

1.2.2. Недра

1.2.2.1. Эндогенные геологические процессы и геофизические поля

Сейсмичность Байкальской природной территории

(Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН)

Впадина озера Байкал является центральным звеном Байкальской рифтовой зоны, которая развивается одновременно с другими рифтовыми системами Мира. Высокий сейсмический потенциал Байкальской рифтовой зоны подтверждается данными о палеосейсмодислокациях, полученными геологическими методами, сведениями о сильных землетрясениях исторического прошлого, а также информацией о более чем 200 тыс. землетрясений, зарегистрированных в результате инструментальных наблюдений, которые начали проводиться в Прибайкалье с 1902 года. С 1950 года здесь отмечено несколько мощных (9–10 баллов, $M=7,0-7,8$)¹ и целый ряд сильных землетрясений (до 8 баллов, M до 5,5–6). События последнего времени также подтверждают высокий уровень сейсмической опасности территории: Южно-Байкальское землетрясение 25.02.1999 г. ($M=6,0$); Кичерское - 21.03.1999 г. ($M=5,8$); Куморское - 16.09.2003 г. ($M=5,8$) и Култукское - 27.08.2008 г. ($M=6,2$).

В последние годы (2002–2009 гг.) в Прибайкалье в пределах зоны, контролируемой сейсмостанциями Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН), регистрируется более 8–9 тысяч слабых и сильных землетрясений в год. Традиционно в оперативную обработку в Байкальском регионе включаются записи землетрясений энергетического класса с $K \geq 9,5$ (уровень оперативного каталога), зарегистрированные на территории с координатами: $48^\circ-60^\circ$ С.Ш.; $96^\circ-122^\circ$ В.Д.

Наличие в сейсмоопасной зоне БПТ гражданских и промышленных объектов, в том числе экологически опасных производств, приводит к необходимости постоянного слежения за развитием сейсмического процесса в связи с возможными социально-экономическими последствиями от сильных землетрясений. Согласно постановлению Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 11 мая 1993 № 444 «О Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений» мониторинг за развитием сейсмического процесса в Восточной Сибири ведет БФ ГС СО РАН.

В целях обеспечения выполнения постановления Правительства РФ от 24 марта 1997 № 334 «О порядке сбора и обмена в Российской Федерации информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в филиале действует служба срочных и оперативных донесений.

Байкальская региональная сейсмическая сеть (международный код ВУКЛ) на 31 декабря 2009 года насчитывала 23 постоянные сейсмические станции, расположенные в Прибайкалье и Забайкалье и оснащенные цифровой аппаратурой. Центральная сейсмическая станция «Иркутск» – опорная станция сейсмической сети РАН, является региональным центром сбора и обработки материалов наблюдений по данным станций региона в срочном режиме. Сейсмическая станция «Талая» входит в телесеismicкую сеть РАН, которая интегрирована в систему глобальных сейсмических наблюдений земного шара. Кроме сейсмических станций БФ ГС СО РАН в 2009 году работали восемь

¹ Для характеристики силы землетрясений используются такие понятия, как **магнитуда (М)**, **энергетический класс (К)** и **интенсивность (И)**, характеризующаяся баллами. Магнитуда и энергетический класс - инструментально регистрируемые величины, условно характеризующие «энергетический заряд» в очаге землетрясения. Интенсивность характеризует силу сейсмических сотрясений в пункте наблюдения и зависит не только от силы сейсмических волн, излученных из очага землетрясения, но и от удаления пункта наблюдения от эпицентра землетрясения, глубины очага, а также от геологических особенностей местности. Интенсивность землетрясения оценивается в баллах по описательной шкале MSK-64.

сейсмических станций локальной сети Бурятского филиала ГС СО РАН, данные наблюдений которых использовались при сводной обработке землетрясений Байкальского региона.

Схема расположения и перечень сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья приведены на рисунке 1.2.2.1.1 и таблице 1.2.2.1.1.

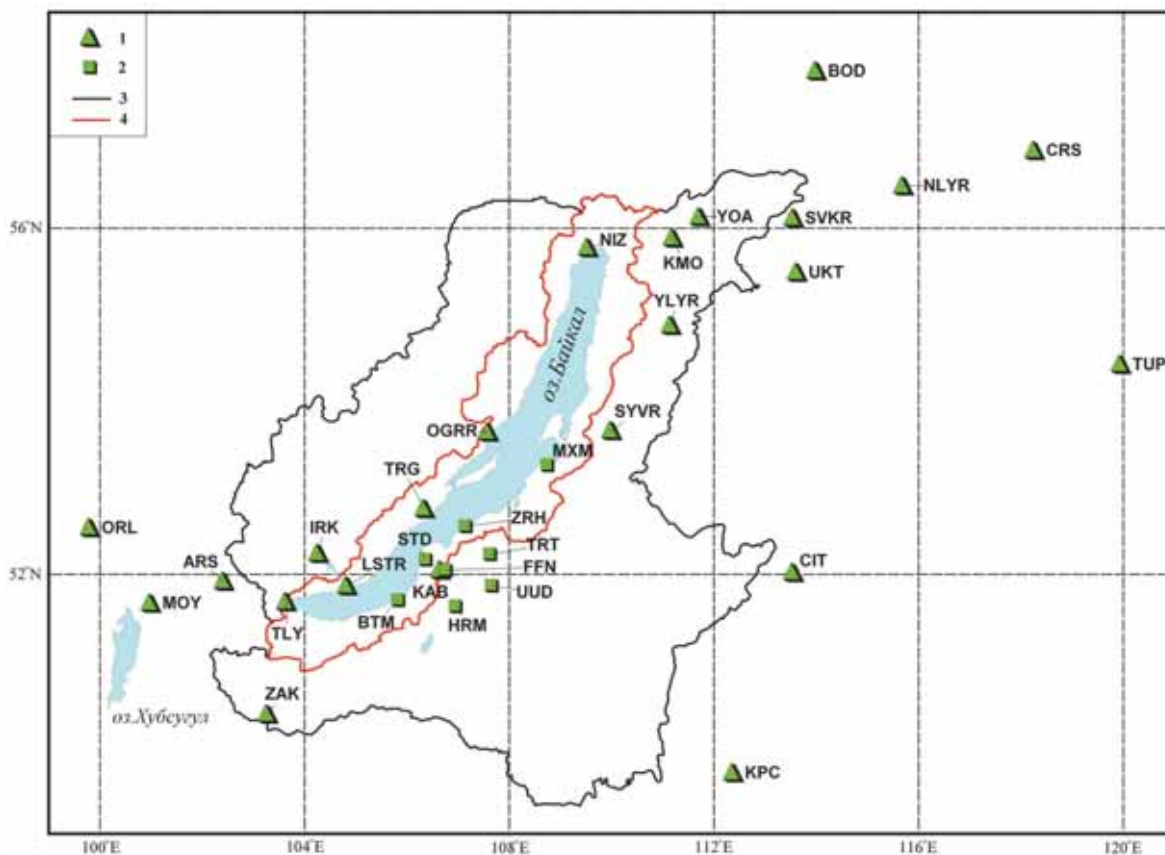


Рис. 1.2.2.1.1. Схема расположения сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья. 1 – сейсмические станции Байкальского филиала ГС СО РАН; 2 – сейсмические станции Бурятского филиала ГС СО РАН; 3 – граница БПТ; 4 – граница Центральной экологической зоны БПТ

Таблица 1.2.2.1.1

Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья
(Жирным шрифтом – в пределах БПТ)

№	Код	Название	№	Код	Название			
1	ARS	Аршан	12	LSTR	Листвянка	23	TRG	Тырган
2	BOD	Бодайбо	13	MOY	Монды	24	TRT	Турунтаево
3	BTM	Бабушкин	14	MXM	Максимиha	25	TUP	Тупик
4	CIT	Чита	15	NIZ	Нижнеангарск	26	UKT	Уакит
5	CRS	Чара	16	NLYR	Неляты	27	UUD	Улан-Удэ
6	FFN	Фофаново	17	OGRR	Онгурен	28	YLYR	Улюнхан
7	HRM	Хурамша	18	ORL	Орлик	29	YOA	Уоян
8	IRK	Иркутск	19	STD	Степной Дворец	30	ZAK	Закаменск
9	KAB	Кабанск	20	SYVR	Суво	31	ZRH	Заречье
10	KMO	Кумора	21	SVKR	Северомуйск			
11	KPC	Хапчеранга	22	TLY	Талая			

Действующая система наблюдений и передачи данных позволяет на контролируемой территории зарегистрировать любое событие с магнитудой $M \geq 3,0$, в течение часа собрать информацию о нем, произвести сводную обработку полученных материалов, передать основные параметры (время в очаге, координаты эпицентра, магнитуду, энергетический класс, расчетную интенсивность в эпицентре, макросейсмический эффект в населенных пунктах) семи адресатам: Геофизической службы РАН (г. Обнинск), Геофизической службы СО РАН (г. Новосибирск), оперативным дежурным Управлений МЧС России по Иркутской и Читинской областям и Республике Бурятия, оперативному дежурному Сибирского регионального центра МЧС России (г. Красноярск), дежурным администраций Иркутской области, Республики Бурятия, Забайкальского края.

Также не позднее часа с момента землетрясения информация о нем появляется на сайте Байкальского филиала ГС СО РАН: www.seis-bykl.ru.

В последние годы (2002–2009 гг.) в Прибайкалье в пределах зоны, контролируемой сейсмостанциями БФ ГС СО РАН, регистрируется более 8–9 тысяч слабых и сильных землетрясений в год. Порядка 60% из них – в пределах Байкальской природной территории. Большинство (70%) эпицентров землетрясений БПТ сосредоточено в пределах узкой полосы Байкальского рифта, совпадающей с Центральной экологической зоной БПТ.

Традиционно в оперативную обработку в Байкальском регионе включаются записи землетрясений энергетического класса с $K \geq 9,5$, зарегистрированные на территории с координатами: 48° – 60° СШ; 96° – 122° ВД (см. рис. 1.2.2.1.1).

Согласно оперативному каталогу, составленному по данным региональной сети станций, с 1 января по 31 декабря 2009 года всего зарегистрировано 68 землетрясений энергетического класса $K \geq 9,5$ (магнитуда > 3).

Самое сильное землетрясение зарегистрировано 10 июня в $18^{\text{h}}51^{\text{m}}$ с $K=13,2$, $M=5,1$ в центральной части Байкальской рифтовой зоны на северо-восточных склонах Баргузинского хребта. В результате удаленности эпицентра землетрясения от населенных пунктов максимальная зафиксированная интенсивность сотрясений составила не более 4 баллов.

В целом по БПТ максимальная интенсивность сотрясений, отмеченная в 2009 году, не превысила 4–5 баллов: при землетрясениях 3 января ($K=12,2$) в Северо-Муйском хребте и 29 ноября ($K=11,6$) в Среднем Байкале. Аномально слабая активность наблюдалась в районе Южного Байкала, где в предшествующем 2008 году произошло сильное Култукское землетрясение с максимальными сотрясениями 7 – 8 баллов.

Сведения о наиболее сильных землетрясениях 2009 года ($K > 10,5$, магнитуда $> 3,6$), эпицентры которых были локализованы в пределах БПТ, приведены на рисунке 1.2.2.1.2 и в таблице 1.2.2.1.2.

В 2009 году в Прибайкалье наблюдалась слабая сейсмическая активность. По количеству выделившейся суммарной энергии 2009 год уступает в 1,5-15 раз каждому из предыдущих 7 лет (2002-2008 гг.), а в сравнении с 2008 годом суммарная зафиксированная сейсмическая энергия меньше в 400 раз.

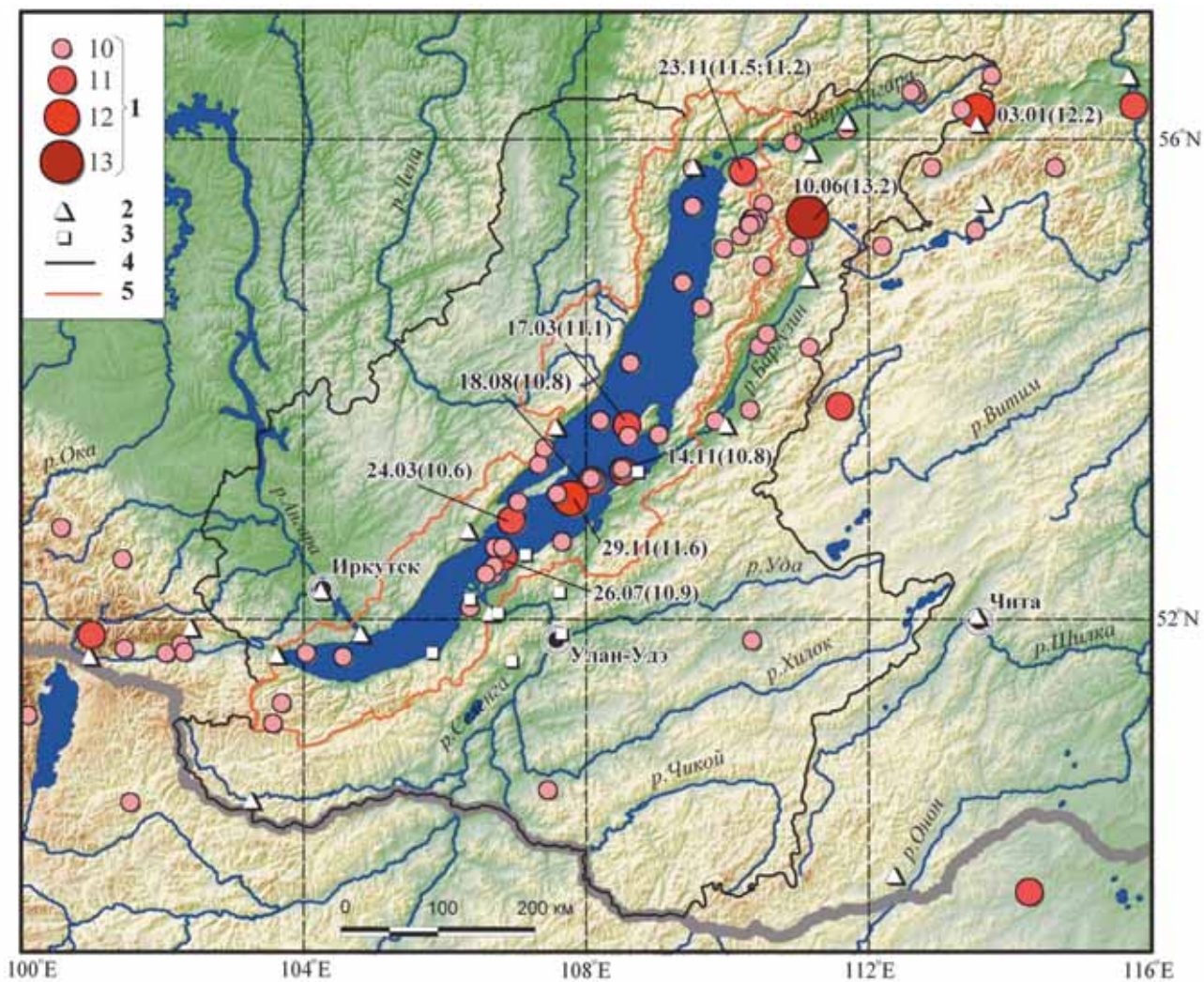


Рис. 1.2.2.1.2. Карта эпицентров землетрясений Байкальского региона по оперативным данным за 2009 год. 1 – энергетический класс, К; 2 - сейсмические станции Байкальского филиала ГС СО РАН; 3 - сейсмические станции Бурятского филиала ГС СО РАН, 4 - граница БПТ; 5 - граница ЦЭЗ БПТ

Землетрясения энергетического класса (К) свыше или равных 10.5, зарегистрированные в пределах БПТ региональной сетью сейсмических станций в 2009 году (землетрясения с $K > 12.5$ выделены жирным шрифтом)

Дата	Время (чч-мм по Гринвичу)	Местонахождение эпицентра землетрясения	Координаты		Энергетический класс	Проявления. Жирным шрифтом – населенные пункты, испытывавшие сотрясения интенсивностью 4-5 и более баллов	Характеристики
			° с.ш.	° в.д.			
03.01	03-50	Северомуйский хребет, севернее п. Северомуйск. Муйский р-он Республики Бурятия.	56.23	113.55	12.2	Северомуйск (11 км) 4–5 баллов	Без форшоков. 35 афтершоков с $K=6-8.8$ за период с 3 по 27 января.
17.03	00-59	В 20 км севернее мыса Нижнее изголовье (полуостров Святой нос на Байкале).	53.67	108.59	11.1	Данных об ощутимости нет	В составе роя из 38 землетрясений с $K=5.6-11.1$ за период 01.03-31.05.
24.03	21-53	В 16 км к югу от мыса Уншуй (остров Ольхон на Байкале).	52.86	106.95	10.6	Данных об ощутимости нет	Один слабый афтершок 25.03 с $K=6.1$.
10.06	18-51	Верховье р. Баргузин. Курумканский район Республики Бурятия.	55.41	111.16	13.2	Кумора (56 км), Кичера (90 км), Аргада (131 км) 4 балла. Улюнхан (59 км), Ангоя (72 км), Могойто (116 км), Курумкан (132 км), Кунерма (172 км), Улькан (219 км) 3–4	Около 30 слабых афтершоков за период июнь - июль.
26.07	05-27	В 13 км северо-западнее мыса Облом (залив Провал на Байкале).	52.59	106.84	10.9	Еланцы (40 км), Тырган (40 км) 2 балла.	В составе группы из ~80 землетрясений с $K_{\max}=9.5$ в течение месяца после события.
18.08	10-25	В 30 км юго-восточнее северной оконечности о. Ольхон (мыс Хобой на Байкале).	53.24	108.10	10.8	Данных об ощутимости нет	В составе группы из 4 землетрясений с $K=9.7-10.8$ за период с 18.08 по 01.09.
14.11	19-28	Средний Байкал, в 15 км западнее с. Максимиха Баргузинского района Республики Бурятия.	53.28	108.49	10.8	Максимиха (15 км) 3-4 балла	Продолжение афтершоковой последовательности землетрясения 20.05.2008г. ($K=14.3$). Множество слабых афтершоков.
23.11	13-20	Долина р. Верхняя Ангара. В ~19 км от северной оконечности оз. Байкал.	55.77	110.24	11.5	Верхняя Заимка (14 км), Кичера (24 км) 3–4 балла; Северобайкальск (59 км) 2 балла	Район Кичерской последовательности, максимальное число землетрясений которой произошло в 1999 г.
23.11	14-21		55.75	110.25	11.2		
29.11	08-30	Средний Байкал, в 21 км южнее мыса Ижимей (о. Ольхон на Байкале).	53.05	107.77	11.6	Хужир (35 км) 4–5 баллов; Горячинск (34 км) 4 балла; Еланцы (97 км) 3–4 балла; Гремячинск (30 км), Онгурен (67 км), Улан-Удэ (136 км) 2 балла.	В составе группы из 4 землетрясений с $K=9.7-11.6$ за период с 20.10 по 12.12.

Геолого-геофизические работы по прогнозу землетрясений (ФГУГНПП «Иркутскгеофизика»)

По современным научным представлениям аномалии состояния гидрогеодеформационного (ГГД) газгидрохимического (ГГХ) и геофизических (ЕИЭМПЗ) полей могут интерпретироваться как краткосрочные предвестники землетрясений. В Прибайкалье мониторинг предвестников землетрясений осуществляется на специально оборудованном Байкальском геофизическом полигоне. Заказчиком работ является Федеральное агентство по недропользованию.

В 2009 году на Байкальском геофизическом полигоне мониторинг ГГД поля велся на 11-ти наблюдательных пунктах (в 2008 г. на 6-ти пунктах), мониторинг ГГХ поля – в 2-х пунктах и геофизического поля - по 2-м пунктам. Схема расположения пунктов наблюдений приведена на рисунке 1.2.2.1.3.

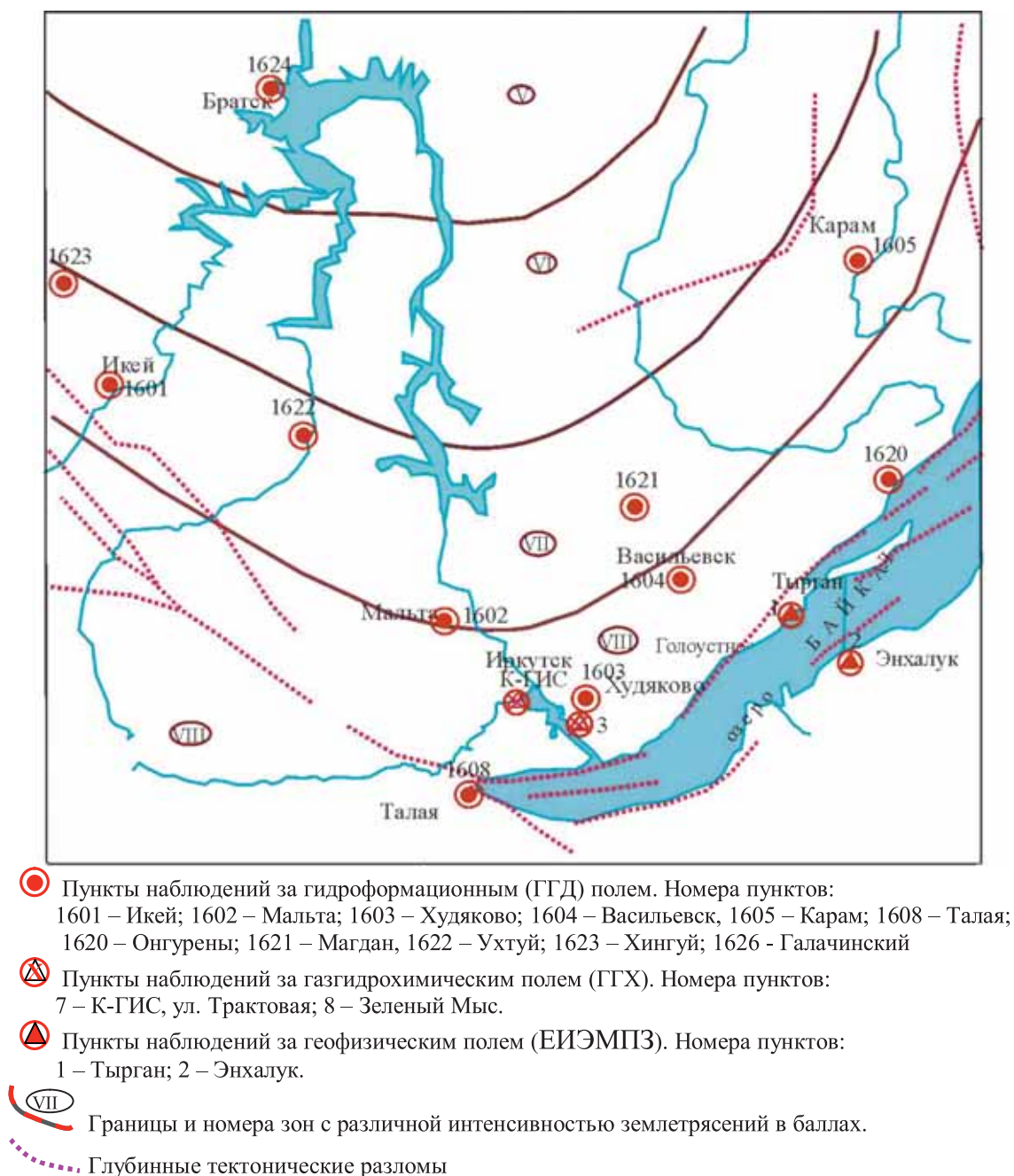


Рис. 1.2.2.1.3. Схема расположения пунктов наблюдений за гидрогеодеформационным, газгидрохимическим и геофизическим полями в 2009 году

Режимные наблюдения за ГГД и ГГХ полями

Скважины ГГД и ГГХ-мониторинга наблюдают напорные воды юрского (участки ГГД-поля - Икей и Худяково и ГГХ – участок Иркутск), среднекембрийского (участки ГГД-поля - Васильевск и Карам), ниже-среднекембрийского водоносных комплексов (участок ГГД-поля – Мальта и ГГХ - участок «Зеленый Мыс») и архей-протерозойской водоносной зоны трещиноватости (уч. ГГД-поля – участок Талая). По введенным в состав сети 5 дополнительным скважинам наблюдаются безнапорные воды ордовикского (уч. Галачинский, Хингуй), среднекембрийского (уч. Магдан, Ухтуй) водоносных комплексов и архей-протерозойской водоносной зоны трещиноватости (уч. Онгурены).

Автоматически регистрируемая в пунктах наблюдений информация об атмосферном давлении, уровне и температуре подземных вод с приборов «Кедр-ДМ» и «Кедр-ДС», через операторов сотовой или спутниковой связи поступала по электронной почте в ГИПЦ ВСЕГИНГЕО, где производилась их обработка и осуществлялся обобщенный анализ текущего состояния и формировался банк данных наблюдений.

Сведения о пунктах наблюдательной сети ГГД поля представлены в таблице 1.2.2.1.3.

Таблица 1.2.2.1.3

Сведения о пунктах наблюдательной сети ГГД-мониторинга на территории Иркутской области в 2009 г.

№ п/п	Пункт	№ скважины	Глубина скважины, м	Индекс пород зон водопритока	Интервал зоны водопритока, м	Измерительный прибор
1	Икей	1601	155	J _{1cr}	132-138	Кедр-ДМ
2	Мальта	1602	319	Є _{1bl}	290-318	Кедр-ДМ
3	Васильевск	1604	130	Є _{2 vl}	95-120	Кедр-ДМ
4	Худяково	1603	182	J _{1cr}	175-181	С ноября 2009 г. Кедр-ДМ
5	Карам	1605	130	Є ₂	104-118	С ноября 2009 г. Кедр-ДС
6	Талая	1608	120	AR-PR	77-79,5	С ноября 2009 г Кедр-ДМ
7	Ухтуй	9М/1622	100	Є _{2 vl}	64,4 – 72	С ноября 2009 г Кедр-ДМ
8	Хингуй	19/1623	35	О	18,4-35	С ноября 2009 г Кедр-ДМ
9	Галачинский	277/1624	75	О	34 – 58	С ноября 2009 г Кедр-ДМ
10	Магдан	186/1621	55,2	Є ₂	32-52	С ноября 2009 г Кедр-ДС
11	Онгурены	159	52	AR-PR	41,2-44,6	С ноября 2009 г Кедр-ДС

В результате анализа данных наблюдений за состоянием ГГД поля в 2009 году зафиксированы следующие показатели, характеризующие относительную деформацию земной коры:

- деформационные возмущения в ГГД-поле (замещение областей сжатия растяжением и наоборот), по которым определяется вектор смещения области сжатия (растяжения) и направление на эпицентр прогнозируемого землетрясения;

- изменение режима лунно-солнечной приливной реакции ГГД-поля на кривых De за несколько дней до сейсмических событий (изменение амплитуды колебаний, периода колебаний кривых De);

- тенденция схождения кривых De для разных треугольников скважин к моменту землетрясения.

В результате наблюдений установлена связь перечисленных показателей со следующими землетрясениями: 17 апреля 2009 г. в районе озера Байкал и пограничной области Россия-Монголия; 10 июня 2009 г. в северо-восточном Прибайкалье; 23 и 30 ноября в районе оз. Байкал.

Мониторинг *газогидрохимических* полей в 2009 г. проводился по двум пунктам: скв. 3 уч. Зеленый Мыс и скв. К-ГИС в г. Иркутске. На участках наблюдалась явно выраженная связь между содержанием гелия в воде и зафиксированными эндогенными событиями. Анализ данных ГГХ-мониторинга позволил выявить аномальные признаки изменения динамики ГГХ-поля, повторяющиеся перед землетрясениями за 3-4 дня.

В целом, ведение мониторинга ГГД-и ГГХ-полей свидетельствует о возможности прогноза сейсмических событий с упреждением от 2 дней до 2 месяцев. Однако, информативность и достоверность прогноза будут тем выше, чем больше будет специализированных наблюдательных скважин. В настоящее время на территории Прибайкалья сеть недостаточна и требует расширения.

Выводы

1. В 2009 году в Прибайкалье наблюдалась слабая сейсмическая активность. По количеству выделившейся суммарной энергии 2009 год уступает каждому из предыдущих 7 лет наблюдений (2002-2008 гг.) в 1.5-15 раз, а в сравнении с 2008 годом суммарная зафиксированная сейсмическая энергия меньше в 400 раз.

2. Для осуществления прогноза землетрясений в Прибайкалье выполняется мониторинг сейсмической активности, мониторинг современных тектонических движений средствами GPS-геодезии, мониторинг гидрогеодеформационного (ГГД) газгидрохимического (ГГХ) и геофизического (ЕИЭМПЗ) полей. Существующая система мониторинга нуждается в развитии. Необходимо увеличить количество пунктов наблюдений и выполнить модернизацию измерительного оборудования, обеспечить взаимодействие между организациями, выполняющими мониторинг и получателями информации. Нужно развивать региональные, муниципальные и локальные системы оповещения об угрозе или начале землетрясений, в т.ч. оповещение специально подготовленных сил и средств, предназначенных для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, дежурно-диспетчерских служб организаций, эксплуатирующих потенциально опасные объекты, органов местного самоуправления, единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований, руководителей учреждений и предприятий, а также населения.