



УДК 551.24 + 550.34

Оперативный среднесрочный прогноз землетрясений в Прибайкалье и его возможности

Е. И. Пономарёва (Squirrel@crust.irk.ru)

В. В. Ружич (ruzhigh@crust.irk.ru)

Е. А. Левина (lealvv@yandex.ru)

Аннотация. В статье анализируются результаты и возможности, а также ограничения разработанного оперативного подхода к совершенствованию среднесрочного прогноза землетрясений применительно к условиям геодинамического развития Прибайкалья, как сегмента Байкальской рифтовой зоны. Рассмотрены выявленные критерии подготовки землетрясений и их обоснование. Показано, что ограничения по точности среднесрочного прогноза землетрясений обусловлены отсутствием необходимой информации о глубинных процессах при подготовке очагов землетрясений. Отмечено, что достигнутый уровень оправданности прогнозов, сделанных для Главного управления (ГУ) МЧС Иркутской области, можно оценить как удовлетворительный и полезный для региональных подразделений МЧС и областной администрации, с которыми осуществляется многолетнее сотрудничество специалистов Института земной коры СО РАН.

Ключевые слова: землетрясение, очаг землетрясения, критерии прогноза, сейсмобезопасность.

Введение

Высокий современный уровень сейсмической опасности в пределах Прибайкалья и смежных регионов подтверждается и сведениями из каталога сильных землетрясений, зафиксированных в современный и исторический периоды начиная с 1725 г. [1; 3; 12; 29]. Поэтому очевидна актуальность проводимых в течение многих лет сеймопрогностических исследований с целью снижения ущерба от ожидаемых значительных по энергии землетрясений на данной территории. Согласно Карте общего сейсмического районирования (ОСР-97) Прибайкальский регион значительной своей частью входит в пределы Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), для которой в целом характерен высокий уровень сейсмических сотрясений с интенсивностью, достигающей значений 7–10 баллов по шкале MSK-64. В качестве примеров можно привести Цаганское катастрофическое землетрясение 1862 г. в дельте р. Селенги в центральной части Байкала (интенсивность 9–10 баллов), а также другое, еще более опасное событие – Муйское землетрясение 1957 г. в районе центральной части БАМа (10–11 баллов). Подобные весьма опасные события происходят достаточно редко, но немало проблем представля-

ют и более слабые 7–8-балльные сейсмические события. Они возникают намного чаще и могут принести большой ущерб, если проявляются вблизи населенных пунктов или важных промышленных объектов.

При разработке более простого и совершенного способа оперативного прогноза землетрясений, адаптированного к геодинамическим условиям их подготовки в Прибайкалье, авторами рассматривались и ранее созданные методики прогноза, представленные в работах [7; 9; 10; 16; 17; 20; 25]. Главной особенностью нашего подхода является учет не только сейсмологических, но также геофизических и геологических факторов. Разрабатываемый оперативный сейсмопрогностический метод основан на упрощенном распознавании наиболее важных признаков подготовки землетрясений, проявляющихся за различные временные интервалы: недели, месяцы, годы. Он основывается на анализе текущей информации, поступающей с сайта сейсмостанции «Иркутск» от Байкальского филиала геофизической службы Сибирского отделения наук (г. Новосибирск) [1] в виде текущего каталога землетрясений, начиная с событий выше 9-го энергетического класса. Ежедневно определяются признаки, которые могут быть предвестниками готовящихся землетрясений и нести информацию, позволяющую судить о возможном расположении их эпицентральных областей, примерном времени проявления и потенциальной энергии сейсмических колебаний.

Основные выявленные критерии подготовки землетрясений

С помощью созданного авторами еще в 90-х гг. программного обеспечения были изучены представленные в каталогах ощутимые и сильные сейсмические события, которые можно выразить в виде функции четырех переменных:

$$E = f(\lambda, \varphi, g, t), \quad (1)$$

где λ , φ – координаты эпицентра, g – глубина гипоцентра, t – время, когда произошло землетрясение, E – выделившаяся при этом энергия. Для удобства исследования и визуализации функцию (1) обычно сводят к функциям одной или двух переменных, суммируя, усредняя или не рассматривая остальные. В круг предвестников сейсмического события входят: сейсмическое «пятно» (СП) – размеры, потенциал; сейсмическая «брешь» (СБ) – размеры, потенциал, время появления; изменение количества землетрясений (N); изменение энерговыделения ($\lg E$); значение наклона графика повторяемости; период повторяемости, режим накопления в виде выделившейся сейсмической энергии (график Беньоффа); наличие большого контраста между \max и \min значениями E , N , СБ и СП; наличие кольцевой миграции эпицентров в районе подготовки землетрясения.

Из-за недостаточности, по объективным причинам, имеющегося ряда сейсмологических сведений о событиях, произошедших ранее 1950 г., а также ограниченности имеющихся на сегодняшний день научных данных о сейсмогеологических процессах в очаговой области строгая формализация в оценках значимости прогностических критериев не может быть достигнута. Поэтому рассматриваемая методика и реализующий ее пакет компьютерных

программ являются в совокупности экспертной системой, отражающей сейсмический прогноз в системе параметров, оцениваемых экспертами в финальной стадии анализа. В практическом смысле это означает, что на выходе аналитической обработки загруженных данных мы получаем на предстоящий трехмесячный период перечень потенциально опасных районов Байкальской рифтовой зоны и схему их расположения – с оценкой возможной энергии и соответственно рассчитанной интенсивности сотрясений.

Ниже приведены основные сейсмологические и сеймотектонические критерии определения таких базовых параметров прогноза, как местоположение очаговой области, энергия главного толчка, время тревожного ожидания. Данные характеристики используются для подготовки ежеквартальной оперативной сейсмопрогностической сводки для ГУ МЧС Иркутской области и Бурятии.

Выявление местоположения очаговой области ожидаемого землетрясения

Сейсмологические критерии:

1. Наличие длительно существующего сейсмического пятна, т. е. района большого скопления эпицентров землетрясений с магнитудой (M) $> 3,0$.
2. Наличие сейсмических брешей в области сейсмического пятна.
3. Наличие районов, где в последние годы стабилизируется проявление существенных аномалий в значениях графика повторяемости землетрясений.
4. Наличие территорий со значительным дефицитом сейсмического энерговыделения за последние годы.
5. Проявление признаков периферийной активизации и кольцевой миграции эпицентров слабых землетрясений вокруг сейсмической брешки за период месяцы – первые годы.

Сейсмогеологические критерии:

1. Наличие зон разломов протяженностью 100–150 км и более, с признаками современной сейсмической активизации.
2. Наличие узлов пересечения крупных сейсмоактивных разломов.
3. Наличие выявленных палеосейсмодислокаций или очагов недавних сильных землетрясений, проявление которых может инициировать или ускорить подготовку землетрясений в районах неустойчивого сейсмического режима.

Оценка энергии ожидаемого землетрясения

Наиболее значимые сейсмологические критерии для конкретного района:

1. Учет общей длительности периода сейсмоэнергетического дефицита в последние месяцы-годы или десятки лет (период подготовки – T_p).
2. Учет длительности сейсмического затишья в конкретном районе ожидания события (T_z) $M = 0,35T_z + 4,53$. Чем он протяженнее, тем больше может накопиться тектонической энергии и тем мощнее выброс энергии сейсмической.
3. Оценки M_{\max} по площади сейсмического пятна (S) (критерий М. А. Садовского, В. Ф. Писаренко) [20; 21; 27; 28], $M_{\max} = 4,1 + \lg S$ (км^2).
4. Оценки площади сейсмической брешки при отсутствии в ней землетрясений 10-го энергетического класса и выше $M = 4,6 + 0,00055S$ (км^2).

5. Анализ аномалий графика повторяемости и оценка по нему вероятности возникновения землетрясений того или иного энергетического класса.

Сейсмогеологические критерии:

1. Наличие в районе сейсмоактивных разломов протяженностью от 100–200 км и более, а также активных разломных узлов высокого иерархического ранга. Следы палеоземлетрясений рассматриваются как указание на проявившийся в течение предшествующих столетий высокий сейсмический потенциал – $M > 6,0-7,6$, когда могла иметь место перестройка напряженно-деформированного состояния земной коры с последующим его переходом в состояние критической неустойчивости.

Оценка параметра времени возникновения землетрясения

Подбор критериев был сделан с учетом анализа сейсмического режима за период 1725–2010 гг., т. е. привлекались данные не только инструментальных наблюдений, но также и каталог сейсмических событий, составленный по историческим записям [3; 24]. Накопленный опыт исследований показывает, что в течение десятков и даже сотен лет суммарная энергия землетрясений может существенно меняться во времени [2; 4; 5; 7; 8; 16; 25]. На рисунке 1 приведен график Бенъоффа, отражающий выделение сейсмической энергии в Байкальской рифтовой зоне, включая Прибайкалье. На графике можно видеть квазипериодические изменения в режиме выделения сейсмической энергии при местных землетрясениях за период 1725–2014 гг. [19]. Также заметно проявление длительных периодов относительно умеренных и слабых землетрясений, включая период 1967–2014 гг., за которым возможна очередная активизация.

При гармоническом анализе ранее были выделены периоды сейсмических активизаций и затиший, составляющих сейсмические ритмы длительностью $40(\pm 4)$, $11(\pm 2)$, $5(\pm 2)$ лет, а также 1 год, 3–4 месяца [2; 8; 11]. Эти периоды, включающие фазы активизаций и затиший, проявляются в сейсмическом режиме на достаточно крупных территориях, соизмеримых с площадью Южного-Среднего Байкала или Тункино-Хубсугульского региона, и представляют интерес в сеймопрогностическом аспекте, особенно его последний временной интервал. На более низком иерархическом уровне размеров сейсмогенерирующих структур, т. е. в локальных условиях, они не столь заметны, но тем не менее есть смысл их выделять и учитывать для каждого отдельно рассматриваемого района.

На рисунке 2 приведена карта долгосрочного прогноза землетрясений в БРЗ на период ожидания 1999–2050 гг. Используются данные сеймостанции «Иркутск» по состоянию на 12.31.2011. Овалами трех размеров показаны сейсмоопасные окна (бреши) с отмеченными диапазонами магнитуд потенциальных землетрясений. Размеры внутреннего овала, согласно данным В. И. Уломова [26], определяют местоположение очага и границы эпицентров, а внешний пунктирный контур ограничивает площадь возможных максимальных сейсмических сотрясений. Здесь же показаны эпицентры землетрясений, уже реализовавшихся за прошедшие с начальной даты 12 лет.

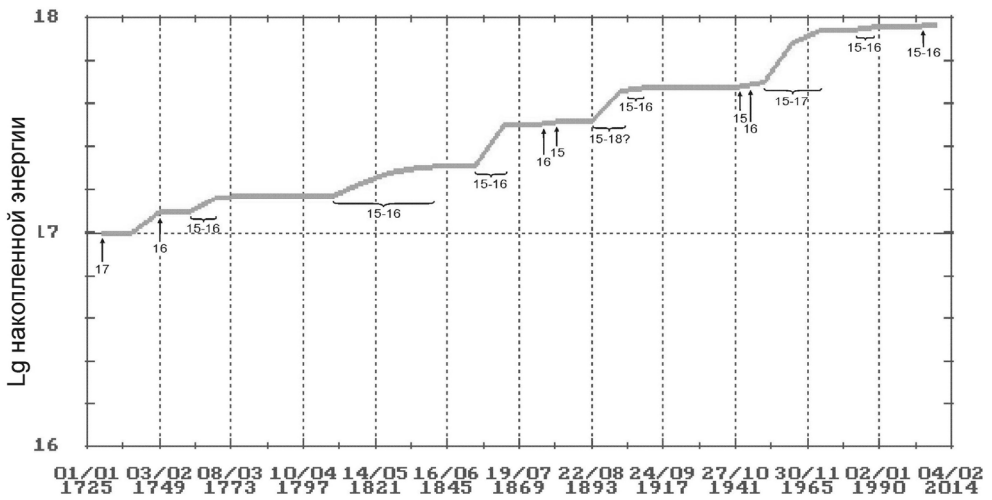


Рис. 1. График Беншофа. Фигурными скобками отмечены периоды сейсмических активизаций, а цифры под скобками показывают энергию наиболее сильных землетрясений

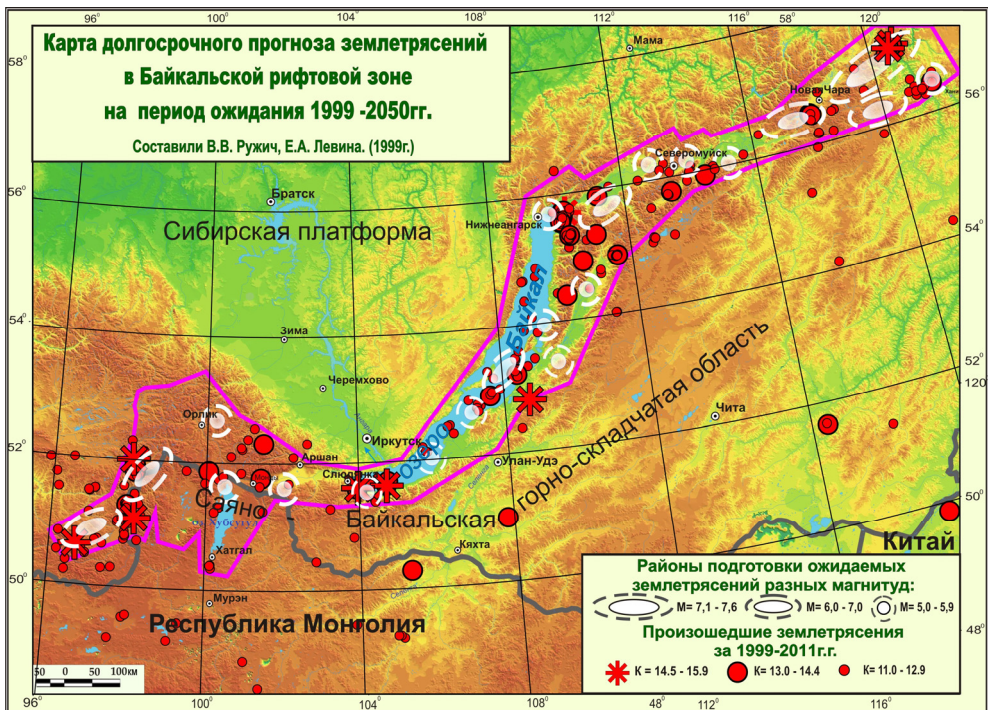


Рис. 2. Результативная карта долгосрочного и среднесрочного видов прогноза землетрясений с $K \geq 11,0$ в БРЗ

В качестве промежуточной оценки потенциала реализации представленного на карте сейсмического прогноза может быть сделан очевидный для наблюдателя вывод о том, что большинство эпицентров произошедших за 12 лет умеренных (5–6 баллов) и ощутимых (7–8 баллов) землетрясений располагаются в пределах или на небольшом удалении от мест их предположения. В качестве последних примеров оправдавшегося прогноза можно назвать Култукское землетрясение 27.08.2008 (7–8 баллов), а также два более поздних сейсмических события 2011 г. – в районе пос. Турка (центральный Байкал) (7 баллов) и в районе Восточного Саяна (5–6 баллов, пос. Орлик). О возможности возникновения последних двух событий за два месяца до их реализации специалистами ИЗК были представлены официальные уведомления в ГУ МЧС Иркутской области

Также были сделаны оценки точности прогноза мест реализации уже произошедших ранее прогнозируемых землетрясений и получены следующие результаты (см. табл.). Эпицентры 10 землетрясений расположены в зоне ожидания, т. е. попали в цель. Столько же эпицентров удалены от ожидаемого места события на расстояние от 5 до 55 км. Учтены отклонения на 5–10 км для 15 землетрясений, которые произошли на границе ожидаемой зоны.

Таблица

Анализ реализации прогноза места и числа сейсмических событий, попавших в выборку за период 2000–2010 гг.

В цель	На границе	Удалены от границы
10 событий	15 событий	10 событий
28,6 %	42,8 %	28,6 %
71,4 %		28,6 %

При отнесении к оправдавшим ожидания землетрясений, произошедших на границе отведенной территории, реализованность прогноза места сейсмических событий составит 71,4 %.

Немаловажно отметить, что в 1999 г. членом-корреспондентом РАН, директором Института сейсмологии РАН (Москва) Г. А. Соболевым, руководителем всероссийского проекта, представлена карта России с указанием мест, где в ближайшие 50 лет можно ожидать сильные землетрясения. В нее включена и предложенная выше читателям данной статьи карта долгосрочного прогноза землетрясений в БРЗ, составленная авторами по указанной выше методике.

На рисунке 3 в качестве примера показана схема (усовершенствованная в 2014 г.), которая включается в ежеквартальные сводки для регионального отделения ГУ МЧС. Выделены районы расположения брешей, указывающих на повышенную вероятность возникновения землетрясений. Кружками показаны возможные изосейсты прогнозируемых сейсмических явлений в соответствии с предполагаемым максимальным уровнем их энергии в эпицентре.

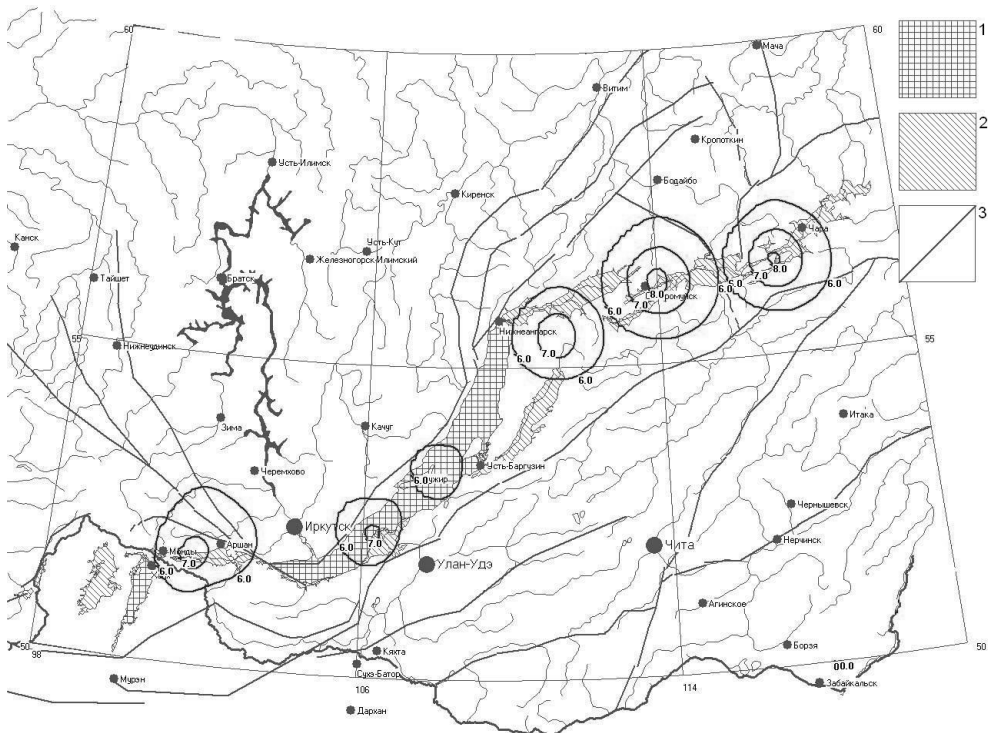


Рис. 3. Схема ожидания сейсмических событий (в данном случае на 1-й квартал 2014 г.) как приложение к оперативной сводке для регионального отделения МЧС: 1 – впадины, 2 – озера, 3 – разломы

Такая карта составляется на основе специально разработанного программного обеспечения [9; 18] с использованием результатов анализа всей совокупности критериев, имеющих отношение к подготовке и реализации в Прибайкалье землетрясений различного энергетического уровня ($K = 11,5-17,0$).

На сегодняшний день из-за недостатка инструментальных сведений о различных параметрах сейсмических процессов, включая слабые землетрясения в пределах очагов землетрясений на глубинах порядка 5–20 км, не представляется возможным более обоснованное их прогнозирование. Поэтому следует заметить, что возникновение сейсмического события в намеченный срок и в указанном месте имеет в нашем случае вероятность $P \sim 0,71$. Это означает, что оно может произойти в этом районе и в последующий временной интервал.

Методика оперативного прогноза в Прибайкалье

Использование приведенных критериев оперативного слежения для своевременного выявления сейсмоопасных участков осуществляется по следующей схеме. Данные оперативного каталога землетрясений с $M = 3,0$ и выше поступают с сейсмостанции «Иркутск» с недельным интервалом, анализируются и используются для определения вариаций сейсмической погоды на ближайший период времени, исчисляемый тремя месяцами, с после-

дующей подачей сводок в областной штаб МЧС (г. Иркутск) и далее – в межрегиональный центр МЧС (г. Красноярск). С помощью уже упоминавшегося разработанного программного пакета, позволяющего визуализировать и анализировать сейсмический процесс за определенный временной интервал, еженедельно «сканируются» все сейсмоактивные районы БРЗ, включая смежные участки территории Восточного Саяна и Монголии. При этом в первую очередь выделяются места расположения крупных сейсмических пятен и возникающих в них сейсмических брешей. Такие места, как правило, приурочены к определенным структурным элементам: внутривпадинным и межвпадинным перемычкам, центральным и прибортовым участкам рифтовых впадин, фрагментам сейсмогенерирующих разломов, особенно активных в последние десятилетия-сотни лет. Сейсмический режим подобных районов изучается с особой тщательностью, с учетом вышеотмеченного набора критериев. По размерам сейсмических пятен и сейсмических окон дается оценка сейсмического потенциала данной территории. По длительности периодов проявления форшоковой деятельности и последующих затиханий устанавливается примерное время возникновения ожидаемого землетрясения. Возрастание сейсмической активности и усиление признаков миграции эпицентров по периферии контролируемого сейсмического окна рассматривается как важный дополнительный предвестник возможного возникновения сейсмического события в течение ближайших нескольких месяцев. При изучении вариаций сейсмического режима в пределах всей территории БРЗ используется каталог с постоянно обновляющимися оперативными сейсмологическими данными за последние 5–10 лет и за 1 год. Далее проводится стандартный анализ параметров режима в трех ее сегментах: юго-западном и северо-восточном флангах, а также в районе Байкальской рифтовой впадины. При необходимости детально анализируются отдельные районы, где выявлены критерии подготовки очагов землетрясений, с целью уточнения параметров ожидаемых событий.

При подготовке очередной ежеквартальной сводки в органы МЧС Иркутской области в пределах БРЗ обнаруживаются, как правило, несколько готовящихся очагов землетрясений, обычно 5–10. Эти данные, как и в сводке погоды, отмечаются с указанием энергии и места ожидания. При необходимости осуществляется мониторинг в каждом из выделенных потенциально опасных участков территории, что позволяет в течение выбранного периода уточнять прогноз по мере поступления новых сейсмологических данных. Иногда ожидаемое среднее по энергии землетрясение происходит в следующий временной интервал, или тревога снимается как ложная. Таким образом, на таком масштабном геоструктурном элементе в пределах Центральной Азии, как БРЗ, в средне- и долгосрочном прогнозе решение задачи оценки времени возникновения землетрясения трансформируется в способ наблюдения за подготовкой нескольких очагов. Это отличает разрабатываемый подход к прогнозу от ряда других – в частности, таких, когда мониторинг ведется за развитием одного конкретного выявленного заранее очага вблизи, например, такого опасного объекта, как АЭС. В этом случае прогно-

зирование времени наступления сейсмического события с применением разрабатываемого подхода упрощается при условии наличия более детальных сведений о сейсмическом режиме.

Весь представленный набор критериев для обоснования выбора потенциально сейсмоопасных районов Южного Прибайкалья ориентирован, в основном, на среднесрочный прогноз, т. е. на интервал месяцы – годы, однако данный подход можно адаптировать и для долгосрочного прогнозирования – многие годы – десятилетия, как это показано в работах [22–24]. При этом предполагается, что сделанный прогноз будет регулярно уточняться соответственно развивающейся сейсмогеодинамической обстановке. Именно по такому сценарию осуществляется и прогноз погоды. В 2010 г. представленный набор критериев был дополнен за счет включения данных по выявлению направленности и оценкам скоростей миграции землетрясений для разных энергетических кластеров в БРЗ [15].

По рассмотрению перечисленных критериев подготовки землетрясений можно заметить, что все они связаны с анализом сейсмологических данных и их интерпретацией с позиций сейсмогеологии и тектонофизики. Между тем для целей успешного прогнозирования сейсмических событий требуются также дополнительные сведения о причинах деформаций в земной коре, способных влиять на движения в разломах и генерацию сейсмических явлений. Пока подобных сведений в распоряжении авторов нет, а их получение требует создания сети деформометрических наблюдений, изучения природы деформационно-волновых процессов в земной коре. Отчасти подобные вопросы решаются средствами физического моделирования в разных средах – например, в ледовой. Сейсмопрогностическая ценность сейсмологических наблюдений возникает при условии грамотной интерпретации механизмов возникновения источников сейсмических колебаний. Это позволяет строить модели, более адекватные реальным явлениям, и, соответственно, выходить на более обоснованный долгосрочный и среднесрочный оперативный прогноз землетрясений с учетом специфики подготовки землетрясений в режиме континентального рифтогенеза.

Авторами в течение последнего десятилетия проводились исследования в рамках физического моделирования сейсмических явлений, фиксируемых в ледяном покрове оз. Байкал. Это позволило смоделировать условия для прогноза так называемых ледовых ударов, возникающих при динамическом разрушении ледяных пластов [6; 14]. Успех в вероятностном прогнозе был достигнут за счет сейсмодеформационного мониторинга в трещинах ледяного покрова и изменений реологических свойств льда под воздействием метеофакторов: температуры воды и воздуха, атмосферного давления, направления и силы ветра, толщины ледяных полей и состояния снежного покрова [13; 15].

Что же касается изменений сейсмического режима в земной коре, то, как уже говорилось выше, до настоящего времени для специалистов остаются малоизученными внутрикоровые деформационные режимы, их причины и параметры глубинных процессов в зонах разломов при подготовке земле-

трясений. Именно поэтому перед каждым исследователем как в России, так и за рубежом, возникают пока непреодолимые трудности в разработке методов любого вида сейсмического прогноза. Изменить ситуацию может только получение необходимой информации за счет расширения наблюдательной сети и продвижения в создании более совершенных моделей подготовки очагов землетрясений при разных геодинамических режимах.

Заключение

Из-за объективной недостаточности имеющихся сейсмологических сведений, а также более детальных данных о глубинных сейсмогеологических процессах в зонах разломов и в очаговых областях строгая формализация в оценках значимости прогностических критериев остается недостижимой. Отсюда методика и реализующий ее пакет компьютерных программ являются в значительной мере экспертной системой, которая в своей совокупности отражает сейсмический прогноз в Прибайкалье, рассматриваемый с позиций ученых-экспертов в финальной стадии анализа. В практическом смысле это означает, что в сводках для ГУ МЧС Иркутской области представляется список потенциально опасных районов в БРЗ и схема их расположения с оценками возможной энергии и балльности от ожидаемых сейсмических сотрясений в течение трехмесячного периода. Для рассмотренного оперативного среднесрочного прогноза землетрясений в Прибайкалье методический подход имеет свои отличия от требований, применяемых при долгосрочном прогнозе. Это связано с необходимостью выявления очагов готовящихся землетрясений, возможных именно в ближайшие месяцы, что важно для организации превентивных мер по снижению сейсмического риска для наиболее уязвимых районов Прибайкалья.

Относительно дальнейших перспектив совершенствования средне- и долгосрочного прогноза землетрясений в БРЗ с позиций современных представлений, озвученных на заседаниях международной школы-семинара, недавно прошедшей в г. Иркутске («Физические основы прогнозирования разрушения горных пород», сентябрь 2013 г.), можно отметить следующее. Дальнейший прогресс в долгосрочном и среднесрочном видах прогноза землетрясений может достигаться на основе новых исследований, расширения и совершенствования геофизических наблюдений, прежде всего в области сейсмологии, трибологии, геомеханики, проведения масштабных экспериментов на реальных сегментах разломов, а также численного и физического моделирования.

Список литературы

1. Байкальский филиал Геофизической службы Сибирского отделения. [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – URL: <http://seis-bykl.ru>.
2. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме / А. А. Любушин [и др.] // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 1. – С. 62–76.

3. *Голенецкий С. И.* Землетрясения юга Сибирской платформы по инструментальным сейсмологическим наблюдениям // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 6. – С. 68–77.

4. *Дядьков П. Г.* Периодичность в изменениях сейсмического режима и напряжений в земной коре Байкальской рифтовой зоны: связь с 11-летней цикличностью солнечной активности и сезонными изменениями уровня оз. Байкал // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М. : Янус-К, 2002. – Т. 3. – С. 672.

5. *Завьялов А. Д.* Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / А. Д. Завьялов. – М. : Наука, 2006. – 254 с.

6. Изучение взаимосвязи деформационной и сейсмической активности в блочных ледовых массивах. Возможности прогноза «ледовых ударов». Модельные исследования на ледовом покрове озера Байкал / С. В. Астафуров [и др.] // Вестн. НГУ. Сер. Математика, механика, информатика. – 2013. – Т. 13, вып. 3. – С. 3–10.

7. *Королев В. И.* Методика и некоторые результаты среднесрочного прогноза землетрясений в Саяно-Байкальской горной области / В. И. Королев, В. В. Ружич, Е. А. Левина // Дальнейшее совершенствование природной, техногенной и пожарной безопасности населения и территорий – устойчивое развитие Сибирского региона : материалы науч.-практ. конф. – Новосибирск : Сибпринт, 2004. – С. 41–43.

8. *Левин К. Г.* Периодичность природных явлений в Прибайкалье и сейсмичность // Современная геодинамика и сейсмичность Байкальского рифта. – Иркутск, 1997. – С. 171–188.

9. *Левина Е. А.* Новое программное обеспечение для анализа сейсмического режима и разработки среднесрочного прогноза землетрясений / Е. А. Левина, В. В. Ружич // Современ. геодинамика и опасн. природн. процессы в Центр. Азии. – 2005. – Вып. 3. – С. 204–207.

10. *Левина Е. А.* О способе оценки вероятности сильных землетрясений в Прибайкалье / Е. А. Левина, В. В. Ружич // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии : материалы Всерос. совещания с междунар. участием. Иркутск, 2007. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2007. – Т. 2. – С. 3–5.

11. *Левина Е. А.* Разномасштабная миграция землетрясений как проявление инициированного энергопотока при волновых деформациях литосферы Земли / Е. А. Левина, В. В. Ружич // Триггерные эффекты в геосистемах. Москва, 2010 : тез. докл. семинара-совещания. – М. : ИДГ РАН, 2010. – С. 53–54.

12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М. : Наука, 1977. – 536 с.

13. О разработке способов прогноза ледовых ударов средствами физического моделирования / В. В. Ружич [и др.] // Междунар. конф. по физ. мезомеханике, компьютер. конструированию и разработке новых материалов. Томск, 5–9 сент. 2011 : материалы. – Томск : ИФПМ СО РАН, 2011. – С. 444–445.

14. О совершенствовании способов прогноза землетрясений средствами физического моделирования в ледовом покрове Байкала / Н. Л. Добрецов [и др.] // Физ. мезомеханика. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 69–79.

15. *Пономарёва Е. И.* Изучение факторов подготовки сейсмодинамических явлений в байкальском льду. Моделирование сейсмопрогностических ситуаций // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород. Иркутск, 2–6 сент. 2013 г. : тез. докл. IX междунар. школы-семинара. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2013. – С. 67.

16. *Ружич В. В.* Динамика сейсмического процесса в Байкальской рифтовой зоне и Восточном Саяне в 1994–2050 гг. / В. В. Ружич, Е. А. Левина // Катастрофи-

ческие процессы и их влияние на природную среду ; под ред. Н. П. Лаверова. – М. : 2002. – Т. 2. – С. 439–453.

17. Ружич В. В. Проблемы прогноза землетрясений в Южном Прибайкалье : современное состояние и перспективы / В. В. Ружич, Е. А. Левина // Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска. Иркутск, 1997 г. : сб. тр. 1-й науч.-практ. конф. – Иркутск, 1997. – С. 170–175.

18. Ружич В. В. Программный пакет для оперативного построения карт изосейст прогнозируемых или только что произошедших землетрясений / В. В. Ружич, Е. А. Левина // Оценка и управление природными рисками : материалы всерос. конф. «Риск-2003». – М. : Изд-во РУДН, 2003. – Т. 1. – С. 243–245.

19. Ружич В. В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны / В. В. Ружич. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1997. – 144 с.

20. Садовский М. А. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс / М. А. Садовский, Л. Г. Болховитинов, В. Ф. Писаренко. – М. : Наука, 1987. – 100 с.

21. Садовский М. А. Сейсмический процесс в блоковой среде / М. А. Садовский, В. Ф. Писаренко. – М. : Наука, 1991. – 96 с.

22. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений / Г. А. Соболев. – М. : Наука, 1993. – 313 с.

23. Соболев Г. А. Физика землетрясений и предвестники / Г. А. Соболев, А. В. Пономарев. – М. : Наука, 2003. – 270 с.

24. Солоненко В. П. Сейсмоструктурная, глубинное строение и сейсмичность северо-востока Байкальской рифтовой зоны / В. П. Солоненко. – Новосибирск : Наука, 1975. – 104 с.

25. Статистическая оценка максимальной возможной магнитуды землетрясения для Байкальской рифтовой зоны / В. В. Ружич [и др.] // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 10. – С. 1443–1455.

26. Уломов В. И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – 1993. – Вып. 1. – С. 24–44.

27. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях / ред. М. А. Садовский, Г. А. Соболев. – М. : Наука, 1987. – 126 с.

28. Экспериментальные и численные методы в физике очага землетрясения / ред. М. А. Садовский. – М. : 1989. – 237 с.

29. Northern California earthquake data center : official website. – URL: <http://www.ncedc.org>.

The Medium-Term on-line Earthquake Forecast in Pribaikalye and it's Potentialities

Ye. I. Ponomareva, V. V. Ruzhich, Ye. A. Levina

Abstract. The paper analyses the results and potentialities as well as restrictions of the developed on-line approach to improvement of the medium-term on-line earthquake forecast in the context of conditions of information support and geodynamic development of Pribaikalye. Identified criteria for preparation of earthquakes and their validity are discussed. It is shown that limitations on accuracy of medium-term earthquake forecast are due to the lack of necessary information on deep processes in the preparation of earth-

quakes. However, the achieved level of justification of predictions can be assessed as satisfactory and useful for Main Department of the Ministry for Emergency Situations and administration of the Irkutsk region, with which there is a long-term cooperation of the Institute of the Earth's crust specialists.

Keywords: earthquake, focus of earthquake, forecast criteria, seismic safety.

Пономарёва Елена Иннокентьевна
инженер
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–27–76

Ponomareva Yelena Innokentyevna
Engineer
Institute of the Earth's Crust of SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–27–76

Ружич Валерий Васильевич
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск
ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–27–76

Ruzhich Valery Vasilyevich
Doctor of Sciences (Geology and
Mineralogy, Chief Research Scientist
Institute of the Earth's crust of SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–27–76

Левина Елена Алексеевна
кандидат геолого-минералогических наук
младший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–27–76

Levina Elena Alekseevna
Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Junior Research Scientist
Institute of the Earth's crust of SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–27–76