. Согласно же геологическим данным, в рядетаких мест, занимающих обширные площади сейсмических районов, находится много периодически действующих очагов, в которых за время сбора сейсмостатистических сведений сильные землетрясения не происходили и поэтому они не учтены, но с течением времени подземные толчки в них возникают.

В частности, за последние десятилетия на территории Советского Союза сильные землетрясения возникали большей частью в незарегистрированных очагах, расположенных в зонах, которые на статистических картах отнесены к безопасным. Повторение же разрушительных землетрясений в ранее отмеченных местах наблюдалось относительно редко и лишь в некоторых из них, большей частью в тех, в которых возникают относительно слабые подземные толчки, например, типа привахшских (см. ниже).

Это, повидимому, объясняется неравномерностью проявления тектонических движений, которые обычно и являются причиной землетрясений, а также и тем, что в очагах зарегистрированных землетрясений напряжения разрядились, в таких же незарегистрированных очагах они подходят к стадии разрядки. Именно в таких очагах в ближайшие периоды времени возможно возникновение большинства сильных подземных толчков.

В качестве примера отметим, что в 1890 году, когда А. П. Орлов и И. В. Мушкетов

составили карту землетрясений территории нашей страны, в Таджикистане и Туркмении сильные подземные толчки были неизвестны. В последующее же время там возникло в различных местах 25 разрушительных землетрясений. С 1932 года в Средней Азии и Туркмении произошло девять сильных землетрясений, как раз в тех местах, которые на картах, составленных Г. В. Поповым, Д. И. Мушкетовым и Г. П. Горшковым, были отнесены к практически безопасным зонам. И только три землетрясения, помимо упомянутых, были повторными.

Сейсмостатистические карты районирования во многих случаях не оправдали себя потому, что построены они на весьма недостаточном материале, без изучения в данных районах тектонических процессов, вызывающих подземные толчки. Некоторые авторы, как, например, В. В. Попов, в объяснительных записках к статистическим картам вообще не затрагивают вопроса генезиса землетрясений. Д. И. Мушкетов хотя и отмечает, что землетрясения во многих случаях, вероятно, связаны с разрывами, но совершенно не учитывает это при своих построениях и пользуется только статистическими данными. Американский ученый Э. Тиллотсон писал в 1940 году, что прогнозировать места возникновения будущих сильных землетрясений можно только там, где они ранее регистрировались. Иные пути при настоящем развитии науки безумны (!).

В 1947 году Г. П. Горшков высказывал мнение о том, что «мы не имеем права» принимать во внимание активные геологические структуры и разрывы, если непосредственно по ним в данных местах сильные подземные толчки не отмечались¹.

Ранее высказанные, в частности в 1872 году А. П. Орловым, предположения о связи сильных подземных толчков с поднятиями и разрывами в земной коре или о приуроченности к последним, как, например, выяснил Л. А. Варданянц для Кавказа, стали считаться спорными. Одним из оснований для этого служило то, что эпицентры многочисленных сильных землетрясений, происшедших позднее и определенных инструментальным путем, правда, с большими ошиб-

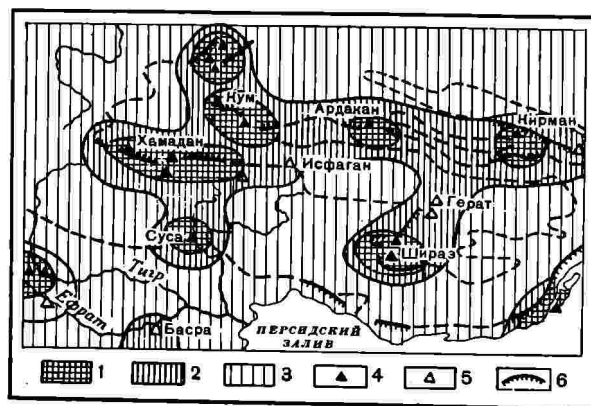


Рис. 2. Карта сейсмического районирования (сейсмичности) Южного и Центрального Ирана. По А. Зибергу, 1932. 1 зона 9-8 баллов; 2 — 7-6 баллов; 3 — 5-4 балла; 4 — разрушенные селения; 5 — неразрушенные селения; 6 — разрывы

ками, не совпадали с разрывами. Очаги многих таких землетрясений, например в Таджикистане, определялись также с большой ошибкой на глубине свыше 60 километров, т. е. вне структур земной коры.

Проведенное автором за последние 20 лет детальное изучение геологических предпосылок и площадей распространения 18 сильных землетрясений в Таджикистане¹ показало, что эти землетрясения имеют неглубокие очаги — в пределах земной коры и непосредственно связаны с современными дифференцированными тектоническими движениями, последствия которых отчетливо выражены на земной поверхности. Это вызвало необходимость пересмотреть на базе полученных представлений и новых геологических данных соответствующие сейсмостатистические материалы и по другим районам Советского Союза. Полученные выводы, опубликованные автором в 1947 и 1950 годах, подтверждают и развивают идеи старых русских ученых А. П. Орлова и других.

В настоящее время можно считать установленным, что разрушительные землетрясения происходят не в любых местах, а в районах интенсивного проявления дифференцированных тектонических движений — в зонах контакта относительных поднятий

¹ Г. П. Горшков. Землетрясения Туркмении. Труды Сейсмологического института АН СССР, № 122, 1947, стр. 37—42, 44—45.

¹ И. Е. Губин. Сейсмотектонический метод сейсмического районирования. Труды Геофизического института АН СССР, № 13 (140), 1950.

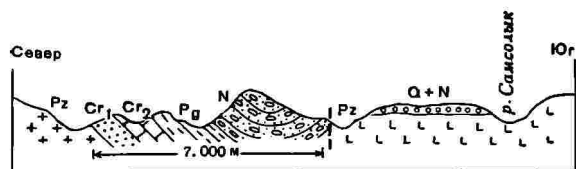


Рис. 3. Геологический профиль (разрез верхней части земной коры) в пределах южного склона Гиссарского хребта. Полевая зарисовка И. Е. Губина. К разрыву (обозначен пунктирной линией) было приурочено сильное землетрясение

и опусканий различных участков (структур) земной коры.

На территории СССР (на Кавказе, в Средней Азии, Сибири и т. д.) разрушительные землетрясения возникают обычно в пределах земной коры¹, преимущественно до глубины 25—30 километров. Там, где достаточно точно определены эпицентральные зоны таких землетрясений (т. е. участки земной поверхности, расположенные над их очагами) и выяснено геологическое строение местности, отмечается линейность эпицентральных зон; приуроченность их к разрывам, по которым происходят движения при дифференцированных поднятиях или опусканиях прилегающих структур земной коры (рис. 3).

Подземные толчки с более глубокими очагами редко и лишь в некоторых областях достигают на земной поверхности значительной силы. В Советском Союзе такие землетрясения известны, например, на Дальнем Востоке, где они преимущественно происходят на стыке континента с океанической впадиной.

Рассмотрим кратко имеющийся фактический материал. В Таджикистане сильные землетрясения в 15 случаях из 18 были отмечены на ранее не зарегистрированных местах. Их эпицентральные зоны располагались в различных активных тектонических зонах, а очаги — преимущественно в верхней части земной коры.

Первая из упомянутых тектонических зон характеризуется резкой контрастностью движений. Она включает почти широтно вытянутую окраину крутого и высокого

южного склона Гиссарского хребта (восточнее Алайского хребта и Кокшаал-тау). Вдоль нее проходит цепь почти вертикальных разрывов. По ним то в одном участке зоны, то в другом происходят движения, обусловленные поднятием этих хребтов, сложенных плотными древними (палеозойскими) породами. В пределах этой зоны возникали 8- и 9-балльные землетрясения, названные гиссарскими. К числу их относятся: Каратагское 1907 года, Чуянчинское этого же года, Файзабадское 1943 года, Гармское 1941 года, Хаитское 1949 года, Иркештамские и другие. Площади наибольших разрушений этих землетрясений располагались вдоль линий разрывов и имели максимальную длину до 50—60 километров при ширине 10—15 километров. Их очаги, вероятно, находились на глубинах до 10—25 километров. В южных предгорьях хребта Кокшаал-тау были зарегистрированы разрушительные землетрясения вблизи Кашгара в 1902 году и Аксу в 1716 году.

Вторая тектоническая зона находится уже в предгорном памирском прогибе и приурочена к его северному краю, включающему северные склоны хребта Петра I, горы Сурхку, Тианские и другие. Они сложены относительно пластичными мощными молодыми мезозойскими и третичными толщами, собранными в сложные поверхностные складки, дисгармоничные к подстилающим породам. В них развиты разрывы-надвиги, по которым происходят движения масс вблизи земной поверхности. В пределах настоящей зоны возникали разрушительные землетрясения, силой 9 и менее баллов, названные привахшскими. К их числу относятся: Дейшинские 1930 и 1943 годов, Кафдонское 1943 года, Гашионское 1947 года, Каратегинские 1895 и 1939 годов, Сафидоуское (начало текущего столетия) и другие. Площади наибольших разрушений данных землетрясений располагались вблизи линий разрывов, на надвинутых участках земной коры, имели среднюю длину до 10—15 километров и ширину 2—3 километра, местами немного больше. Глубина очагов была до 3—6 километров (в пределах глубины залегания мезозойских и третичных толщ).

Таким образом, привахшские землетрясения отличаются от гиссарских меньшей глубиной очагов, относительно меньшей си-

¹ Толщина земной коры (верхней оболочки земного шара) в настоящее время исчисляется на территории СССР в 50—60 километров, в Охотском море — до 70 километров и, возможно, несколько больше.

лой и вместе с тем небольшими площадями распространения, что соответствует тектоническим процессам. Их очаги располагаются в пределах вышеупомянутых небольших нарушенных поверхностных складок, испытывающих местные смещения, тогда как очаги гиссарских подземных толчков приурочены к местам глыбовых движений больших жестких участков земной коры.

В пределах третьей тектонической зоны возникают землетрясения, названные средне-хингускими, в четвертой они того же характера, что и в Гиссарском хребте.

Районы Северного Памира и Афганистана (Гиндукуша) в течение длительных геологических эпох преимущественно поднимались, а участки, расположенные севернее, — опускались. Амплитуда движения достигла 15—17 километров. Это дает основание полагать, что разрывы, развитые здесь в зоне стыка участков поднятия и опускания, достигают больших глубин. В настоящее время в районах этих разрывов, согласно данным сейсмической службы, возникают, как и следовало ожидать, землетрясения на больших глубинах до 150—200 километров. На земной поверхности разрушений они не вызывают.

Рассмотрим землетрясения в других районах. В Северном Тянь-Шане с конца прошлого столетия было отмечено пять разрушительных землетрясений (рис. 4), возникших в ранее не зарегистрированных местах, в пределах хребтов Киргизского, Заилийского Ала-тау и Кунгей Ала-тау. Последние представляют собой мощные современные поднятия, нарушенные крутыми, преимущественно продольными, разрывами.

Верненское землетрясение 1887 года было приурочено, по данным И. В. Мушкетова, к северному склону хребта Заилийского Ала-тау. Его эпицентральная зона располагалась вдоль хребта в районе, где в то время произошли движения по разрывам, следы которых наблюдались на земной поверхности. Вдоль этих разрывов и были наибольшие разрушения.

Тяншаньское землетрясение 1911 года возникло, по данным К. И. Богдановича, в Кеминской долине, отделяющей хребет Заилийского Ала-тау от Кунгей Ала-тау. Площадь вызванных им наибольших разрушений находилась в зоне, где по разрывам,

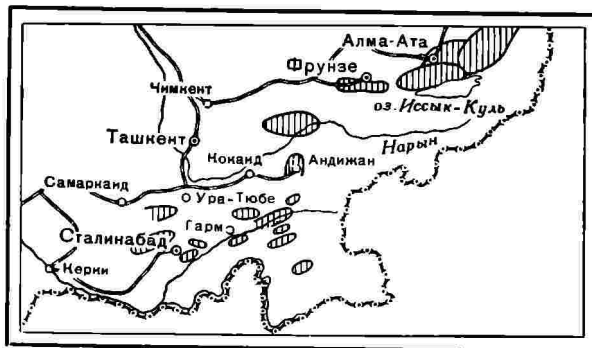


Рис. 4. Карта землетрясений силой до 8—9 и более баллов, происшедших в Средней Азии с 1885 по 1949 год

имеющим протяженность до 150 километров, произошли движения. Следы этих движений сохранились на земной поверхности и достигают амплитуды 2—3 метров, а местами 5—7 метров.

Кемино-Чуйское землетрясение 1938 года имело эпицентр в устье реки Большой Кемин, где около разрывов наблюдались нарушения рельефа.

Беловодское землетрясение 1885 года возникло в основании северного склона Киргизского хребта. Его площадь была вытянута вдоль развитых здесь продольных разрывов. На земной поверхности произошло, по данным И. В. Игнатьева, образование трещин длиной до 20 километров (рис. 5). Чиликское землетрясение 1889 года, возможно, было приурочено к разрывам, ограничивающим долину верхнего течения реки Чилик.

В Тувинской автономной области было зарегистрировано в 1905 году в хребте Танну-Ола два разрушительных землетрясения, во время которых (как выяснил А. В. Вознесенский) произошли смещения земной поверхности по двум параллельным разрывам северо-восточного простирания, длиной более 200 километров. Эти движения по разрывам, вероятно, и обусловили данные подземные толчки.

В Прибайкальской области отмечено пять восьми- и девятибалльных землетрясений, связанных с молодыми восточносибирскими грабенами, т. е. опущенными участками, ограниченными разрывами. К таким участкам относятся озеро Косогол, Тункинская впадина и Байкальское озеро.

Три из упомянутых землетрясений произошли в широтно вытянутой Тункинской впадине. Последняя с севера ограничена крутым разрывом, недавние движения по которому привели к образованию очень крутого склона высотой до 2 километров. Разрывы имеются и по южному краю впадины. Площадь наибольшего разрушения подземного толчка, возникшего здесь в 1814 году, была вытянута в широтном направлении вдоль восточной части впадины, а площадь землетрясения 1829 года — вдоль ее западного окончания, т. е. оба землетрясения приурочивались к молодым разрывам. Такого же характера было Мондинское девятибалльное землетрясение 1950 года; его эпицентр был приурочен к основанию северного склона западной части впадины (Мондинской котловины).

В районе озера Байкал отмечено два разрушительных подземных толчка, оба на его восточном берегу. При Кударинском землетрясении 1862 года силой 9 баллов произошло опускание на 8 метров части восточного берега озера, в устье реки Селенги, на площади около 200 квадратных километров.

Подобные примеры приуроченности разрушительных землетрясений к активным участкам (геологическим структурам) земной коры, испытывающим движения по разрывам, можно продолжить и по другим районам.

При изучении сильных землетрясений устанавливается в общем соответствие характера подземных толчков с различными геологическими структурами, в частности, с составом слагающих их пород и формами проявления современных тектонических движений. Иными словами, в различных по генезису и истории развития структурах возникают характерные для них сильнейшие землетрясения.

Как уже упоминалось, в южных районах Средней Азии подземные толчки делятся на гиссарские, привахские, среднехингоуские и афганские (в Гиндукуше) по характеру проявления и приуроченности к разнородным структурам. Они различаются относительной силой, глубиной очагов, размерами площадей распространения, ее ориентировкой и частотой повторения. Специфический характер имеют северотяньшаньские

подземные толчки, при которых во многих случаях происходят движения по разрывам у земной поверхности.

Известные нам землетрясения чаще возникали в районах, где тектонические движения по разрывам наиболее активны, что в ряде случаев зависит от состава нарушаемых пород и характера структуры. К числу особенно активных территорий относятся многие участки Средней Азии, в том числе ряд зон в Гармской области.

Проведенное в Геофизическом институте в 1951 году новым методом¹ изучение сейсмограмм многих подземных толчков показало, что в их очагах происходили определенно ориентированные дислокации. При Гармском землетрясении 1941 года смещение в очаге, в глубине земной коры, было ориентировано в почти широтном направлении, что соответствует простиранию развитых здесь разрывов, выходящих на земную поверхность. Смещения в очаге разрушительного Чаткальского землетрясения 1946 года согласуются с геологическими материалами о положении поверхности Таласо-Ферганского разрыва.

В Гармской области в Гиссарском хребте поверхности дислокаций в очагах многочисленных слабых подземных толчков были ориентированы в северо-восточном и северо-западном направлениях, что соответствует направлению разрывов в данных местах. В хребте Петра I они ориентированы уже иначе — в юго-западном направлении, т. е. в соответствии с развитыми здесь складками и разрывами, выходящими на земную поверхность.

Крайне интересные результаты работ по определению очагов и эпицентров многочисленных слабых землетрясений при помощи региональных сейсмических станций, в том числе высокочувствительных временных станций, устанавливаемых в эпицентральных зонах.

Эти работы проведены за последние два года Геофизическим институтом в Гармской области, в зоне трассы Главного Туркменского канала, и в Закавказье. Они также показали связь подземных толчков с конкретными активными геологическими струк-

¹ Автор этого метода — молодой советский ученый В. И. Кейлис-Борок.

турами; в Гармской области, где обнажаются активные разрывы, очаги и эпицентры располагались в зонах последних.

Изложенные выше материалы дали основание полагать, в качестве рабочей гипотезы, что разрушительные землетрясения не только связаны с местами проявления дифференцированных тектонических движений по разрывам, но, вероятно, и вызываются этими движениями. Характер же землетрясения зависит от формы тектонических движений, типа геологической структуры и состава слагающих ее пород. В местах, где по геологическим материалам интенсивные движения не происходят, как, например, во многих платформенных районах, сильные землетрясения не возникают.

Исходя из данной гипотезы, в 1948 году в Геофизическом институте Академии Наук СССР было предложено изучение тектонических процессов положить в основу составления карт прогноза мест возникновения сильных землетрясений, т. е. в основу сейсмического районирования. Статистический принцип заменился генетическим¹.

Составление таких (генетических) карт прогноза мест землетрясений было названо сейсмогеологическим картированием, а карты — сеймотектоническими. Это название дано потому, что карты строятся на основе выяснения тектонических условий возникновения землетрясений в каждом данном районе. На них в сейсмических областях к местам возникновения сильных землетрясений причисляются зоны нахождения активных (сейсмогенетических) разрывов, связанных с участками земной коры, испытывающими дифференцированные тектонические движения. Остальные места, удаленные от таких разрывов, причисляются к безопасным.

Структуры, в которых возникают сильные землетрясения, выявляются при изучении в историческом разрезе процесса тектонического развития земной коры и современных тектонических движений в каждом районе.



Рис. 5. Трещина в лессовидных суглинках, образовавшаяся на земной поверхности при девятибалльном землетрясении в Средней Азии. Такие же трещины образовались при землетрясении 1885 года

В простейшем случае к сейсмогенетическим структурам причисляются те структуры, которые имеют следы недавних больших дифференцированных движений, связанных с последним современным этапом их развития, и где ныне эти движения продолжают, сопровождаясь перемещениями по разрывам. К числу последних относятся как разрывы, выходящие на земную поверхность, так и предполагаемые в глубине земной коры. К участкам вероятного возникновения землетрясений также причисляются места, в которых может возникнуть новый разрыв (значительной длины), в соответствии с особенностями протекающего тектонического процесса¹.

Следует отметить, что наиболее часто движения по разрывам и землетрясения происходят вдоль стыков разнородных геологических структур, испытывающих дифференцированные движения, затем внутри этих структур (вдоль контактов разнородных тектонических зон) и т. д.

В случае неясности возраста и интенсивности тектонических движений в изучае-

¹ Возможность образования в текущее время новых разрывов и сильных землетрясений по ним является теоретическим допущением, соответствующих доказанных примеров которого мы еще не имеем. Вследствие относительной медленности изменения форм развития земной коры тектонические движения и землетрясения происходят в течение тысячелетий преимущественно по старым разрывам, новые же крупные разрывы в указанные сроки образуются чрезвычайно редко.

¹ И. Е. Губин. Землетрясения в Гармской области. Труды Геофизического института АН СССР, № 8 (135), 1949, стр. 4.

мом районе решение вопроса облегчается хотя бы небольшими сейсмостатистическими данными. Например, если по одному или нескольким разрывам какого-либо небольшого участка структуры, которая может иметь протяженность до сотен километров, было зарегистрировано сильное землетрясение, то можно полагать, исходя из цельности процессов развития структур, что как по данному разрыву, так и по другим нарушениям, если они находятся в одинаковых геологических условиях, происходят ныне движения и возникают землетрясения, характерные для изучаемой территории.

Большое значение при определении сейсмогенетичности разрывов имеет выявление мест, в которых возникают слабые подземные толчки, и выяснение характера дислокаций в их очагах при помощи высокочувствительных сейсмографов. Такие слабые толчки, как выяснилось за последние два года исследований, свидетельствуют об активности структуры и связанных с ней разрывов. Сейсмические явления — хороший показатель тектонических движений. При детальном районировании необходимо сейсморазведкой определять геологическое строение на глубине.

Относительная сила и площади распространения возможных в будущем разрушительных землетрясений определяются посредством сейсмогенетической классификации различных структур, т. е. путем выяснения, какие типичные сильнейшие землетрясения свойственны последним, подобно тому как это сделано в Таджикистане. Сравнительная частота повторения сильных подземных толчков выясняется по интенсивности современных тектонических движений. Конечно, статистические данные учитываются при составлении сейсмотектонических карт, дополняя их. Особенностью же сейсмотектонических карт является то, что на них изображаются места возникновения и площади распространения будущих сильных подземных толчков, причем в большинстве случаев в участках, где ранее они не регистрировались. В этом заключается их коренное отличие от статистических карт, на которых нанесены только площади бывших землетрясений, зарегистрированных в среднем лишь за последние 50—100 лет.

Время возникновения землетрясений при составлении сейсмотектонических карт не определяется, но так как эти карты основаны на анализе современных тектонических движений, то можно полагать, что в найденных сейсмогенетических структурах в любой момент может возникнуть подземный толчок. По сравнению со статистическими картами здесь все же этот вопрос учитывается полнее, во-первых, потому, что там к местам возможных в будущем землетрясений причисляются районы уже разрядившихся очагов, здесь же учитываются многие очаги, в которых напряжения достигают степени разрядки. Во-вторых, как отмечалось выше, при сейсмотектоническом районировании учитывается и относительная интенсивность современных тектонических процессов в изучаемом месте.

Поднятия и опускания отдельных участков земной коры, в том числе связанные с ними движения по разрывам, вызывающие землетрясения, имеют в каждом данном сейсмическом районе длительную историю и постоянную общую направленность в течение относительно больших отрезков времени. Движения как небольшой, так и значительной амплитуды, происходили в одних и тех же местах в течение тысячелетий. Поэтому последствия суммы этих движений, происходивших на различных глубинах, даже весьма больших, отображаются на земной поверхности в виде изменения рельефа, нарушения геологических пластов, в изменении режима осадконакопления и т. д.

В горных районах, где поднятия значительны, все эти последствия выражены достаточно отчетливо. Большинство активных разрывов и сложных тектонических зон, связанных с нарушениями на больших глубинах, в том или ином виде выходят на земную поверхность. На прилегающих равнинах обычно преобладают относительные опускания, происходит накопление осадков и соответствующие геологические структуры перекрыты молодыми ненарушенными слоями.

Поэтому в упомянутых горных обнаженных районах сейсмотектонические карты могут составляться по геологическим, геоморфологическим и сейсмостатистическим данным, дополняющим друг друга; большую помощь могут оказать и геофизические исследования. В таких условиях можно выявить большинство мест возникновения сильных под-

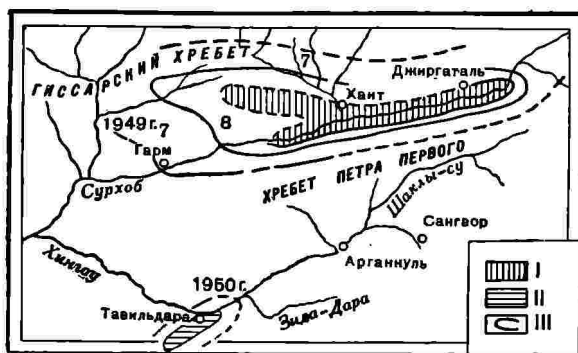


Рис. 7. Схематическая карта сильных землетрясений, происшедших в Гармской области Таджикской ССР в 1949 по 1951 год включительно. Составил И. Е. Губин в 1951 году. I — зона 9 баллов; II — 7-8 баллов; III — линии, ограничивающие площади одинакового сотрясения

Таким образом, на протяжении двух лет сейсмотектоническим методом был дважды осуществлен прогноз землетрясения, с учетом трех элементов: места возникновения, силы и площади распространения.

Тавильдаринское землетрясение возникло в зоне, где на земной поверхности нет следов тектонических нарушений, а пласты пород лишь полого изогнуты. Но под ними, на глубине 3—5 километров, было предположено существование сейсмогенетического разрыва и допущено, что по нему в будущем возможно возникновение сильного подземного толчка.

Инструментально определенный очаг Тавильдаринского землетрясения совпал с предполагаемым местонахождением этого разрыва.

Глубина очагов возможных сильных землетрясений в долине реки Сурхоб предполагалась до 15—25 километров. Очаг Хаитского землетрясения по инструментальным данным был определен сотрудиниками Геофизического института Академии Наук СССР в пределах указанной глубины, максимум до 33 километров.

Совпали также с несколькими другими эпицентрными зонами сейсмотектонической карты Гармской области эпицентры многочисленных слабых землетрясений,

возникших в 1949—1950 годах и определенных на месте инструментальным путем.

Выделенные при составлении опытных сейсмотектонических карт Гармской, Сталинабадской и Термезской областей зоны различной балльности не соответствуют обобщенной статистической карте районирования, составленной Г. П. Горшковым в 1949 году. В пределах механически расширенной связующей восьмibalльной зоны этой карты установлены участки большей и меньшей балльности, а в семibalльных районах — участки восьми- и даже девятибалльные.

Таким образом, составление сейсмотектонических карт приводит не к сплошному увеличению балльности изучаемых территорий, по сравнению с имеющимися обобщенными сейсмостатистическими картами районирования, а к их дробному расчленению и к выявлению большого количества ранее незарегистрированных очагов. Вследствие этого сейсмотектонические карты дают возможность целесообразнее, чем раньше, планировать антисейсмические мероприятия при строительстве. В областях возникновения поверхностных землетрясений сейсмотектоническое районирование может быть весьма детальным. Там же, где происходят подземные толчки с более глубокими очагами, детальность районирования понижается.

Принятие активной геологической структуры в качестве основы сейсморайонирования дает и одно из возможных направлений для решения проблемы определения времени землетрясения. Путь к разрешению этой проблемы — изучение процесса тектонического развития структур и характерных геофизических явлений, вероятно, свойственных различным стадиям этого процесса, включая момент, когда напряжения достигают разрушающего уровня.

Составление сейсмотектонических карт, основанных на принципах, изложенных в настоящей статье, было впервые применено на практике в Средней Азии, в Гармской области, в 1948 году. Как каждое картирование, оно связано со многими научными дисциплинами; например, геологическое картирование опирается на петрографию, минералогию, палеонтологию и т. д. Результаты соответствующих исследований обобщаются при составлении геологических карт. Сейсмогеологическое картирование использует результаты геодезических, геоло-

гических, геофизических, сейсмостатистических и других исследований, в том числе работ по изучению геологических предпосылок землетрясений. Специфический способ обобщения результатов данных исследований для составления карт прогноза мест возникновения разрушительных землетрясений был назван автором сеймотектоническим методом. В его основе лежит исторический подход к сейсмическим явлениям, возникающим вследствие тектонических процессов.

Физическая сторона сейсмических явлений изучена еще недостаточно, но тесная связь последних с геологическими процессами все же дала возможность наметить пути для геологического обоснования карт сейсмического районирования, в частности, выявить путь для определения мест возникновения разрушительных землетрясений и разработать основные положения соответствующего метода. При помощи его уже возможно составлять карты прогноза большинства пунктов возникновения обычных сильных подземных толчков на многих обнаженных горных и предгорных территориях.

Как уже упоминалось, сеймотектонические карты пока составлены только для южных горных областей Средней Азии и сейсмический метод не был испытан в других сейсмических районах. Не все вопросы такого картирования еще разрешены.

Дальнейшая разработка сеймотектонического метода и принципов сейсмогеологического картирования возможна на основе изучения геологических предпосылок землетрясений и составления опытных карт районирования различных областей СССР с разным тектоническим строением, в том числе и равнинных территорий, закрытых молодыми ненарушенными отложениями.

Вследствие большого строительства в сейсмических областях территории СССР, необходимо скорейшее составление сеймотектонических карт, в первую очередь в местах, где создаются крупные сооружения.

Статистические исследования сыграли положительную роль в познании сейсмических явлений. Сейсмогеологическое картирование является следующим этапом в этом отношении, вытекающим из всей суммы предыдущих работ.

ЛИТЕРАТУРА

Л. А. Варданянц. Сеймотектоника Кавказа. Труды Сейсмол. ин-та АН СССР, № 64, 1935. Г. П. Горшков. Сейсмическое районирование Туркмении. Изв. Туркменск. ФАН СССР, № 2, 1945. Г. П. Горшков. О сейсмическом районировании Средней Азии. Труды Сейсмол. ин-та АН СССР, № 79, 1936. И. Е. Губин. Гармское землетрясение 1941 г. Изд. Таджикск. ФАН СССР, Сталинабад, 1943. И. Е. Губин. Тектоника и распределение эпицентров разрушительных землетрясений в Таджикистане. Сообщ. Таджикск. ФАН СССР, вып. 1,

1947. Д. И. Мушкетов. Сейсмическое районирование Средней Азии. Труды Сейсмол. ин-та АН СССР, № 34, 1933. В. В. Попов. Схема сейсмического районирования СССР. Труды Сейсмол. ин-та АН СССР, № 95, 1941. Г. В. Попов. Исторический обзор землетрясений Ташкентского сейсмического района, Ташкент, 1939. А. Sieberg. Erdbebengeographie, Berlin, 1932. E. Tillotson. Rumanian earthquake of november. 10, 1940. Natur, N 3708, nov. 23, 1940. Carlo Morelli. Carta sismica dell'Albania. Reale Accademia d'Italia, 1940.