

Верхоланцев Ф.Г.¹, Голубева И.В.¹, Дягилев Р.А.²

¹Сектор сейсмического мониторинга Уральского региона, ГС РАН, г. Пермь, sombra@mail.ru

²Горный институт Уральского отделения РАН, г. Пермь

Введение

Вопросы изучения сейсмичности слабоактивных территорий в связи ростом урбанизации и появлением новых ответственных промышленных объектов в последнее время становятся весьма актуальными. Вместе с тем, степень охвата инструментальными наблюдениями таких регионов существенно уступает сейсмически активным областям. Республика Башкортостан (РБ) до недавнего времени для сейсмологов фактически являлась «белым пятном». Вплоть до 2013 г. сейсмичность здесь можно было исследовать только станциями соседних регионов (Пермский край, Свердловская и Оренбургская области). С конца 2013 года новая сейсмическая станция «Уфа» расширила регистрационные возможности Уральской сейсмологической сети, дала возможность получить новые сведения о сейсмическом режиме данной территории.

Исторический каталог

К настоящему времени полный и признанный исторический каталог землетрясений для территории республики Башкортостан отсутствует. Сведения о сейсмических событиях, которые возможно отнести к данной территории разрозненно содержатся в работах разных авторов [1,2,3,4]. Одна из немногих попыток обобщить данные об исторической сейсмичности Башкортостана была предпринята Шакуровым Р.К. [5], однако, часть сведений о землетрясениях, представленных в данном каталоге, представляются спорными. Среди прочего автором приводятся события, эпицентры которых не расположены непосредственно на территории республики, а являются лишь проявлениями крупных тектонических землетрясений, произошедших в активных сейсмических поясах Земли (Тихоокеанском, Альпийском и т.д.). Результат комплексного анализа всех доступных каталогов, содержащих сведения о сейсмичности территории Башкортостана, с отбраковкой событий относящихся к другим территориям, недостоверных, являющих результатом прохождения волн от удаленных землетрясений, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Исторические сейсмические события на территории Республики Башкортостан

№	Год	Дата		Время (Гринвич)	Эпицентр		Инт. (MSK-64)	Район	Примечание
		Месяц	Число		Шир.	Долг.			
1	1549	-	-	-	54.60	55.46	5-6	с. Сарт-Хосяново, Чишминский р-н	
2	1866	11	28	14:00	54.5	54.30	4	д. Батырчи-Кубово, Белебейский р-н	Обвальное
3	1879	1	14	5:00	54.25	57.00		д. Беисово, близ г. Уфа	Обвальное
4	1904	9	2	10:20	54.50	56.50	4	д. Ерош, близ г. Уфа	

Современные сведения о сейсмичности

С развитием (начиная с 2000 года) инструментального сейсмологического мониторинга Уральской сейсмологической сетью (УСС) [6] появилась возможность получать объективные сведения о сейсмическом режиме территории РБ. Однако на территории самой республики долгое время не было развернуто ни одной сейсмической станции, что ограничивало регистрационные возможности порогом $M_L \geq 3$. С открытием в 2013 году новой сейсмической станции «Уфа» (BA1R) [7] возможности инструментального мониторинга территории РБ серьезно расширились.

В общей сложности УСС за инструментальный период наблюдений было зарегистрировано и определены параметры для 14 сейсмических событий (таблица 2) из них – 8 тектонических землетрясений, 1 – горно-тектонических удар (ГТУ) и 5 индуцированных землетрясений, связанных с добычей углеводородов. Пространственное распределение очагов сейсмических событий отражено на карте эпицентров землетрясений (рис.1).

Дюртиюли. Самое первое землетрясение, которое было инструментально зарегистрировано на территории республики, имело эпицентр в районе пос. Дюртиюли. Оно произошло 21 мая 2007 г. в 01:52:31 (UTC) и было записано четырьмя сейсмостанциями. Магнитуда землетрясения, оцененная

по полученным записям, составила $M_L = 3.6$. Описания макросейсмических проявлений нет. Эпицентр землетрясения ложится в пределы Менеузовского нефтяного месторождения, возможно, оно имеет природно-техногенный характер, связанный с добычей углеводородов.

Таблица 2. Современные сейсмические события на территории Республики Башкортостан

Дата	Положение	Время в очаге, UTC	φ , °N	λ , °E	h , км	M_L	Станции, зарегистрировавшие событие	Тип землетрясения
21.05.2007	п. Дюртюли	01:52:31	55.40	54.50		3,6	PR1R, PR3R, PR0R, PR2R	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	01:52:32	54.92	55.57	2	$M_b=2.4$, $M_{pv}=2.1$	KNDC	earthquake
11.03.2011	г. Мелеуз	23:15:07	53.10	55.94	10	3.8	ORR, OR2, OR3, PR1, PR3, PR4, KIZ, KAU, ARU	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	23:15:10	52.84	56.38	4	$M_b=3.7$, $M_{pv}=3.3$	KNDC	earthquake
25.11.2011	г. Мелеуз	16:41:22	52.98	56.25	6	3.3	SOKR, PR1, PR3, SVUR, PR2, PR4, ARU	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	16:41:11	53.28	56.08	3	$M_b=3.2$, $M_{pv}=2.9$	KNDC	earthquake
08.04.2012	г. Мелеуз	13:19:35	52.99	56.31	11	3.3	SOKR, PR1, PR3, PR2, PR4, ORR, ARU	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	13:19:35	52.90	56.51	4	$M_b=3.8$, $M_{pv}=3.8$	KNDC	earthquake
05.09.2012	г. Учалы	20:11:03	54.31	59.43	1	3.0	ARU, PR0, PR3, PR4, SOKR, SVUR, ORR, OR2	ГТУ
	URAL MOUNTAIN	20:11:00	54.02	60.16	3	$M_b=3.5$, $M_{pv}=3.1$	KNDC	earthquake
17.03.2014	с. Уральск	23:00:35	54.18	59.00	5F	3.1	PR0R, PR1R, PR3R, PR4R, PR7R, SVUR, ARU, BA1R	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	23:00:39	53.68	59.94	3	$M_b=3.4$, $M_{pv}=3$	KNDC	earthquake
20.05.2014	Чишминский р-н	18:26:21	54.58	55.70	4	2.8	BA1R, ARU	наведенное
20.05.2014	Чишминский р-н	18:27:52	54.58	55.70	4	1.6	BA1R	наведенное
01.09.2014	Чишминский р-н	14:51:54	54.57	55.68	20	2.8	PR1R, PR3R, PR0R, ARU, KAUR, BA1R, PR4R, SVE	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	14:51:55	54.26	57.64	3	$M_b=3.1$, $M_{pv}=2.7$	KNDC	earthquake
01.09.2014	Чишминский р-н	21:00:48	54.57	55.70	4	2.5	BA1R	наведенное
03.09.2014	Чишминский р-н	03:28:48	54.58	55.69	4	2.4	BA1R	наведенное
06.09.2014	Чишминский р-н	02:12:10	54.58	55.69	4	2.4	BA1R	наведенное
01.11.2014	г. Учалы	11:13:10	54.45	59.53	1	2.5	PR1R, PR3R, PR7R, ARU, KAUR, BA1R	тектоническое
08.06.2015	Чишминский р-н	22:55:37	54.56	55.68	20	3.0	ARU, PR0R, BA1R, SVUR	тектоническое
	URAL MOUNTAIN	22:55:36	55.08	57.30	3	$M_b=3.3$, $M_{pv}=2.9$	KNDC	earthquake

Примечание: серым цветом выделены события, зарегистрированные помимо УСС, Казахстанским Национальным центром данных (KNDC) [8]

Мелеуз. Три землетрясения было зарегистрировано в районе г. Мелеуз. Первое произошло 11 марта 2011 23:15:07 (UTC) с $M_L = 3.8$, второе 25 ноября 2011 г. в 16:41:22 с $M_L = 3.3$ и третье 8 апреля 2012 г. в 13:19:35 с $M_L = 3.3$. Волновая картина для всех трех землетрясений была изучена достаточно детально на различных эпицентральных расстояниях (от 160 км до 680 км) с выделением всех наблюдаемых сейсмических фаз. Слабо выраженные поверхностные волны. Глубины гипоцентров, определенные по инструментальным данным составили от 6 до 11 км. Макросейсмические проявления наиболее сильного события с магнитудой M_L 3.8 ощущались на обширной территории с радиусом до 50 км. Формы записей всех событий достаточно схожи, что подтверждает их принадлежность к одной и той же очаговой зоне. С тектонической точки зрения все события приурочены к Серноводско-Абдуллинскому авлакогену Русской плиты, «зажатому» между Татарским и Оренбургскими сводами.

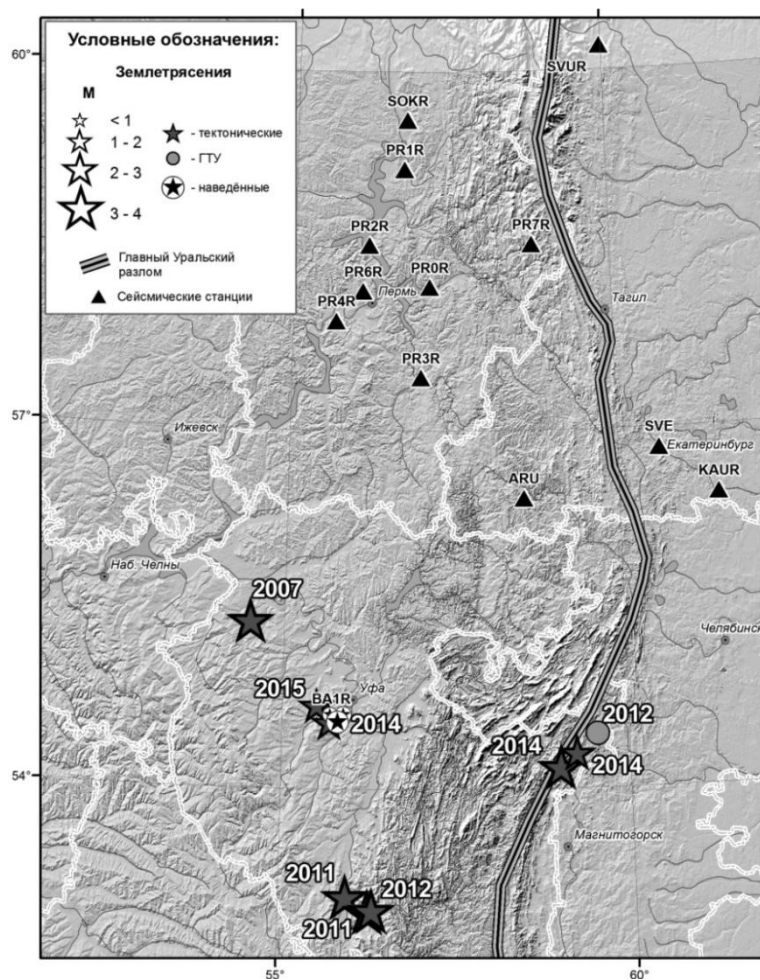


Рис. 1. Карта эпицентров сейсмических событий для республики Башкортостан за 2000–2015 годы

Учалы. 5 сентября 2012 г. в 20:11:03 (UTC) зафиксировано землетрясение с локальной магнитудой $M_L=3.0$. Сейсмические записи по событию получены с 11 ближайших станций УСС. Землетрясение ощущалось людьми как в самом городе Учалы, так и в соседних населенных пунктах. Согласно собранным данным эпицентр располагался вблизи горных выработок ОАО «Учалинский ГОК», интенсивность в эпицентре составила 4 балла (шкала MSK-64). Параметры очага указывают, что данное землетрясение является типичным горно-тектоническим ударом, спровоцированным горными работами.

1 ноября 2014 г. в 11:13:10 в районе г. Учалы произошло еще одно сейсмическое событие с меньшей магнитудой $M_L=2.5$. По сведениям из ОАО «Учалинский ГОК» данное событие никак не ощущалось ни в карьере, ни в руднике. Эпицентр очага по результатам локации расположен достаточно далеко (порядка 30 км) от карьера. Таким образом, Землетрясение, скорее всего, носит тектонический характер, поскольку попадает в зону влияния Главного Уральского разлома (ГУР).

Уральск. 17 марта 2014 в 23:00:35 (UTC) в районе с. Уральска практически всеми станциями УСС было зарегистрировано землетрясение с локальной магнитудой $M_L=3.0$. Макросейсмических проявлений не было. Событие так же находится в зоне влияния ГУР и, можно предположить, что оно имеет тектоническое происхождение.

Чишминский район. Наиболее интересный рой сейсмических событий был зарегистрирован в Чишминском районе в 2014-2015 гг. Их эпицентры располагаются вблизи очага исторического землетрясения произошедшего в 1549 г. [5]. Поэтому определение их природы представляет особый интерес, а расположение сейсмической станции «Уфа» вблизи эпицентров позволяет провести детальный анализ.

Рассматривая эти семь сейсмических событий, можно сказать, что они имеют разную природу происхождения и разделим их на две группы (рис. 2). К первой отнесем пять землетрясений с локальными магнитудами от 1.6 до 2.8. Судя по схожести записей, они имеют отношение к одной и той же локальной очаговой зоне, расположенной в 35 км на юго-запад от г. Уфы. Оставшиеся два

события относятся имеют несколько другую природу происхождения. Кроме того, инструментальное определение эпицентров по близкой станции относит их на север от группы других пяти событий.

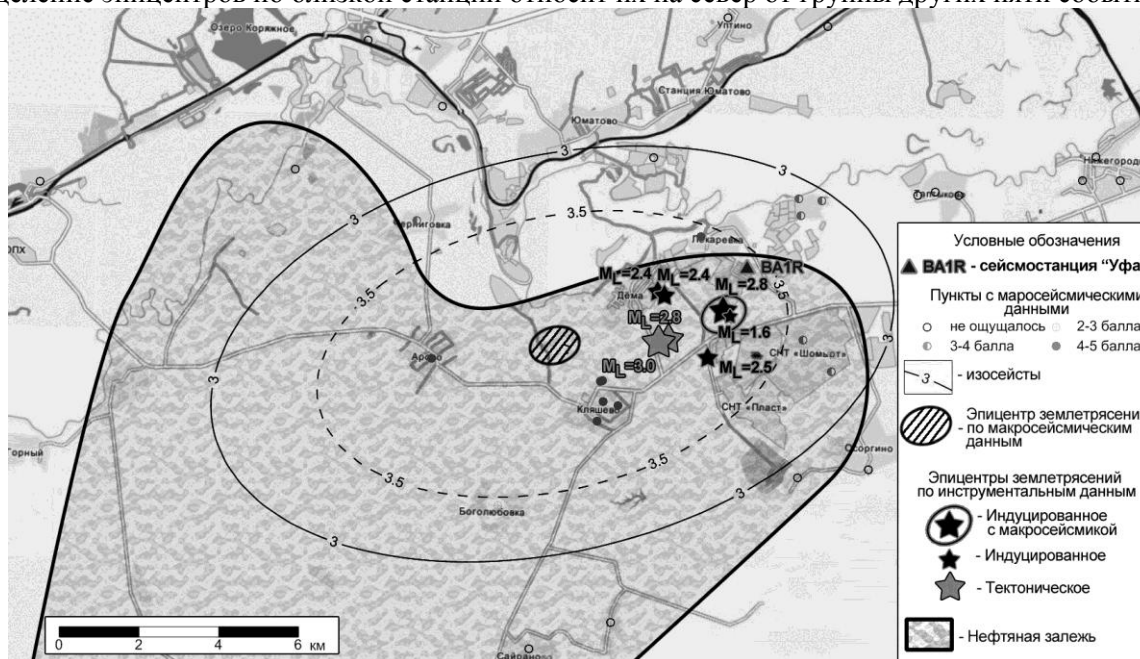


Рис. 2. Карта макросейсмического поля для события 20.05.2014 $M_L=2.8$, совмещенная с контуром нефтяной залежи и эпицентрами всех событий, определенными по инструментальным данным

Определение природы сейсмических событий в районах с разработкой месторождений полезных ископаемых и с интенсивной промышленной нагрузкой имеет известные сложности в связи с многообразием возможных источников сейсмических сигналов. Для обоснованного подхода к определению природы зарегистрированных сейсмических событий необходимо рассмотреть все возможные гипотезы и на основании анализа сказать, относится ли событие к тому или иному типу (карьерный взрыв, карстовый обвал, индуцированная или природная тектоническая подвижка).

Детально рассмотрим первую группу из пяти сейсмических событий.

Первое наиболее сильное событие из «Чишминской» группы с $M_L=2.8$ произошло 20 мая 2014 г. в 18:26:21 на расстоянии 1.5 км к юго-западу от сейсмостанции «Уфа» (BA1R). Его особенностью стали макросейсмические проявления, данные по которым были собраны при содействии сотрудников «Центра космических услуг» БГУ в 27 населенных пунктах (90 анкет).

Анализируя записи от всей группы сейсмических событий, мы не видим ни одного признака, которые позволили бы нам отнести их к взрывам – четкие вступления объёмных волн, слабо выраженные поверхностные волны, звуковые отсутствуют, что говорит о заглубленности очага. Время – не характерное для технологических взрывов. Поляризационный анализ свидетельствует о практически вертикальном приходе сейсмических волн. В спектральной области также нет совпадения с характерными частотами для взрывов. Вблизи источника есть единственный карьер известняка, расположенный в полукилометре от с. Кляшево, который используется для добычи щебня без применения взрывчатых веществ (с помощью экскаватора). Следовательно, гипотезу о технологическом происхождении зарегистрированных событий мы можем однозначно исключить.

Известно, что большая часть поверхности территории республики Башкортостан представлена карстующимися карбонатными и сульфатными отложениями пермского, каменноугольного и девонского возраста [9]. Для данных пород характерно интенсивное развитие карста, которое может вызывать обвальные или обвально-карстовые землетрясения, которые могут сопровождаться макросейсмическими проявлениями. Ранее проводились исследования [10] и была описана зависимость между магнитудой, рассчитанной по инструментальным данным, и размером очага для землетрясений обвальной и обвально-карстовой природы. Было показано, что для магнитуды близкой к 3 (событие 20 мая) размер очага должен составлять первые сотни метров, что с учетом малой глубины приводит к образованию оседаний и провалов. В данном случае, на поверхности каких-либо изменений нет, также это подтверждается сетью референсных станций GPS-наблюдений, которые показывают отсутствие значимых изменений высот в районе землетрясения [11]. Исходя из вышесказанного, гипотезу об обвальной или обвально-карстовой природе событий также можно исключить.

Событие 20 мая, сопровождавшееся макросейсмическими проявлениями на поверхности, как и другие, лежат в пределах Алкинского нефтяного месторождения. Известно, что добыча углеводородов часто сопровождается индуцированной сейсмичностью, которая имеет достаточно характерные признаки [12]. События имеют глубину, сопоставимую с глубиной отрабатываемой залежи; чаще всего следуют группами из нескольких землетрясений, повторяющимися в течение нескольких месяцев; имеют схожие волновые формы за счет близости источников; события с небольшой магнитудой могут сопровождаться макросейсмическими проявлениями, локализованными на небольшой территории (первые км); по своей форме сейсмические записи сходны с тектоническими землетрясениями. Интенсивность сигналов быстро убывает с расстоянием (первые десятки километров). Группа исследуемых сейсмических сигналов имеет признаки, которые позволяют нам отождествить их с индуцированной сейсмичностью.

Вторая группа сейсмических событий несколько отличается от первой.

События, произошедшие 1 сентября 2014 в 14:51:54 с $M_L=2.8$ и 8 июня 2015 в 22:55:37 с $M_L=3.0$ были зарегистрированы УСС на разных удалениях (26 км - 450 км). Цифровые записи имеют классическую форму, типичную для землетрясений, с хорошо выраженными группами объемных волн. Спектр охватывает достаточно широкий частотный диапазон: основной максимум приходится на 1-8 Гц и менее интенсивный – на 12-17 Гц. С учетом их глубины 20 км, характерной в данной области для кристаллического фундамента мы можем отнести их к тектоническим землетрясениям. Макросейсмических проявлений не было. Все зарегистрированные события лежат в пределах Благовещенской впадины Русской плиты, к которой приурочены нефтяные месторождения.

Заключение

В результате инструментального мониторинга за последние 10 лет получены новые данные о сейсмическом режиме территории РБ. На основании выполненного анализа определена природа всех инструментально зарегистрированных событий. Сейсмический режим Башкортостана имеет сложный характер и включает в себя как тектонические землетрясения, так и другие виды сейсмических событий, в частности вызванных антропогенной деятельностью. Благодаря установке сейсмической станции «Уфа» появилась возможность разделения событий на типы, что, в свою очередь, позволило объективно подойти к вопросу уточнения сейсмической опасности территории РБ.

Список литературы

1. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука. 1977. 535 с.
2. Ананьин И.В. Русская равнина и Урал // Сейсмическое районирование территории СССР. – М.: Наука, 1980. С. 109–114.
3. Ломакин В.С., Годзиковская А.А., Прибылова Н.Е., Силина И.К., Митенкова Н.В. Сейсмические события Уральского региона за 1914–2002 гг. ЦСГНЭО. М.; Обнинск, 2002. 86 с.
4. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 162 с.
5. Шакуров Р.К., Шакуров Д.Р. Свод сведений о землетрясениях республики Башкортостан с середины XVI века по 2004 г. // Геологический сборник № 4. Информационные материалы. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2004. с. 53–57.
6. Сейсмологический мониторинг Западного Урала. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.html>.
7. Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Кутушев Ш.И.Б. Сейсмостанция «Уфа» и первые результаты инструментальных наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. с. 95–99.
8. Казахстанский национальный центр данных. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kndc.kz>.
9. Карст Башкортостана / Под ред. Абдрахманова Р.Ф., Попова В.Г. – Уфа: УНЦ РАН, 2002. 384 с.
10. Оценка сейсмической опасности территории Пермского края. Отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / ГИ УрО РАН; рук. темы Дягилев Р.А.; исполн. Дягилев Р.А. и др. – Пермь, 2014. 112 с.
11. Центр космических услуг Башкирского Государственного Университета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bashgu.ssc.rekod.ru/>
12. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. – М.: ИДГ РАН, 2015. 364 с.