

ТАТАРСТАН

(с древнейших времён по 1994 год)

К.М. Мирзоев, М.Х. Рахматуллин, Р.Н. Гатиятуллин

Территория Республики Татарстан расположена в центральной части Восточно-Европейской платформы и относится к слабосейсмичной зоне, где катастрофических землетрясений не происходит. Относительно слабый уровень сейсмичности Восточно-Европейской платформы соответствует концепции динамического влияния на неё удалённых орогенных и складчатых областей, где сейсмические процессы протекают более интенсивно [1].

**Макросейсмические сведения об ощутимых
землетрясениях Восточно-Европейской платформы**

Сейсмические воздействия от природных источников на территории Восточно-Европейской платформы чётко подразделяются на две группы. Первая группа – это сотрясения, порождаемые землетрясениями от удалённых очагов, располагающихся за пределами платформы. И вторая – это сотрясения, порождаемые близкими, местными землетрясениями с очагами в земной коре самой платформы.

Первая группа сотрясений связана с сейсмическими колебаниями от сильных землетрясений нескольких регионов в пределах Альпийского подвижного пояса, обрамляющих Восточно-Европейскую платформу с юга. Это – Карпаты с глубокофокусными очагами Вранча, Крым – с очагами в окружающей акватории Чёрного моря, Кавказ – с очагами под северными передовыми хребтами Кавказа и главным Кавказским хребтом и, наконец, Копетдаг, точнее, его Красноводско-Балханская зона.

Сильнейшим Карпатским землетрясением является землетрясение 26.10.1802 г. ($t_0=10^h55^m$, $M=7.4$, $I_0=9$ баллов [2]). Уточнение макросейсмических сведений для этого землетрясения выполнено Никоновым А.А. [3]: к известным ранее сведениям из 35 населённых пунктов добавлено еще 18, что повысило надёжность проведения его изосейст.

В том же источнике [3] описаны макросейсмические данные о землетрясении 1668 г. на Кавказе. В Астрахани ($\Delta=560$ км) интенсивность сотрясений от этого толчка достигала 5-6 баллов; в Среднем Поволжье сотрясения могли быть около 4-х баллов, но подтверждений этому не обнаружено. В Татарстане интенсивность сотрясений вряд ли превысила 3 балла.

Из Копетдага известно [4] воздействие только от Красноводского землетрясения 08.07.1895 г. ($t_0=21^h30^m$, $M=8.2$, $I_0=10$ баллов [2]). В [3] заново были собраны и обработаны первичные макросейсмические материалы этого землетрясения в 72 пунктах. На севере область 6-балльных сотрясений достигла низовьев р. Волги, а 4-балльных – даже Самарской Луки. В Татарстане колебания от этого землетрясения, по нашему мнению, могли достигать интенсивности 3 балла.

Сводная карта изосейст перечисленных выше и нескольких других землетрясений Альпийского пояса, проявившихся на территории Восточно-Европейской платформы, составлена А.А. Никоновым [3] (рис. 1), по которой максимальная интенсивность сотрясений на территории Татарстана не превышает 3 баллов. Повторяемость таких сотрясений по нашим оценкам составляет 3-4 раза за 200 лет.

По второй группе событий, происшедших непосредственно на территории Восточно-Европейской платформы, наиболее полные сведения удалось собрать И.В. Ананьину – более 400 толчков за период с 1467 г. по настоящее время [2,5,6]. Из-за ограниченности сведений о проявлении землетрясений на этой территории только для 160 толчков определены эпицентры, для 50 – балл в эпицентре, для 25 – магнитуда и только для 10 землетрясений – глубина очага.

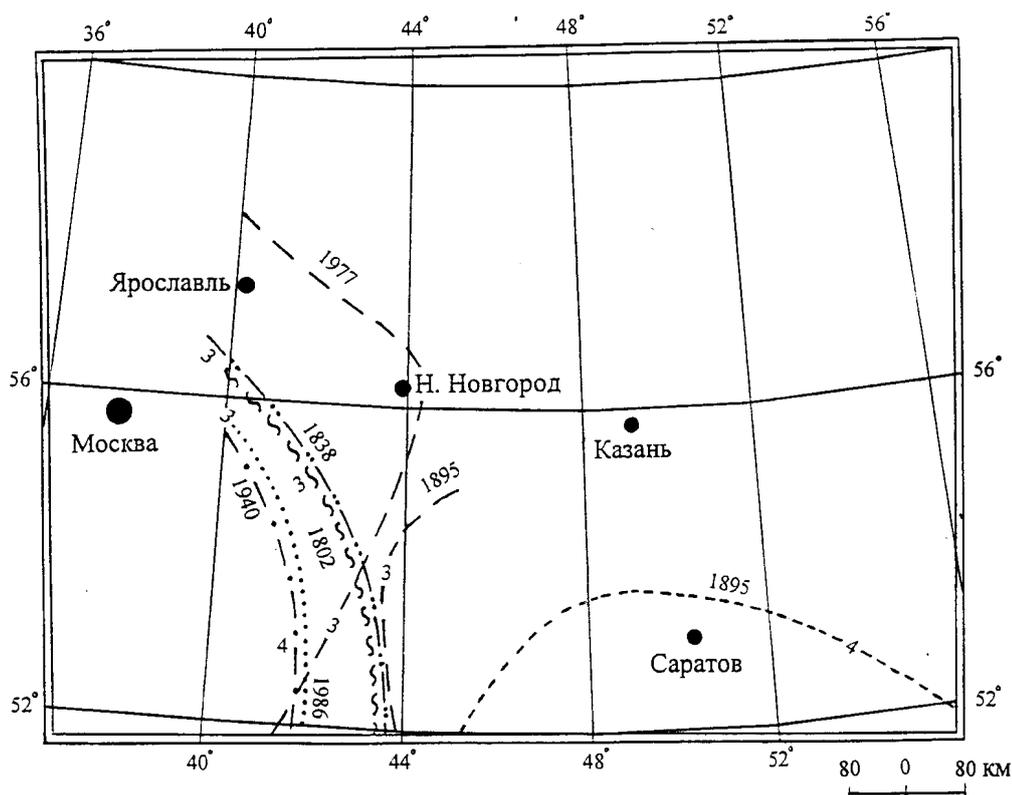


Рис. 1. Схема расположения изосейст сильнейших землетрясений Вранча, Кавказа и Копетдага, проявившихся в центральной части Восточно-Европейской платформы (составил А.А. Никонов [3]). (Разные типы линий соответствуют разным землетрясениям).

Дополнительные сведения о проявлениях ощутимых землетрясений на территории Восточно-Европейской платформы недавно найдены А.А. Никоновым [3] при сплошном просмотре центральных газет за XIX век, а также в государственных исторических и военных архивах. В результате возросло число исходных сообщений о сотрясениях в ряде пунктов и число самих пунктов для большинства рассмотренных землетрясений, увеличилась надёжность определений интенсивности в отдельных пунктах. Назовем важнейшие события, информация о которых подобрана в [3].

В "Новом каталоге ..." [2] отмечается землетрясение 1596 г. под Нижним Новгородом, вблизи Печорского монастыря, с интенсивностью 7 ± 1 баллов. Однако всего в нескольких километрах от монастыря, в самом Нижнем Новгороде оно не отмечено. Возможно, что это было провальное-карстовое землетрясение.

Еще раньше, в 1549 г., имело место землетрясение в Башкирии, в с. Сарт-Хасяново. Как отмечено в [7] – "земля кричала". Предполагается, что это также провальное-карстовое землетрясение.

В 1611 г. в Башкирии, к юго-западу от Уфы, произошло землетрясение – "во время грозы земля дрожала и тряслась" [7].

В Военно-Морском архиве Санкт-Петербурга [8] в 1806 г. на р. Волге отмечено "нарочитое колебание по воде, происходившее от землетрясения, которое ... происходило около 5 секунд" вблизи г. Козьмодемьянска. В [2, 9] этому событию приписывается другая дата (15 сентября 1807 г.): оно продолжалось 2.5 минуты и выразилось в волнении воды на р. Волге, в результате на берег выбросило несколько судов. Интенсивность сотрясений $I_0 = 6 \pm 1$ баллов. В то же время из других мест информации об этом землетрясении нет.

4 июня 1839 г. на р. Волге вблизи г. Сызрани произошло землетрясение, сопровождавшееся гулом, а также треском ломающихся строений [4, 10, 11].

В 1839 г. в с. Фёдоровка Саратовской губернии в течение нескольких дней, с 28 июня по 6 июля, отмечались гул и движение земли, повреждения множества домов [4, 11].

10 июля 1844 г. в г. Саратове отмечена необычная гроза с сотрясениями земли [4, 12].

20 сентября 1844 г. произошло движение грунтовой массы по склону у Соколовой горы

возле г. Саратова на берегу р. Волги [11].

27 мая 1865 г. произошло (после грозы) оползание берега р. Суры в течение 2 суток с трещинами и валами вспучивания в с. Пореченское Симбирской губернии [4].

8 ноября 1866 г. в с.с. Батырчи и Кубова Уфимской губернии ощущался довольно сильный удар в окружности более чем в 20 км [13,14].

20 декабря 1872 г. в с. Ивкино Вятской губернии произошел подземный удар, на площади появились трещины [4].

14 января 1879 г. в с. Беисово Уфимской губернии произошло " два удара разной силы, затем в 1 км от деревни возник котлообразный провал 120 м в окружности [4,13,14].

В конце мая 1885 г. на р. Хлебной у с. Шишикино Оренбургской губернии (в 60 км к северо-западу от Оренбурга) произошло событие с гулом, как от выстрела, и выбросом земли до 600 м, образовалась воронка [4, 13].

9 октября 1885 г. произошло землетрясение в с. Фёдоровка Саратовской губернии, при котором отмечено колебание почвы, дребезжание посуды в домах [4].

30 августа 1887 г. было землетрясение на р. Кама вблизи с. Частинского Пермской губернии. Отмечен толчок, затем колебания почвы, звон стёкол в домах, качание стен и деревьев [4, 13, 14].

25 августа 1897 г. произошло землетрясение в районе г. Вятки с $M=5.0-5.2$ и $h=10$ км [15].

Примеры ряда толчков можно привести и в текущем столетии. 1 июля 1908 г. в с. Большая Сосновка Пермской губернии произошло землетрясение, сопровождаемое громким гулом [13, 14].

Кроме того, в [15, 16] отмечается серия из 5 землетрясений в Пермской области – в 1911 и 1914 гг., и там же серия из трёх землетрясений в 1931 г., интенсивность одного из которых достигала 6 баллов, и еще один толчок в 1955 г.

13 декабря 1930 г. в г. Магнитогорске отмечены колебания почвы наподобие качки [13].

В том же 1930 г. произошел толчок в с. Кубенцово Горьковской области. В каменных домах звенели стёкла, трещала железная решетка вентилятора, качались подвешенные к потолку лампы [14].

13 января 1939 г. сейсмические станции СССР зарегистрировали три землетрясения в районе г. Сыктывкара, одно из которых имело $M=4.7$ и ощутимость до 7 баллов [2].

В 1946 г. в долине р. Камы, в её среднем течении, в 1.5 км от с. Галеево, произошел обвал с трещиной отрыва, который сопровождался сильным шумом, слышимым за 2.5 км, были заметны сотрясения от удара, наблюдалось разрушение старых построек [17].

По имеющимся данным средняя глубина очагов тектонических землетрясений Восточно-Европейской платформы составляет 10 ± 6 км [18]. Этот же результат подтверждается по макросейсмическим и инструментальным данным [6].

Макросейсмические проявления землетрясений на территории Татарстана

Землетрясения территории Татарстана имеют различную природу возникновения. Часть слабых и средней силы землетрясений связана с тектоническими движениями земной коры. Как показали многолетние наблюдения, относительные скорости современных вертикальных движений земной поверхности Восточно-Европейской платформы и, в том числе, Татарстана, на базах 500-1000 км достигают 5 мм в год [19].

Другая часть землетрясений Татарстана связана с карстовыми и оползневыми процессами на его территории, которые не могут, как правило, нести большую сейсмическую энергию.

Особую, техногенную, природу имеют землетрясения, происходящие в настоящее время на территории Ромашкинского месторождения нефти на юго-востоке Татарстана, где скорости вертикальных движений земной поверхности на отдельных участках разломов достигают 10-20 см в год. Эти движения являются обратимыми и связаны, прежде всего, с добычей нефти [19, 20]. Откачка нефти здесь начата в 40-х годах. Возбуждённая сейсмичность заметно активизировалась в начале 80-х годов, что связано, прежде всего, с повышением интенсивности добычи и закачки воды, которая ведётся под давлением, нередко превышающим начальные пластовые.

Макросейсмические проявления на территории Татарстана описаны в ряде опубликованных работ и рукописных отчетах АО "Татнефть". Наиболее древние обнаружения относятся к VI-V в. до н. э. Так, в результате работы экспедиции Казанского университета [21], найдены сведения о сильном землетрясении в пос. Сорочьи Горы в низовьях р. Камы: "В результате вскрытия широкой площади удалось установить, что сильно укреплённое городище погибло на грани VI-V в. до н. э. в результате тяжелой катастрофы – невиданной силы

землетрясения. Свидетельством этого являются глубокие (2-3 м) трещины в скальном основании культурного слоя". Эпицентр этого землетрясения, имеющего радиус действия 200-250 км, находился в районе Сорочьих Гор. Не исключено, что в данном случае произошло провальное-карстовое землетрясение, проявившееся на нескольких десятках километров одновременно. Сейчас по нашим данным [22] известно, что карстовые зоны в Татарстане глубиной до 300 м и более простираются вдоль разломов, и мощное карстовое обрушение могло произойти в данном случае одновременно на большом протяжении вдоль зоны Алькеевско-Пичкасского разлома.

Имеются и более древние сведения о разрушениях городищ, стихийных бедствиях на территории Татарстана, которые собраны научным центром Института археологии и истории АН Татарстана. Но эти сведения очень скудны и не дают достаточно чёткого представления о конкретных причинах этих бедствий.

Более поздние сведения относятся уже к концу XVIII в. Это – упоминание о сотрясении в г. Казани 14 марта 1794 г. [23], однако сведений в других источниках о нём найти не удалось, так что его происхождение и энергия остаются неопределёнными.

О группе местных землетрясений территории Татарстана имеются сведения в [2]. Прежде всего, это три землетрясения в районе г. Казани, происшедшие в 1845, 1865 и 1909 гг., землетрясение в районе г. Елабуги в 1851 г. и землетрясение южнее нынешнего г. Альметьевска в 1914 г. Магнитуды их по неполным данным оценены в пределах $M=3-4$. На рис. 2 приведена карта эпицентров известных ощутимых землетрясений территории Татарстана с прошлого столетия по 1994 г., а также инструментальных по записям станций "Земля" за 1962 г. и "Черепаша" за 1982-1993 гг.

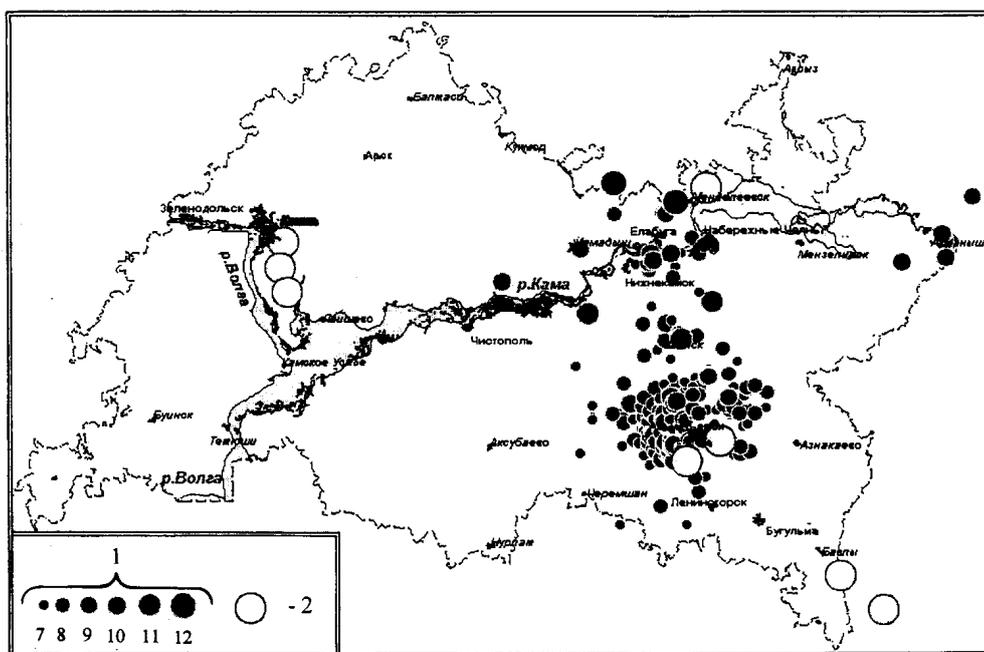


Рис. 2. Карта эпицентров известных ощутимых землетрясений территории Татарстана с прошлого столетия по 1961 г. по макроданным, а также зарегистрированных станциями "Земля" в 1962 г. и станциями "Черепаша" с 1982 г. по 1993 г.

1 – энергетический класс K_i ; 2 – макросейсмический эпицентр.

Землетрясение 1845 г. произошло на р. Волге, выше впадения р. Камы, в с. Сюкеево, в 20 верстах от г. Тетюши (юго-запад Татарстана): "... внутри селения есть чёрное озеро, а посредине небольшой островок. В означенное время все были поражены страшным треском и минутным сотрясением. Вышли и увидели, что острова на озере не было, да и вода исчезла, а на обнажённом дне зияла пропасть. За две недели пропасть крестьяне завалили, через два месяца озеро наполнилось по-прежнему; очевидно, явление это представляет провал" [4]. В работе [24] это землетрясение локализовано в районе г. Казани, но в [2] это же землетрясение по непонятным причинам локализовано в районе г. Перми с координатами $58.5^\circ N$ и $56.5^\circ E$, находящемся в сотнях километров от с. Сюкеево и г. Тетюши.

В 1865 г. в г. Казани произошло "лёгкое сотрясение земли с подземным гулом и грохотом" [4]. Магнитуда его по [2] невелика: $M=2-3$. В 1909 г. в г. Казани произошло сразу два толчка [14], но их магнитуда неизвестна. В 1851 г. землетрясение в Елабуге оценено как 6-балльное [6]. Землетрясение 1914 г. в районе г. Альметьевска ощущалось с интенсивностью 5 баллов [6].

Имеется и еще немало сведений о проявлениях в прошлом ощутимых землетрясений в Татарстане, но они в большинстве своем являются отрывочными и неполными и не позволяют определить точное местонахождение очагов и магнитуду описываемых событий.

В последние годы на территории Татарстана произошли 23 ощутимых землетрясения [25]. Первая попытка построения изосейст современных ощутимых землетрясений Татарстана выполнена И.А. Исхаковым [26], который обследовал пять 5-6-балльных событий, происшедших с 1986 г. по 1991 г. в районах Прикамских и Ромашкинского месторождений нефти (№№ 11,39,42,44,51 [25]). В течение суток, с 23 по 24 сентября 1986 г., произошло сразу три землетрясения с магнитудами $M=3.8, 3.4$ и 3.9 по [25]. Поэтому результат обследования землетрясения №11, произведенного через несколько суток после событий, является следствием воздействия сразу трех толчков, и, прежде всего, сильнейшего из них.

На рис. 3 приведены карты изосейст землетрясений территории Татарстана по табл. 1, составленные И.А. Исхаковым [26]. Как видно, простирания изосейст имеют различные направления, близкие к В-З, С-Ю, С-З и С-В, что соответствует протяжённым зонам трассирования групповых землетрясений [27], основным направлениям разломной тектоники данного района [28] и механизмам очагов землетрясений Татарстана и Восточно-Европейской платформы [29], которые в свою очередь соответствуют глобальной трещиноватости земной коры.

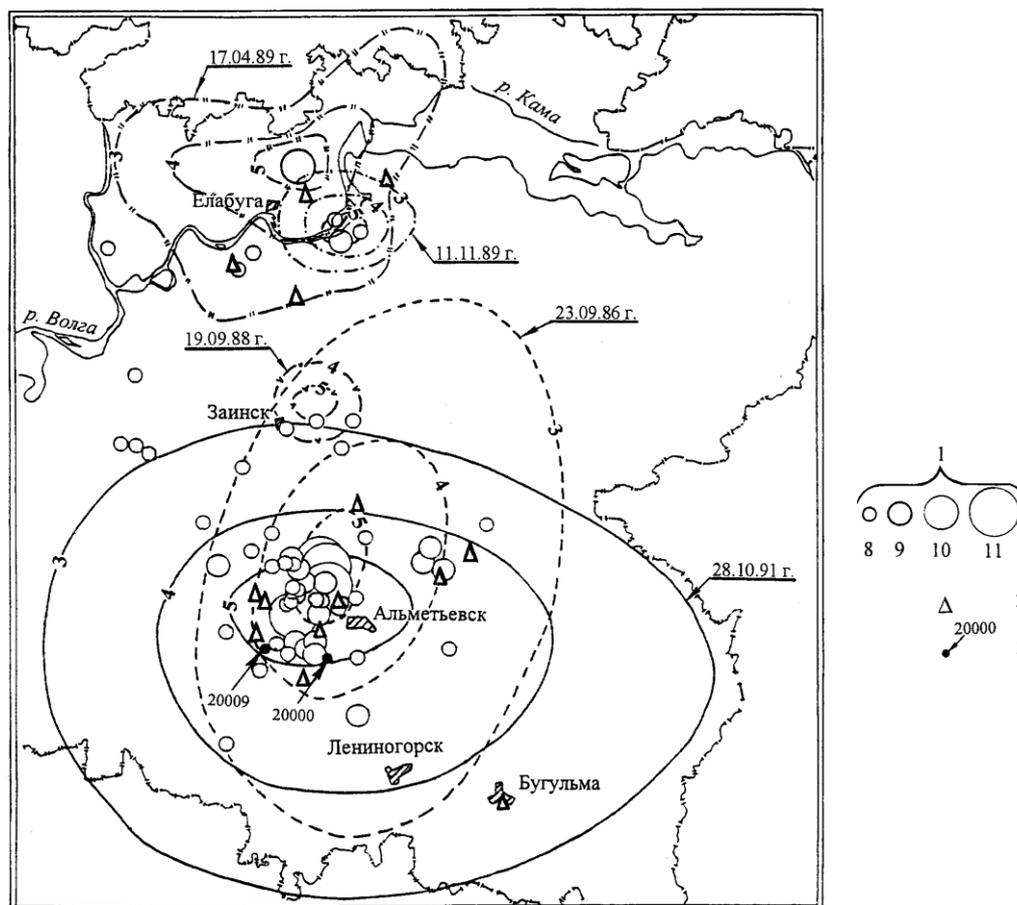


Рис. 3. Изосейсты обследованных ощутимых землетрясений территории Татарстана за 1986-91 гг. (составил И.А. Исхаков)

1 – энергетический класс K_H ; 2 – сейсмическая станция; 3 – скважина.

На рис. 4 приведены графики зависимости логарифма площади изосейст разной интенсивности от землетрясений разных магнитуд, построенные по данным рис. 3. Размеры площадей 6-балльных изосейст являются недостаточно надёжными из-за малого числа населённых пунктов в их пределах. На графиках отслеживается прямое соответствие балла логарифму площади изосейст для землетрясений разных магнитуд, выраженное в их прямолинейности и их параллельности (в пределах разброса). Эти графики позволяют оценить возможные площади 6-, 7-балльных сотрясений в зависимости от магнитуды (рис. 5).

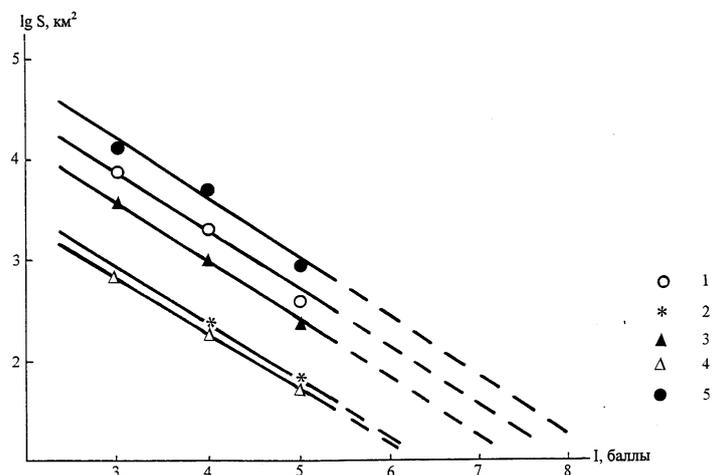


Рис. 4. Графики зависимости логарифмов площадей изосейст землетрясений разных магнитуд от интенсивности сотрясений.

1 - 5 – землетрясения, происшедшие 23.09.86 г., 19.09.88 г., 17.04.89 г., 11.11.89 г., 28.10.91 г. из [25].

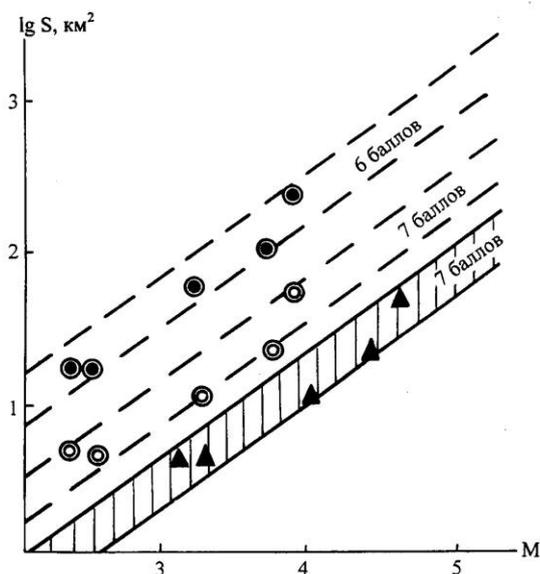


Рис. 5. Графики зависимости размеров площадей изосейст 6-ти (тёмные кружки) и 7-ми (светлые кружки) баллов от магнитуды M землетрясений для территории Татарстана и 7 баллов для территории Евразии (заштрихованная область). Темными треугольниками в пределах заштрихованных областей показаны фактические данные зависимости 7-балльных площадей от магнитуды по Татарстану. (Пунктиром обозначен разброс экспериментальных данных).

Для сравнения на рис. 5 заштрихованной полосой показана зависимость площади 7-балльных сотрясений lgS_7 от магнитуды M , которая получена по землетрясениям Евразии для широкого диапазона магнитуд ($M=4-8$) и была использована при построении теоретических

изосейст землетрясений при расчетах карт сейсмического районирования [30]. Эта фактическая зависимость сохраняет свою значимость по настоящее время и в соответствии с данной работой выражается формулой:

$$\lg S = d + f M.$$

где d и f – постоянные параметры. Для $I=6$ баллов – $d=0.06$, $f=0.55$, и для $I=7$ баллов – $d=-1.87$, $f=0.77$. В табл. 1 приведены расчётные значения площадей изосейст с $I=6-8$ баллов от землетрясений с магнитудами $M=4.0-5.5$.

Таблица 1. Расчётные значения площадей S , км² изосейст колебаний интенсивностью 6-8 баллов от неглубоких землетрясений с магнитудами $MLH=4.0-5.5$

I_0 , баллы	MLH			
	4.0	4.5	5.0	5.5
8				100 км ²
7	16.2	39	96	230
6	180	340	646	1220

Как видно из рис. 5, наклоны графиков совпадают, но имеет место смещение по оси магнитуд примерно на величину $\Delta M=0.7$, что согласуется с выводами работы [25].

Инструментальная регистрация землетрясений на территории Татарстана

О наличии постоянного фона сейсмичности на всей территории Татарстана свидетельствуют данные регистрации многочисленных слабых землетрясений при установке временных сейсмических станций, как, например, в районе Камских полян, где ранее планировалось строительство АЭС, или при изучении строения земной коры по профилям [31-35]. Особый интерес по объему сейсмической информации, накопленной к настоящему времени, представляет территория Ромашкинского месторождения нефти на юго-востоке Татарстана.

Эпизодическая регистрация местных землетрясений на Ромашкинском месторождении начата с 1982 г. с помощью аппаратуры магнитной записи системы "Черепаша". В 1985 г. под руководством И.А. Исхакова была организована опытная служба сейсмических наблюдений из отдельных станций [26]. Непрерывная регистрация местных землетрясений начата в сентябре 1986 г. с вводом в действие трехкомпонентной сейсмической станции АСС-3М в районе Альметьевска на базе сейсмоприемников СВ-5 с собственной частотой колебаний 5 Гц, затуханием 0.7 и частотным диапазоном каналов регистрации в пределах 5-25 Гц. В январе и марте 1987 г. в посёлках Новокаширово и Дербедень установлены еще две такие же сейсмические станции, которые позволили значительно повысить точность локализации землетрясений. Список временных передвижных сейсмических станций, работавших в разные периоды времени с 1982 г. по 1993 г., приведен в табл. 2.

Таблица 2. Список временных передвижных сейсмических станций на территории Ромашкинского месторождения нефти

№	Наименование станций	Код	Координаты		№	Наименование станций	Код	Координаты	
			φ°, N	λ°, E				φ°, N	λ°, E
1	Бугульма	Бгм	54.528	52.840	15	Прости	Прс	55.658	51.962
2	Чупаево	Чуп	54.796	52.133	16	Шельня	Шлн	55.806	52.535
3	Скважина 908		54.942	51.916	17	Поспелово	Псп	55.776	52.234
4	Кичуй	Кич	54.890	51.987	18	Морты	Мрт	55.820	51.721
5	Аппаково	Апп	54.932	51.911	19	Бехтерево	Бхт	55.832	52.120
6	Кульшарипово	Клш	54.893	52.202	20	Санаторий	Снт	55.723	51.955
7	Дербедень	Дрб	54.948	52.017	21	Скв. 10057		54.879	52.390
8	Молодежный	Млд	54.969	51.993	22	Скв. 2131		54.910	52.509
9	Юность	Юн	54.951	52.268	23	Скв. 21722		55.072	52.168
10	Сулеево	Сул	54.966	52.624	24	Скв. 12034		55.146	52.415
11	Дружба	Држ	54.987	52.272	25	Сарманово	Срм	55.254	52.594
12	Ромашкино	Рмш	55.145	52.346	26	Петровск. 3-д	Птр	55.318	52.498
13	Джалиль	Дж	55.024	52.742	27	Заинск	Знс	55.320	52.071
14	Мелекес	Млк	55.579	52.183	28	Муслюмово	Мсл	55.306	53.209

№	Наименование станций	Код	Координаты		№	Наименование станций	Код	Координаты	
			φ°, N	λ°, E				φ°, N	λ°, E
29	Азнакаево	Азн	54.863	53.090	53	Скв. 20009-3		54.871	51.984
30	Карабаш	Крб	54.693	52.580	54	Скв. 20009-4		54.871	51.984
31	Профиль 1	Пр-1	54.743	52.600	55	Скв. 20009-5		54.840	52.018
32	Профиль 2	Пр-2	54.743	52.600	56	Скв. 20009-6		54.849	52.053
33	Профиль 3	Пр-3	54.755	52.597	57	Скв. 20009-7		54.871	52.056
34	Профиль 4	Пр-4	54.770	52.592	58	Скв. 20009-8		54.882	52.090
35	Профиль 5	Пр-5	54.784	52.589	59	Скв. 20009-9		54.898	52.061
36	Профиль 6	Пр-6	54.796	52.584	60	Скв. 20009-10		54.906	52.023
37	Профиль 7	Пр-7	54.811	52.579	61	Скв. 20009-11		54.900	51.981
38	Профиль 8	Пр-8	54.823	52.576	62	Скв. 20009-12		54.883	51.951
39	Профиль 9	Пр-9	54.837	52.572	63	Скв. 20009-13		54.861	51.940
40	Профиль 10	Пр-10	54.851	52.570	64	Скв. 20009-14		54.837	51.949
41	Биш Мунча	Бш-Мн	54.856	52.596	65	Скв. 20009-15		54.821	51.979
42	Камаисмагилово	Кмг	54.903	52.561	66	Скв. 20009-16		54.813	52.020
43	Новый Кашир	Нкш	54.961	52.539	67	Скв. 20009-17		54.820	52.062
44	Болгар	Блг	54.998	52.514	68	Скв. 20009-18		54.835	52.084
45	Ирекле	Ирк	55.044	52.538	69	Скв. 20009-19		54.861	52.099
46	Лешев Тамак	Лтк	55.117	52.632	70	Скв. 20009-20		54.813	52.087
47	Старый Кашир	Скш	55.159	52.555	71	Скв. 20009-10а		54.936	52.061
48	Бухарай	Бух	55.144	52.319	72	Скв. 20009-10б		54.953	52.078
49	Урсаево	Урс	55.099	52.243	73	Скв. 20009-10в		54.980	52.117
50	Муртыш Тамак	Мтм	55.222	52.605	74	Кичучатово	Кчт	54.842	52.076
51	Скв. 20009-1		54.862	52.017	75	Миннибаево	Мнб	54.815	52.235
52	Скв. 20009-2		54.882	52.015					

В 1988 г. регистрирующие комплекты АСС-3М были заменены на более современные типа АСС-6/12 "Черепаша" с трёхкомпонентными сейсмоприемниками СК-1П с собственной частотой колебаний 1 Гц, частотным диапазоном регистрации 1-12 Гц.

В период 1988-91 гг. в этом же районе дополнительно функционировали 7 станций типа "Земля", что обеспечило высокую плотность сейсмических наблюдений.

Начиная с 1991 г. на полигоне начата замена сейсмических станций АСС-6/12 на модернизированный вариант АСС-3/12 "КАРС" и число одновременно работающих станций достигло 11.

Представляется целесообразным несколько подробнее охарактеризовать используемый аппаратный комплекс. Автономная сейсморазведочная станция АСС-3/12 предназначена для долговременной регистрации на магнитную ленту сейсмических сигналов и времени регистрации этих сигналов. Способ регистрации информации – прямая магнитная запись с высокочастотным подмагничиванием. Общее число каналов магнитной записи – 16. Станция обеспечивает несколько режимов регистрации: 6 сейсмических каналов при регистрации на двух амплитудных уровнях с динамическим диапазоном 70 дБ, или 12 каналов при регистрации на одном амплитудном уровне с диапазоном 40 дБ. Станция позволяет вести регистрацию на одной из трёх скоростей движения магнитной ленты: 0,5, 1 или 2 мм/с, что обеспечивает частотный диапазон записи 0,5-16 Гц, 0,5-32 Гц, 0,5-64 Гц соответственно. Питание аппаратуры осуществляется от аккумуляторных батарей напряжением 12 В. Станция снабжена высокоточными кварцевыми часами с точностью до 0,001 с. Каждая станция укомплектована двумя трёхкомпонентными сейсмометрами СК-1П с собственным периодом 1,0 с. Станция ВСС-3/6 – лабораторная часть аппаратного комплекса и предназначена для просмотра записи, зарегистрированной на магнитной ленте станции АСС-3/12 и преобразования её в видимую форму на фотобумаге или в цифровую – в формате ЕС.

Запись сейсмической информации велась в диапазоне частот 0,5-16 Гц на уровне 0,7 АЧХ канала регистрации. При этом максимальное увеличение каналов по смещению достигало $V_{\max}=10^6$. При воспроизведении и цифровом преобразовании на станции ВСС-3/6 вводилось ослабление, которое подбиралось, исходя из локального уровня фона помех в месте наблюдения. Увеличение канала рассчитывалось в соответствии с введённым ослаблением. По полученным записям находилось время вступления Р и S волн с точностью не ниже 0,1 с. Координаты гипоцентров определялись с использованием метода засечек и годографов прямых Р и S волн,

соответствующих скоростному разрезу в табл. 3.

Таблица 3. Скоростной разрез земной коры восточной части Татарстана

№	Мощность слоя, км	Уровень подошвы слоя, км	V_p , км/с
1	1.8	1.8	4.6
2	0.2	2.0	5.8
3	0.7	2.7	6.1
4	0.2	2.9	5.3
5	0.5	3.4	6.4
6	0.8	4.2	6.2
7	0.5	4.7	5.8
8	4.4	9.1	6.4
9	14	23.1	6.8
10	13	36.1	7.4
11		>50	8.0

На рис. 6 показаны распределение по глубинам землетрясений Ромашкинского месторождения нефти за 1982-1994 гг. и карта их эпицентров. Практически все очаги располагаются в приповерхностном слое земной коры 0-5 км, наиболее часто регистрируется глубина 2 км. Очаговая область сравнительно невелика – основная масса эпицентров сосредоточена в пределах координат 54.8-55.2° N и 51.8-52.6° E.

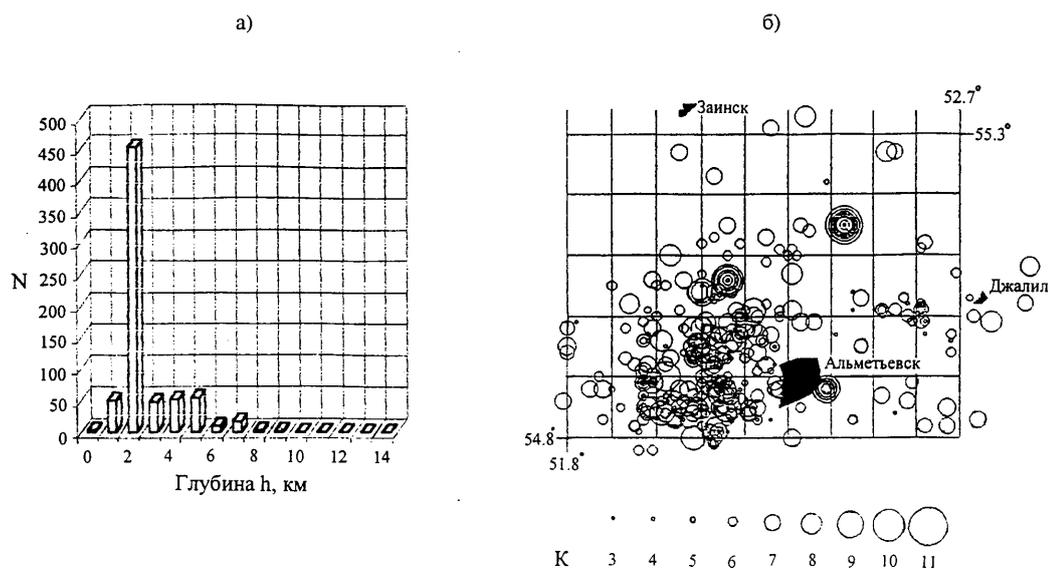


Рис. 6. Распределение числа N землетрясений Ромашкинского месторождения нефти с $K \geq 3$ за 1982-1994 гг. по глубинам h (а) и карта их эпицентров для интервала $h=2-3$ км

Энергетическая представительность землетрясений по данным сети сейсмических станций Татарстана

Уровень надёжной (представительной) регистрации землетрясений определённого энергетического класса зависит от числа сейсмических станций, их взаимного расположения, увеличения и стабильности работы во времени. Как было сказано выше, число одновременно работающих сейсмических станций на Ромашкинском месторождении часто менялось. Поэтому в разные периоды времени минимальный энергетический уровень надёжной регистрации землетрясений был различным. Для построения карт представительности проведена оценка реальной дальности регистрации землетрясений разных энергетических классов, определённых И. А. Исхаковым, для 7 более или менее стабильно действующих сейсмических станций за периоды их относительно устойчивой работы в 1992-1994 гг., а также за другие периоды с меньшим числом станций.

Для каждой сейсмической станции на сейсмограммах выбирались записи землетрясений только с чёткими вступлениями Р волн, которые обычно используются для определения координат очагов. Классификация землетрясений за 1982-94 гг. производилась по плотности энергии по формуле, предложенной И.А. Исхаковым [26]:

$$K_{и} = \lg(r^2 \cdot A^2 \cdot f^2 \cdot \tau) \cdot P + Q + C ,$$

где r – гипоцентральное расстояние, A – максимальная амплитуда записи S-волны в мм, f – видимая частота S-волны, τ – длительность записи S-волны в секундах на уровне $0.5 A_{\max}$, P – нормировочный множитель по размерности, Q – поправка на уровень записи и воспроизведения, C – поправка, связывающая амплитуду колебаний грунта с амплитудой S-волны на сейсмограмме при нулевом ослаблении. Энергетические классы землетрясений, полученные данным способом, пересчитаны в магнитуды по известной формуле Т.Г. Раутиан $K=4+1.8 M$ [36].

Для примера на рис. 7а приведены графики предельной (пунктирная линия) и надёжной (сплошная) дальности регистрации землетрясений разных энергетических классов K сейсмической станцией "Кичуй". При этом радиус надежной регистрации землетрясений определялся из графика предельной дальности регистрации путём параллельного его сдвига вверх на величину стандартной ошибки определения класса K , равную $0.5 K$.

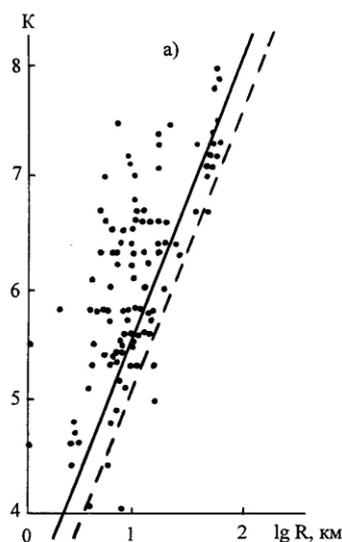


Рис. 7а. График огибающих предельной (пунктир) и надёжной регистрации землетрясений для разных энергетических классов по данным сейсмической станции "Кичуй" в 1993 г.

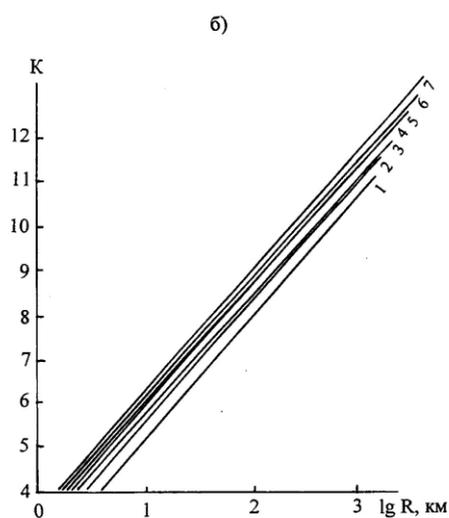


Рис. 7б. Сводный график дальности надёжной регистрации землетрясений разных энергетических классов на станциях "Молодежная" (1), "Чупаево" (2), (3), "Сулеево" (4), "Ромашкино" (5), "Юность" (6), "Кульшарипово" (7) в 1994 г.

Результат для станции следующий: надёжно регистрируются землетрясения с $K=4$ на расстояниях до 2 км, с $K=5$ – до 7 км, с $K=6$ - до 20 км и с $K=8$ – до 90 км. Экстраполяция этого графика на большие расстояния показывает, что станция "Кичуй" может надёжно регистрировать землетрясения с энергетическими классами $K=11$ на расстояниях до 1000 км, т.е. толчки такой энергии не должны быть пропущены, если они произойдут в любой точке Татарстана и прилегающих районах.

Аналогично были построены графики для 7 других станций и их графики надёжной регистрации землетрясений разных классов K показаны на рис. 7б, откуда видно, что самой высокочувствительной станцией является "Молодежная", которая может регистрировать землетрясения с $K=10$ на расстояниях до 1000 км.

Используя графики дальности регистрации, можно строить карты зон надёжной регистрации землетрясений разных классов в разные периоды времени. Примеры таких карт за 1994 г. для землетрясений с $K=6$ и 7 приведены на рис. 8. Аналогичные карты были построены и для землетрясений с энергетическими классами $K=5$, 6 и 7 для всех периодов инструментальных

наблюдений и использованы при оценке повторяемости землетрясений. В пределах зон надёжной регистрации подсчитывались числа произошедших землетрясений разных классов для построения нормированных к единице времени в 1 год и единице площади 1000 км² графиков повторяемости землетрясений, что позволило использовать даже слабые землетрясения с $K=5$.

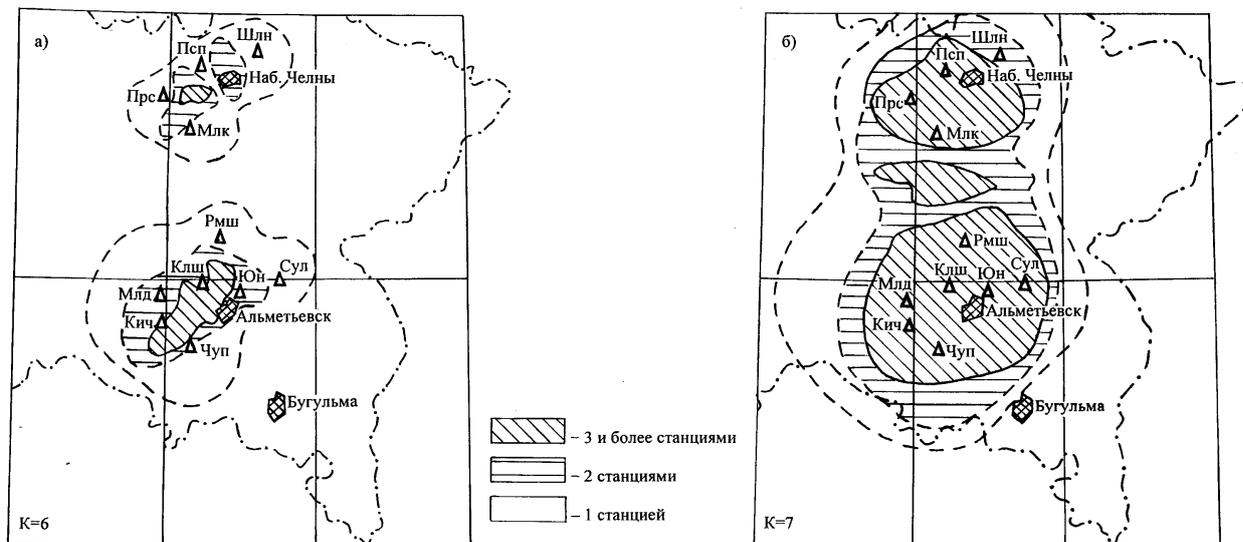


Рис. 8. Зоны регистрации землетрясений юго-востока Татарстана за 1994 г. с $K=6$ (а) и $K=7$ (б) при условии их записи числом станций $n=1, 2$ и ≥ 3

Графики повторяемости землетрясений (рис. 9) были построены для двух районов, Ромашкинского и зоны Прикамского разлома, а также для всей остальной части территории Татарстана за минусом площади возбуждённой сейсмичности Ромашкинского месторождения. Их площади соответственно равны – 7650 , 16800 и 61750 км². Диапазон энергетических классов в первом случае составил $K=6-11$, в двух других – $K_{и}=7-10$.

Наклон графика повторяемости землетрясений Ромашкинского месторождения имеет величину $\gamma=0.54$, что несколько больше среднего $\gamma=0.48$ для всего Татарстана и вообще для крупных сейсмоактивных районов. Повышенный наклон полученного графика характерен для районов возбуждённой сейсмичности. Наклон графика повторяемости в районе Прикамского разлома $\gamma=0.48$ соответствует среднему его значению для других сейсмоактивных районов.

Землетрясения зоны Прикамского разлома, по нашему мнению, являются тектоническими, здесь не отмечается возбуждённая сейсмичность, связанная с добычей нефти вследствие невысокой интенсивности эксплуатации не крупных месторождений. Сейсмическая активность в зоне этого разлома примерно на порядок ниже по сравнению с районом Ромашкинского месторождения. Уровень активности на данном этапе может служить отправным пунктом для расчетов повторяемости и активности землетрясений разной энергии для всей остальной сейсмоактивной части территории Татарстана.

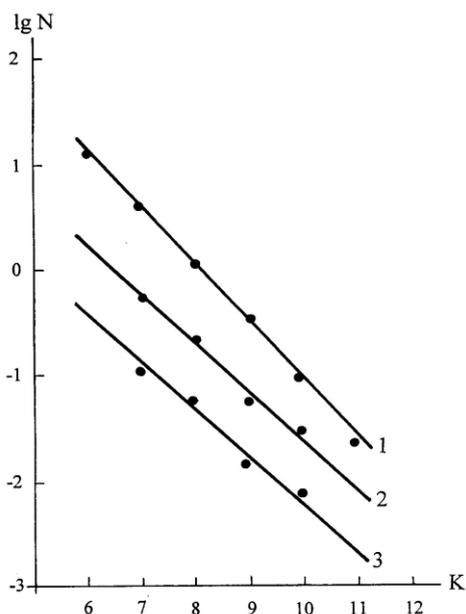


Рис. 9. Графики повторяемости землетрясений: 1 – центральной части территории Ромашкинского месторождения нефти; 2 – зоны Прикамского разлома; 3 – территории Татарстана

Расчёт средней активности в единицах A_{10} был выполнен по каталогу из [25]. В результате были получены следующие значения A_{10} : 0.12 для Ромашкинской зоны, 0.03 – для Прикамской и 0.007 для площади Татарстана (без Ромашкинской зоны).

Объективные законы повторяемости землетрясений разной энергии, которые

определяются скоростями накопления и релаксации тектонической энергии в данном районе, или, другими словами, уровнем графика повторяемости землетрясений, свидетельствуют о том, что при нынешнем уровне сейсмической активности на территории Татарстана не могут возникать землетрясения с магнитудами выше 5.5-6.0, периодичность повторения которых превышает 50 000 лет. Об этом же свидетельствуют геолого-геофизические оценки максимальных возможных землетрясений на территории Восточно-Европейской платформы в целом [18, 37, 38].

Л и т е р а т у р а

1. **Щукин Ю.К. 1996.** Глубинная сеймотектоника Северной Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. Саратов: Изд-во Н-В НИИ геологии и геофизики. С. 6-10.
2. **Ананьин И.В. (отв. сост.), Вороновская А.И., Ломакин В.С., Силина И.К., Смирнов В.А., Шебалин Н.В. 1977.** Сейсмологические данные по регионам: Европейская часть СССР, Урал и западная Сибирь // Новый каталог сильных землетрясений территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука. С. 465-470.
3. **Мирзоев К.М., Степанов В.П., Щукин Ю.К., Грачев А.Ф., Юнга С.Л., Никонов А.А., Лукк А.А. 1996.** Схема сеймотектонического районирования территории Татарстана, М: 1:500 000. Казань: Фонды АО "Татнефть". 179 с.
4. **Мушкетов И.В., Орлов А.П. 1893.** Каталог землетрясений Российской империи. Санкт-Петербург: Типография Императорской АН. 582 с.
5. **Ананьин И.В. 1980.** Русская равнина и Урал // Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука. С. 109-114.
6. **Ананьин И.В. 1991.** Сейсмоактивные зоны Восточно-Европейской платформы и Урала // Комплексная оценка сейсмической опасности (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 32.). М.: Наука. С. 106-121.
7. **Шакур Р.К. 1991.** К сейсмической истории Приуралья // Шарьяжно-надвиговая тектоника и ее роль в формировании месторождений полезных ископаемых. Уфа: Изд-во УРО АН СССР. С.131-132.
8. **Гос. Архив ВМФ. 1806.** №2602. 6.Х. Санкт-Петербург.
9. **Ананьин И.В. 1968.** Связь сейсмичности Русской платформы с современными движениями земной коры // Современные движения земной коры. М.: Наука. С. 282-285.
10. **Леопольдов А. 1848.** Исторический очерк Саратовского края. Санкт-Петербург: Типография Императорской АН.
11. **Неймар М. 1903.** История Земли. Т. I. Санкт-Петербург: Типография Императорской АН.
12. **Московские ведомости. 1844.** №91.
13. **Вейс-Ксенофонта З.К., Попов В.В. 1940.** К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды СИ АН СССР. №104. М.: Изд-во АН СССР. С. 12-23.
14. **Карточный каталог Восточно-Европейской платформы и сопредельных областей СИАН-ГЕОФИАН (Сейсмологический институт АН СССР – Геофизический институт АН СССР). 1991.** // Белорусский сейсмологический бюллетень. Вып. 1. Минск: Изд-во Ин-та геохимии и геофизики АН БССР. С. 21-85.
15. **Ананьин И.В. 1987.** Землетрясения Балтийского щита и особенности их проявления // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 28.). М.: Наука. С. 96-106.
16. **Ананьин И.В. 1988.** К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы // Исследования по сейсмической опасности (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 29.). М.: Наука. С. 119-124.
17. **Максимович Г.А., Кротова Е.А., Емельянец К.А. 1964.** Оползни средней Камы (Воротнинское водохранилище) // География Пермской области. Вып. 2. Пермь: Наука. С. 123-131.
18. **Грачёв А.Ф., Магницкий В.А., Мухамадиев Ш.А., Юнга С.Л. 1996.** Об оценке максимальных магнитуд платформенных землетрясений на основе анализа неотектонических и сеймотектонических деформаций // Докл. РАН. Т. 346. №2. С. 250-255.
19. **Сидоров В.А., Кузьмин Ю. О., Петровский С.А. и др. 1995.** Выполнение комплексных геодинамических исследований с анализом и интерпретацией геодинамических данных и разработкой основ методики прогнозирования их последствий. Москва-Казань: Фонды АО "Татнефть". Инв. №6410. 195 с.

20. **Нелидов Н.Н., Губайдуллин А.М. 1963.** Современные вертикальные движения земной поверхности на территории г. Казани // Современные движения земной коры. Сб. ст. №1. М: Изд-во АН СССР. С. 141-143.
21. **Халиков А.Х. 1992.** О судьбе ананьинской общности на Нижней Каме // Археологические памятники зон водохранилищ Волго-Камского каскада. Казань: Изд-во КФ АН СССР. 253 с.
22. **Мирзоев К.М., Степанов В.П. и др. 1998.** Составление карты сейсмического районирования территории Татарстана. Масштаб 1:500 000. Казань: Фонды АО "Татнефть". 267 с.
23. **Montandon F. 1953.** Les tremblements de terre destructeurs en Europe. Geneve.
24. **Андреев С.С. 1956.** О сейсмической характеристике Русской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. №12. С. 1484-1487.
25. **Мирзоев К.М., Чепкунас Л.С., Михайлова Р.С. I.** Обзор сейсмичности по регионам и территориям за 1994 год: К вопросу об энергетической классификации землетрясений на территории Татарстана за период 1982-1994 гг. См. наст. сб.
26. **Исхаков И.А. 1994.** О работах опытно-методической партии 50/94 ПО "Татнефтьгеофизика" Республики Татарстан. Казань: Фонды АО "Татнефть". 50 с.
27. **Мирзоев К.М., Степанов В.П. и др. 1998.** Трассирование зон активных разломов в верхней части кристаллического фундамента Ромашкинского месторождения нефти по групповым землетрясениям // Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента территории Татарстана и Волго-Камского региона. Казань: Фонды АО "Татнефть". С. 66-71.
28. **Степанов В.П., Мирзоев К.М., Муслимов Р.Х., Гатиятуллин Н.С., Тарасов Е.А. 1996.** Геолого-геофизическое обоснование сейсмогенных зон Татарстана // Недра Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. Саратов: Изд-во Н-В НИИ Геологии и геофизики. С. 67-73.
29. **Mirzoev K.M., Gatiyatullin R.N., Lukk A.A., Yunga S.L. 1996.** On the study of stress state of Earth crust at Tatarstan oil region of the East-European Platform // First Congress of the Balkan Geophysical Society. Sept. 23-27. Athens. Greece. P. 512.
30. **Сейсмическое районирование территории СССР. 1980.** / Отв. ред. Бунэ В.И., Горшков Г.П. М.: Наука. С. 7-21.
31. **Померанцева И.В., Мозженко А.Н., Соколова И.А., Егоркина Г.В. 1967.** Результаты региональных исследований кристаллической толщи земной коры и верхней мантии при помощи сейсмической станции "Земля" // Методика, техника и результаты геофизической разведки. М.: Недра. С. 20-25.
32. **Булгаков В.Ю., Кавеев И.Х. 1991.** Тектонические особенности зон местных землетрясений Татарского свода // Шарьяжно-надвиговая тектоника и ее роль в формировании месторождений полезных ископаемых. Уфа: Изд-во УРО АН СССР. С. 123-125.
33. **Исхаков И.А. 1991.** Сейсмичность востока Татарии // Экспертиза геолого-гидрогеологических и тектонических условий площадки Татарской АЭС и прилегающих районов. Альметьевск: Изд-во ПО "Татнефть". С. 33-36.
34. **Кавеев И.Х., Степанов В.П., Булгаков В.Ю. 1989.** Тектонические особенности зоны местных землетрясений Татарского свода // Шарьирование геологических процессов. Уфа: Изд-во УРО АН СССР. С. 78-84.
35. **Кавеев И.Х., Булгаков В.Ю., Степанов В.П. 1991.** Тектоническая предрасположенность к землетрясениям зоны строительства Татарской АЭС // Экспертиза геолого-гидрогеологических и тектонических условий площадки Татарской АЭС и прилегающих районов. Альметьевск: Изд-во ПО "Татнефть". С. 36-39.
36. **Раутиан Т.Г. 1960.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР. №9 (176)). М.: Наука. С. 75-114.
37. **Юнга С.Л. 1996.** Сеймотектонические деформации, как основа шкалы геологических магнитуд M_{max} в вопросах оценки сейсмической опасности // Недра Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. Саратов: Изд-во Н-В НИИ Геологии и геофизики. С. 32-38.
38. **Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. 1996.** Прогнозная оценка сейсмического потенциала Русской платформы // Недра Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. Саратов: Изд-во Н-В НИИ Геологии и геофизики. С. 11-13.