

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

*О.В. Лунина, А.С. Гладков, А.А. Гладков*

*Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова 128, г. Иркутск, 664033; e-mail: [lounina@crust.irk.ru](mailto:lounina@crust.irk.ru)*

Поступила в редакцию 27 октября 2010 г.

Разработана систематизация активных разломов, опирающаяся на достижения ученых ведущих стран мира в изучении проблем сейсмотектоники и сейсмической опасности. В ее основе лежат представления о разломно-блоковом строении геолого-геофизической среды, определяемом взаимодействием разнонаправленных активных разрывных нарушений, которые разделяются на две группы сейсмогенерирующих и несейсмогенерирующих разломов. В зонах сейсмогенерирующих разломов накапливаемые тектонические напряжения реализуются через сильные землетрясения. В зонах несейсмогенерирующих разломов происходят криповые смещения или короткопериодические, пульсационные и знакопеременные подвижки, относимые к локальным суперинтенсивным деформациям земной поверхности (согласно терминологии Ю.О. Кузьмина). Для ситуации, когда происходит сильное землетрясение, выделена подгруппа сеймораспределяющих разрывных нарушений, окружающих сейсмический очаг и влияющих на распределение сейсмических волн и, как следствие, на особенности распространения косейсмических деформаций в разломно-блоковой среде. Сеймораспределяющие разломы разделены на транзитные и экранирующие. Вдоль первых вторичные косейсмические эффекты (обвалы, оползни, трещины в грунтах, разжижение и т.п.) при землетрясении усиливаются. В случае экранирующего разлома усиление косейсмических эффектов может наблюдаться в пределах ближайшего к эпицентру события крыла дизъюнктива, в то время как в противоположном крыле их интенсивность заметно падает. С сейсмогенерирующими разломами или их системами ассоциируются зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ), которые включают области сосредоточенной сейсмичности. В них каждый очаг землетрясения связан с эволюцией системы дизъюнктивов. Зоны ВОЗ также содержат индивидуальные сейсмогенные источники – очаги сильных землетрясений с  $M \geq 5.5$  в виде разрывов, которые в графическом виде могут быть представлены в 2D или 3D виде как проекция очага на поверхность. Индивидуальные сейсмогенные источники в зависимости от типа данных, на основании которых они выделяются, делятся на геолого-геофизические и макросейсмические. Представленная систематизация является теоретической основой и концепцией реляционной базы данных, которая разрабатывается авторами как информационная система для создания сейсмотектонических проектов в рамках ГИС-технологий, необходимых для последующего анализа сейсмической опасности и оценки вероятностей возникновения макросейсмических эффектов землетрясения в заданном месте.

**Ключевые слова:** активные разломы, сейсмогенерирующие структуры, зоны ВОЗ, сейсмогенные источники, реляционная база данных, систематизация.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, геолого-геофизическая среда характеризуется разломно-блоковым строением, а землетрясения не рассеяны хаотично, а приурочены к относительно узким зонам активных разломов. Существует несколько определений этих структур [3, 10, 11, 16, 32 и др.], основанных главным образом на активизации разлома в избранный интервал времени.

Нами под активными разломами понимаются разрывные нарушения, вдоль которых в течение последних 1–2 млн лет происходили тектонические смещения как однонаправленные, так и знакопеременные. Именно такие разломы формируют современную проницаемую геологическую среду, в которой возникают землетрясения, а также другие опасные природные явления (оползни, обвалы, разжижение грунта и др.).

Несмотря на известные общие закономерности строения геологической среды, ее неоднородности пока трудно учесть при оценке сейсмической опасности, анализ которой включает в первую очередь количественную оценку сотрясения грунта в отдельном пункте. Необходимы математические уравнения, описывающие законы затухания сейсмических волн при пересечении зон разломов под разными углами. Определенные трудности при установлении связи землетрясений с разломами связаны с недостатком данных о трехмерной геометрии сейсмогенерирующих структур и их двумерным графическим представлением, а также с отсутствием их электронных баз данных. Эти проблемы пока не позволяют усовершенствовать моделирование сейсмического эффекта, а значит сделать прогноз сейсмической опасности более реальным для некоторого объекта, под которым понимается отдельное сооружение, комплекс сооружений, населенный пункт и т.п. На наш взгляд, необходима четкая систематизация активных разломов, лежащих в основе не только сейсмического прогноза, но и в основе прогноза других опасных геодинамических процессов.

Цель данной статьи – представить систематизацию активных разломов, необходимую для установления закономерных связей между понятиями-терминами, используемыми в ведущих странах при оценке сейсмической опасности. Определение этих связей является теоретической основой и концепцией реляционной базы данных, которая разрабатывается авторами как информационная система для создания крупных сеймотектонических проектов, необходимых для последующего анализа сейсмической опасности и оценки вероятностей возникновения макросейсмических эффектов землетрясения в заданном месте. Некоторые результаты ее реализации для активных разломов и взаимосвязанных элементов также будут показаны в настоящей работе.

#### АНАЛИЗ МИРОВЫХ ДАННЫХ КАК ОСНОВА СИСТЕМАТИЗАЦИИ

Для систематизации неоген-четвертичных разломов нами были проанализированы основные представления об активности дизъюнктивных структур, зонах возникновения очагов землетрясений и ассоциирующих сейсмогенных источниках, а также разработки, касающиеся оценок сейсмической и геодинамической опасностей в России и за рубежом [3, 10, 11, 13, 14, 18–20, 22–24, 26–29, 31–32, 34].

Несмотря на схожую идеологию (фундаментом которой является активный разлом), лежащую в основе прогноза сейсмической опасности, некоторые базовые понятия в разных странах настолько упро-

щены, что между собой не совсем четко согласуются. Так, например, в Италии основной моделью для оценки сейсмической опасности служит база данных индивидуальных и композитных сейсмогенных источников, под которыми понимается “обычное упрощенное 3D представление реального мира, который виден в процессе инструментальными сейсмологами и геодезистами; динамические и физические эффекты которого позднее наблюдаются сейсмогеологами и специалистами, изучающими землетрясения по историческим сведениям; физические эффекты которого предсказываются знатоками инженерной сейсмологии...” [22, с. 802]. Иными словами, сейсмогенные источники – это модели очага и/или разрыва (индивидуальные источники) или скоплений очагов в виде линейных зон ВОЗ – зон возникновения очагов землетрясений (композитные источники), которые обеспечивают информацию для их 3D представления на любой географической основе [22–24]. Итальянские ученые и проектировщики почти отказались от использования “активного” разлома в сейсмопрогностических построениях, считая их бесполезными при детерминистическом и вероятностном анализе. Напротив, в США база данных по четвертичным разломам является основным источником информации для построения государственных карт сейсмической опасности [30]. База данных, созданная в Японии ([http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index\\_e.html](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index_e.html)), содержит только сейсмогенные разрывы, а сейсмогенными источниками там принято называть домены, на которые разделена вся островная страна [26, 28].

В России в основе исследований по оценке сейсмической опасности и общему сейсмическому районированию лежит методология, в которой главным и первоначальным звеном являются зоны ВОЗ (иногда называемые источниками), состоящие из трех главных структурных сейсмогенерирующих элементов: линеаментов, доменов и потенциальных очагов [18–20]. Для их выделения используются сейсмологические и сейсмогеологические материалы, а также карты активных разломов [4].

Следует отметить, что в Италии, США, Японии и Новой Зеландии базы данных по активным разломам или сейсмогенным источникам общедоступны и весьма информативны. Их клиентская часть визуализируется в веб-браузере как в картографическом, так и в описательном (таблицы, тексты, рисунки) видах. Ознакомиться с ними можно на интернет-сайте Национального Института геофизики и вулканологии Италии (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>). Подобных баз данных, полноценно характеризующих геометрию и сейсмическое поведение каждого активного разлома (сейсмогенного источника) на карте среднего масш-

таба, а также сопровождающихся иллюстративным материалом, для российских регионов авторам настоящей статьи неизвестны. Первая же цифровая база данных по крупнейшим активным разломам в России была составлена под руководством В.Г. Трифонова для всей Евразии [17].

Таким образом, несмотря на очевидную связь разломов и землетрясений, в ведущих странах мира нет единого идеологического фундамента для оценки сейсмической опасности, хотя понимается, что опасность исходит от активного разлома. Более того, проведенный круглый стол “Уточнение сейсмичности и сейсмической опасности на территории Российской Федерации...” на научном совещании “Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири” в июне 2010 в г. Хабаровске [12] показал, что данные по активным разломам различных регионов нашей страны весьма неоднородны. Это, в свою очередь, затрудняет создание основы планируемых карт общего сейсмического районирования следующего поколения – ОСР-2012 [20]. Следовательно, для дальнейшего прогресса в исследованиях, связанных с изучением активных разломов, построением сейсотектонических моделей и оценкой сейсмической опасности необходимы новые методологические подходы и концепции, опирающиеся на уже сделанные достижения и разработки в данной области.

#### КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ

Представленная на блок-схеме (рис. 1) систематизация активных разломов – попытка прийти к единому пониманию ученых разных стран активного разлома и его роли в прогнозе сейсмической опасности и других катастрофических явлений природного и техногенного характера. Некоторое краткое пояснение данной разработки может быть сведено к следующему. Геолого-геофизическая среда имеет разломно-блоковое строение, определяемое взаимодействием активных разнонаправленных разрывных нарушений, которые разделяются на две группы сейсмогенерирующих и несейсмогенерирующих разломов. В зонах сейсмогенерирующих разломов накапливаемые тектонические напряжения реализуются через сильные землетрясения. В зонах несейсмогенерирующих разломов происходят криповые смещения или короткопериодические, пульсационные и знакопеременные подвижки, относимые к локальным суперинтенсивным деформациям земной поверхности со среднегодовой скоростью  $(2\div 7)\cdot 10^{-5}$ /год [3]. Изучение и выявление последних важно для прогнозирования опасных смещений, которые могут привести к ава-

рийным ситуациям на промышленных объектах, расположенных в асейсмичных и слабосейсмичных регионах.

Даже в относительно однородном поле напряжений при одной последовательности сейсмических событий движение может происходить не только по главному, активизированному в данный момент разлому, но и по другим дизъюнктивам, с той лишь разницей, что масштаб этих движений существенно различается либо они являются вторичными. Окружающие в определенном радиусе сейсмический очаг (сейсмогенный разрыв) разломы служат либо проводниками, либо экранами для прохождения сейсмических волн. Иными словами затухание их энергии происходит медленнее вдоль разломов и быстрее при пересечении тектонических структур [1, 2, 15, 25]. Таким образом, если разлом, к которому приурочен очаг, является сейсмогенерирующим, то остальные окружающие его тектонические нарушения в момент конкретного землетрясения будут сейсмораспределяющими.

Сейсмораспределяющие разломы разделены на транзитные и экранирующие. Вдоль первых вторичные косейсмические эффекты (обвалы, оползни, трещины в грунтах, разжижение и т.п.) при землетрясении усиливаются. В случае экранирующего разлома усиление косейсмических эффектов может наблюдаться в пределах ближайшего к эпицентру события крыла дизъюнктива, в то время как в противоположном крыле их интенсивность заметно падает. Вопросы, касающиеся аномалий в сейсмических сотрясениях, проявлении вторичных эффектов и затухании сейсмических колебаний вкрест и вдоль простираения тектонических нарушений, обсуждались в литературе [1, 2, 4, 6, 15, 25].

С сейсмогенерирующими разломами или их системами ассоциируются зоны ВОЗ, которые в итальянской, а сейчас уже и в европейской терминологии называются сейсмогенными площадями (seismogenic area) [22–23] или, в более поздних работах, композитными сейсмогенными источниками (composite seismogenic source) [24]. Зоны ВОЗ, соответственно, включают области сосредоточенной сейсмичности, в которых каждый очаг землетрясения ассоциируется с эволюцией системы дизъюнктивов, вдоль которой выделена конкретная зона ВОЗ. Зоны ВОЗ также содержат индивидуальные сейсмогенные источники – очаги сильных землетрясений в виде разрывов, которые могут быть представлены в 2D или 3D виде как проекция очага на поверхность. Минимальная магнитуда землетрясений, генерируемых индивидуальными источниками в Европе, принята 5.5 [22–24],

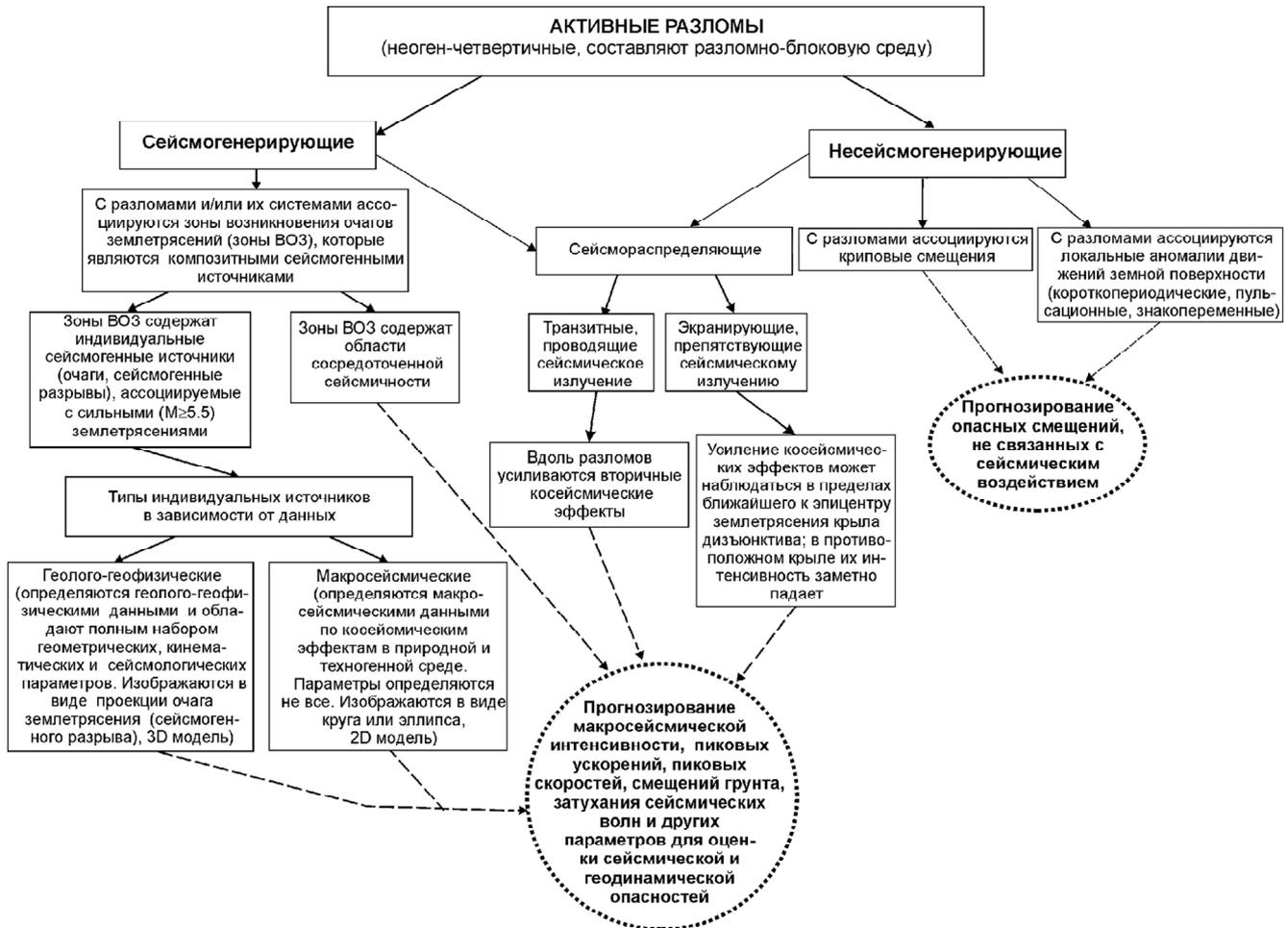


Рис. 1. Систематизация активных в неоген-четвертичное время разломов.

что очевидно обусловлено пороговым значением, с которого начинается поверхностное разрывообразование. Это можно увидеть из каталогов разрывообразующих землетрясений [5, 33], хотя есть единичные сейсмические события с  $M_s = 5.1-5.2$ , с которыми связывают современные сейсмодислокации. В России ниже значение магнитуды линейных зон ВОЗ при общем сейсмическом районировании официально принято 6.0, что обосновывается ненадежностью определения очагов с меньшей магнитудой [18, 19], но при детальном сейсмическом районировании ограничений по магнитуде землетрясений не делается. Индивидуальные сейсмогенные источники в предлагаемой систематизации в зависимости от типа данных, на основании которых они выделяются, делятся на геолого-геофизические и макросейсмические. Первые должны обладать полным набором геометрических, кинематических и сейсмологических параметров, необходимых для оценки сейсмического эффекта для

некоторого объекта, и быть представлены в виде проекции очага на поверхность, которая дает представление о трехмерной геометрии сейсмогенного источника. Вторые – в зависимости от полноты сведений изображаются на картах в виде круга или эллипса. Следует заметить, что представления о сейсмогенных источниках базируются на разработках итальянских ученых [22–24] с той лишь разницей, что в Италии к индивидуальным источникам относят только те, наличие которых подтверждено геолого-геофизическими данными, т.е. макросейсмические источники к индивидуальным не относятся.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ К РЕШЕНИЮ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Предложенная систематизация является теоретической основой и концепцией реляционной базы данных, которая создается авторами как информационная система для реализации крупных сеймотектонических проектов, необходимых для оценки сейс-

мической опасности. Структура базы данных опирается на опыт предшественников [17, 22–24, 30], но сама разработка является новой. Реляционная база данных будет являться приложением компьютерной программы MapInfo, написанным в среде MapBasic. Ее структура состоит из шести блоков 1-го уровня, в которых, согласно предложенной теоретической основе, интегрируется информация по активным разломам (АР), композитным сейсмогенным источникам (КСИ), индивидуальным геолого-геофизическим сейсмогенным источникам (ИГГСИ), индивидуальным макросейсмическим сейсмогенным источникам (ИМСИ), косейсмическим эффектам (КЭ), а также геолого-структурная информация (ГСИ). Последние два блока объединяют фактические полевые данные. Блок КЭ включает только те точки наблюдения, в которых зафиксированы любые косейсмические эффекты в природной и техногенной среде; блок ГСИ – остальные точки наблюдений. Иерархическая структура файловой системы базы данных отражена на

рис. 2. Ввод данных может осуществляться через специальные окна сразу после нанесения объекта (разлома, сейсмогенного источника или др.) на карту; при этом сохраняется возможность вносить изменения информации, если объект уже находится в базе данных. Вывод данных будет производиться в веб-браузере. Для каждого блока 1-го уровня разработаны схемы, показывающие содержание подчиненных баз данных [9].

В качестве эталонной площади для исследований и заполнения реляционной базы данных выбрана территория юга Восточной Сибири в рамках координат 100–114° в.д. и 50–57° с.ш. К настоящему времени завершена электронная карта активных в неоген-четвертичное время разломов для данной площади (рис. 3) и заполнены некоторые информационные блоки в атрибутивных таблицах MapInfo (tab-файлы, содержащие данные о разломах в цифровом виде, размещены на сайте <http://www.crust.irk.ru/spp2/pages/maps.htm>) [9]. Реализация первого блока реля-

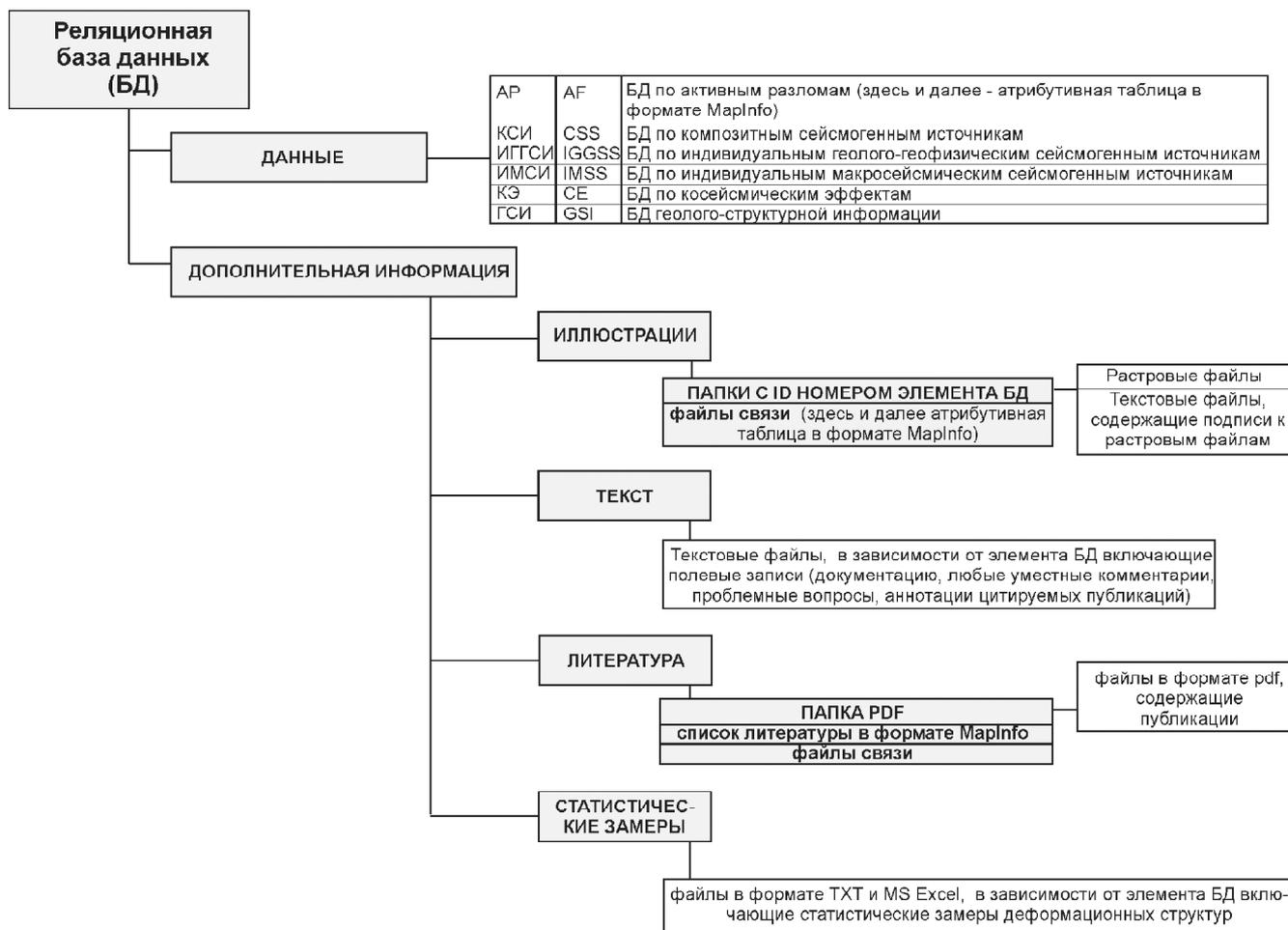
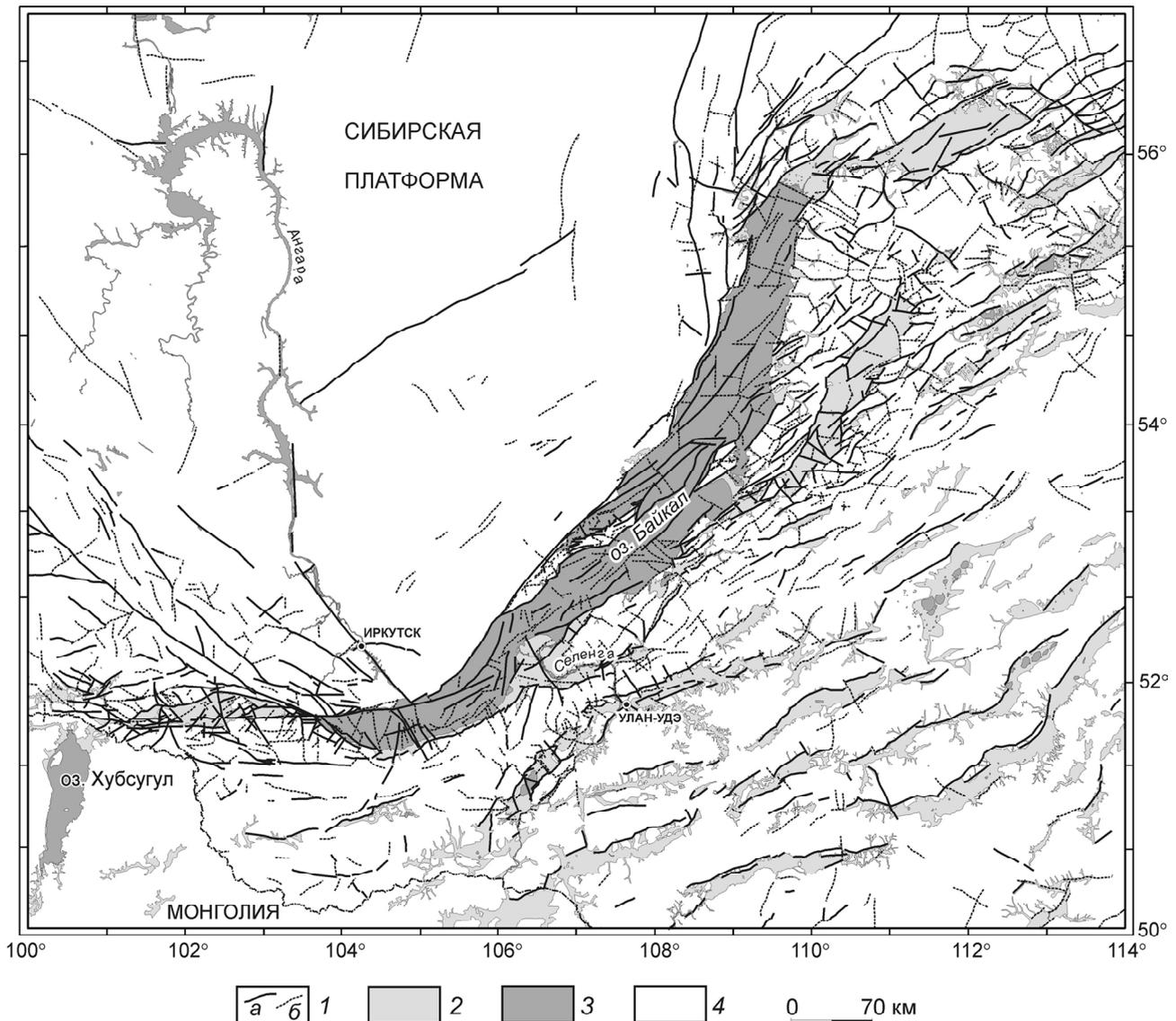


Рис. 2. Структура файловой системы реляционной базы данных.



**Рис. 3.** Электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири.

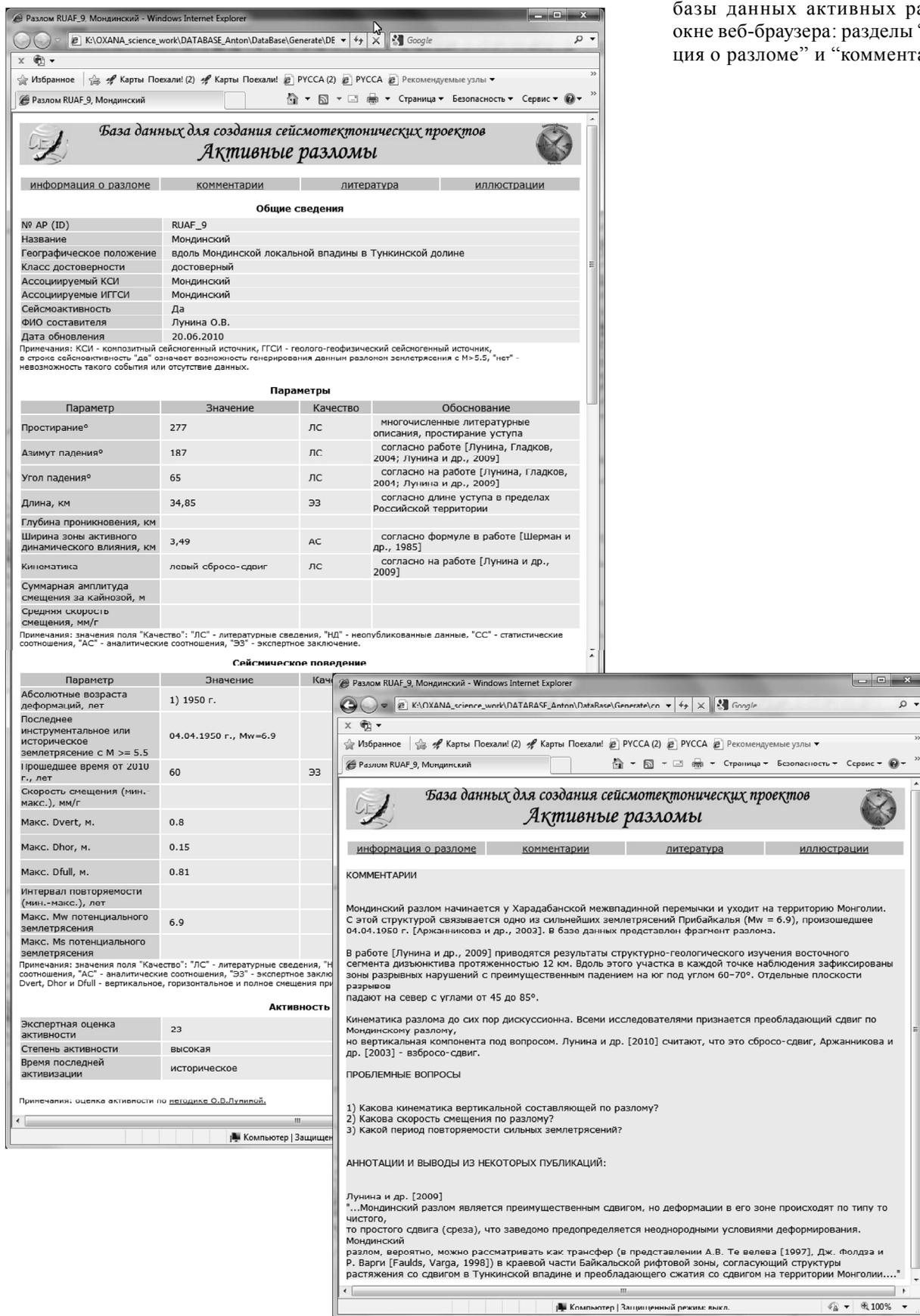
1 – достоверные (а) и предполагаемые (б) разломы; 2 – суходольные кайнозойские и мезозойские впадины Байкальской и Западно-Забайкальской рифтовых зон, соответственно; 3 – озера и крупные водные артерии; 4 – породы кристаллического фундамента и чехла Сибирской платформы.

ционной базы данных позволяет выводить уже имеющиеся записи и иллюстрации для каждого разлома в виде html-страниц (рис. 4–5).

База данных к карте является основой построения (путем запросов) карт активных разломов, разделенных по достоверности, кинематике, степени активности и времени последней активизации. Критерии достоверности выделения разлома и условия для определения времени их последнего обновления описаны в работах [8, 9]. Оценка активности дизъюнктива автоматически рассчитывается по методике, основанной на экспертных баллах, которые присваиваются за определенные признаки активности разло-

ма [7]. В соответствии с расчетной оценкой указывается степень активности тектонического нарушения (слабая, средняя, повышенная, высокая или аномально высокая). При необходимости можно сделать выборку только сейсмогенерирующих разломов (рис. 6). Этой характеристике в базе данных соответствует поле “Сейсмоактивность”, которое автоматически заполняется значением “да”, если доказана связь землетрясений с конкретным разломом, т.е. если заполнены поля “Сейсмогеологические признаки активности”, “Последнее инструментальное или историческое землетрясение с  $M \geq 5.5$ ”, “Ассоциируемый КСИ” и/или “Ассоциируемый ИГКСИ”.

Рис. 4. Пример вывода записей из базы данных активных разломов в окне веб-браузера: разделы “информация о разломе” и “комментарии”.



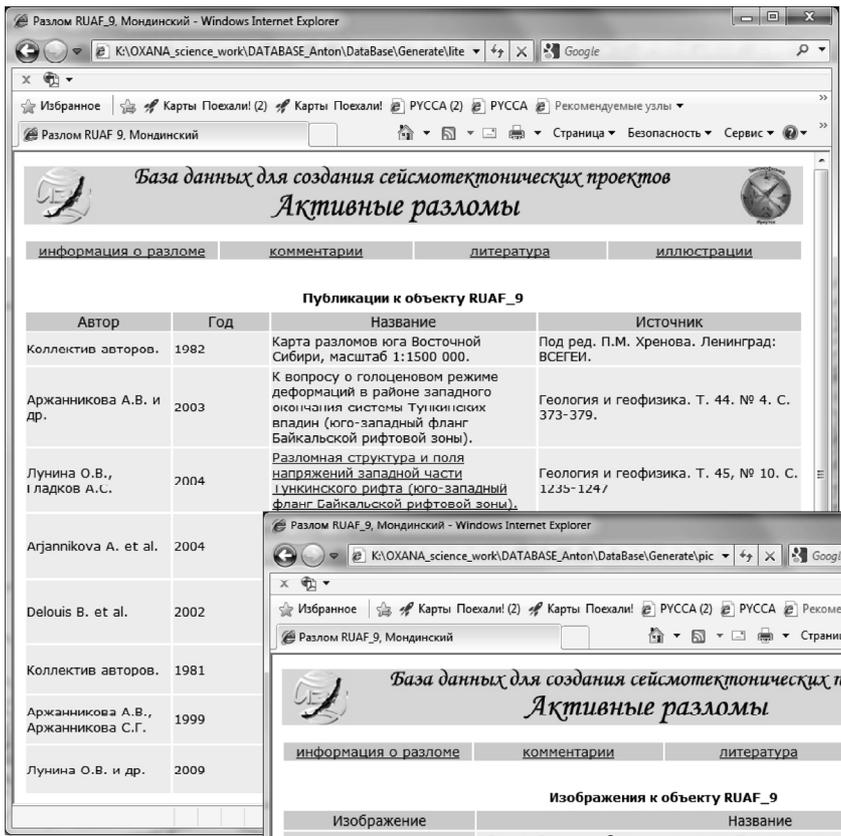
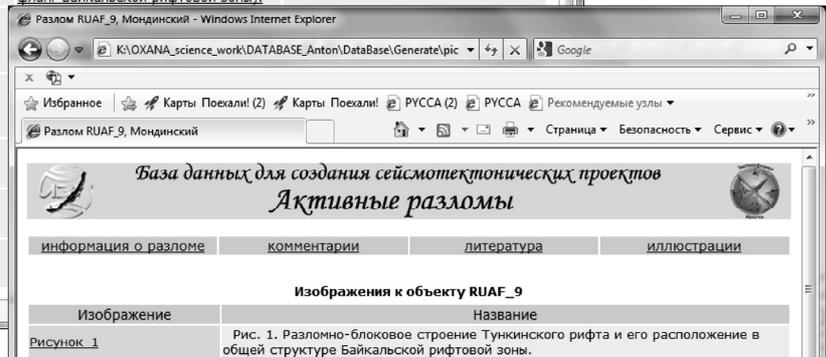
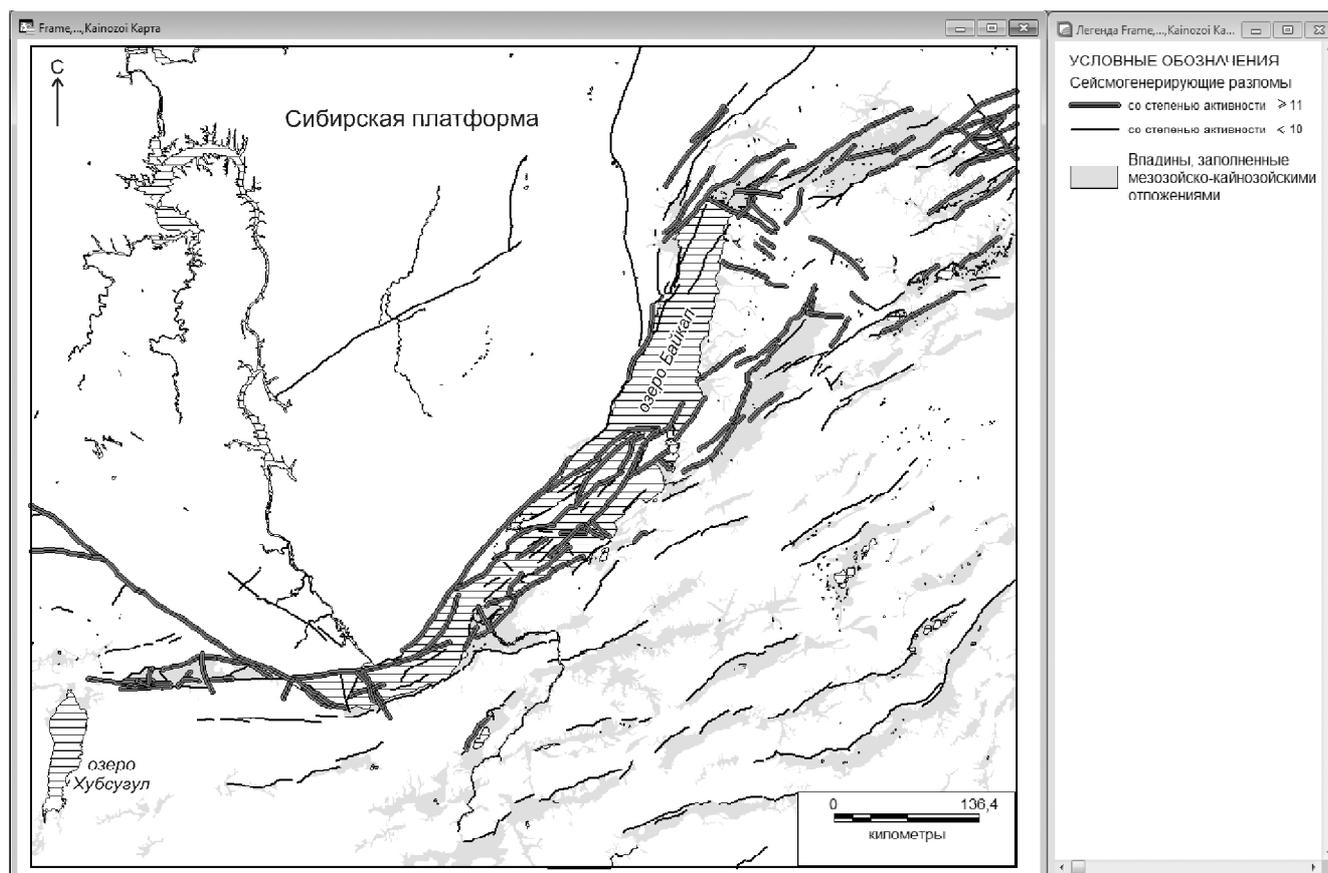


Рис. 5. Пример вывода записей из базы данных активных разломов в окне веб-браузера.

Разделы “литература” и “иллюстрации” (в разделе “литература” при наличии электронной версии публикации имеется возможность просматривать ее pdf-файл; названия таких публикаций выделены подчеркиванием).





**Рис. 6.** Электронная карта, на которой представлены только сейсмогенерирующие разломы юга Восточной Сибири, в зонах которых могут формироваться очаги землетрясений с  $M \geq 5.5$  (скриншот).

Разработка реляционной базы данных, в которой будет интегрироваться информация для построения электронных сеймотектонических проектов, и ее наполнение, продолжается. На рис. 7 представлен рабочий фрагмент такого проекта для юга Восточной Сибири, в центре которого расположена Тункинская рифтовая впадина. Данный фрагмент графически иллюстрирует положение каждого элемента (активного разлома, композитного источника и др.) и их взаимоотношение согласно представленной в статье систематизации. Таким образом, данная систематизация стимулирует развитие сеймотектонических основ нового поколения, необходимых для картирования сейсмической опасности в любом масштабе с использованием как существующих методов [18–20, 29], так и возможно совершенствованных в будущем.

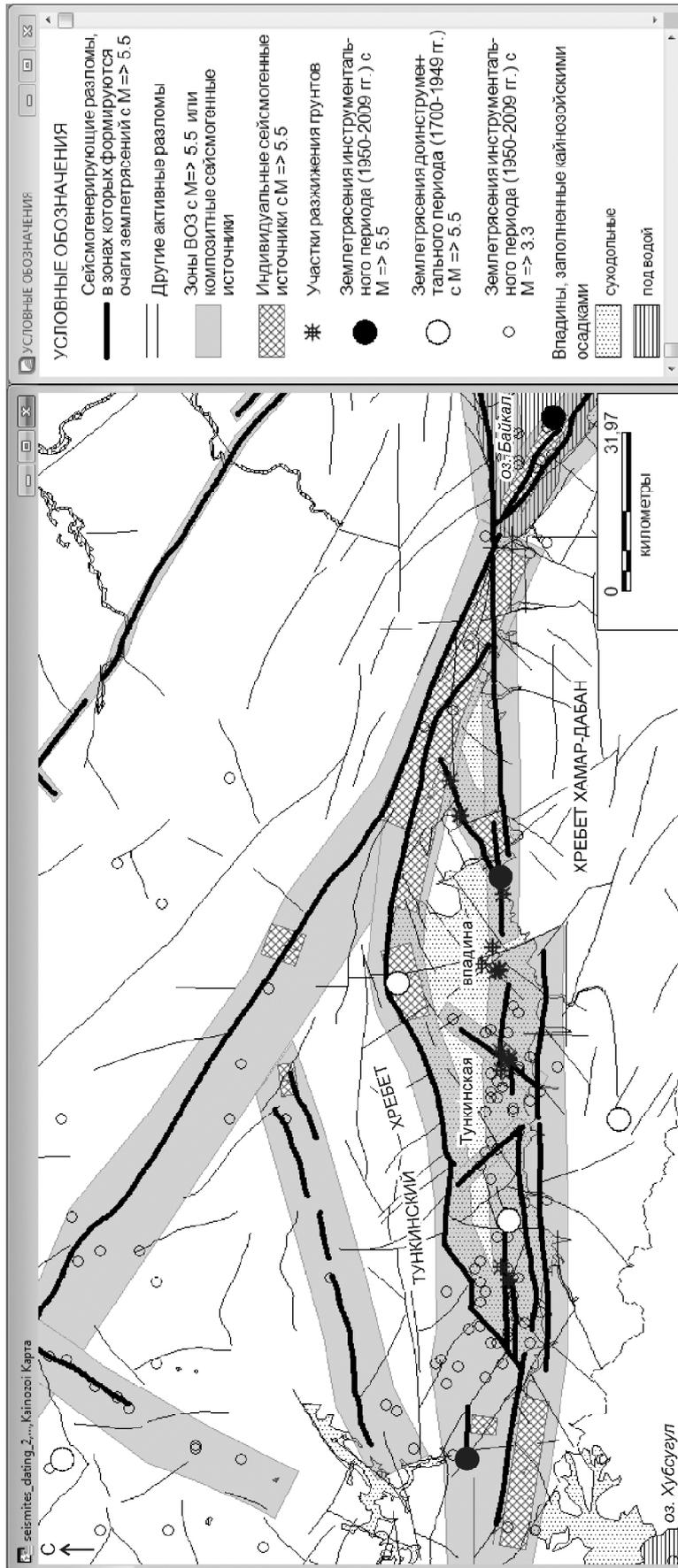
#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная систематизация активных разломов опирается на достижения ученых ведущих стран мира (России, Италии, США, Японии) в изучении

проблем сейсмотектоники и сейсмической опасности и дает четкое представление о взаимоотношении понятий разломно-блоковая (слоисто-блоковая) среда, активный разлом, зона ВОЗ и сейсмогенный источник (очаг, разрыв). Создавая ее, авторы стремились получить методологию, необходимую для:

- перехода на новую ступень развития исследований по оценке сейсмической опасности регионального и локального уровней, когда при построении модели сейсмического эффекта будут использоваться не только данные о зонах возникновения очагов землетрясений, но и учитываться неоднородности геолого-геофизической среды, главными из которых являются незалеченные тектонические нарушения определенного иерархического уровня;

- учета разломов асейсмичных и слабосейсмичных территорий, которые в результате медленных, но постоянных или короткопериодических смещений вдоль их крыльев могут представлять реальную опасность для промышленных объектов, а значит являться активными;



**Рис. 7.** Фрагмент сеймотектонического проекта для юга Восточной Сибири (район Тункинской рифтовой впадины).

Представлен рабочий вариант проекта, на котором зоны ВОЗ (композитные сейсмогенные источники) выделены условно. Землетрясения инструментального периода приведены по данным регионального каталога Геофизической службы СО РАН (<http://www.seis-byki.ru>), доинструментального периода – по работе [21].

- перехода на более совершенный уровень представления результатов сеймотектонических исследований в цифровом виде с сопровождением картографических проектов полноценной и иллюстрированной базой данных.

Предложенная систематизация уже позволила разработать и частично реализовать структуру реляционной базы данных, которая дает представление о порядке подготовки материалов для построения сеймотектонических моделей нового поколения в рамках геотектонических систем.

Авторы благодарны профессору Университета г. Феррары в Италии Риккардо Капуто (Riccardo Caputo) за любезно предоставленную возможность подробно ознакомиться с работой итальянской базы данных сейсмогенных источников. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 10-05-00072-а и 09-05-92421-КЭ – EINSTEIN Consortium), Совета по грантам Президента РФ (грант № МК-59.2009.5) и ФЦП (госконтракт 02.740.11.0446).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Добрынина А.А. Затухание сейсмических волн в зонах крупных активных разломов южного обрамления Сибирской платформы // Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы первой молодежной школы семинара. М.: ИФЗ, 2009. С. 38–40.
- Голенецкий С.И., Кочетков В.М., Солоненко А.В. и др. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмичность. Новосибирск: Наука, 1985. 192 с.
- Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 262 с.
- Леви К.Г., Хромовских В.С., Кочетков В.М. и др. Современная геодинамика: сеймотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты) Ст. II // Литосфера Центральной Азии. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН, 1996. С. 150–182.
- Лунина О.В. Влияние напряженного состояния литосферы на соотношение параметров и внутреннюю структуру сейсмоактивных разломов: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2002. 223 с.
- Лунина О.В., Радзиминович Я.Б., Гладков А.С. О влиянии зон разломов на гравитационные явления при землетрясениях умеренной силы // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 7. С. 790–794.
- Лунина О.В. Формализованная оценка степени активности разломов в плиоцен-четвертичное время (на примере Байкальской рифтовой зоны) // Геология и геофизика. 2010. № 4. С. 525–539.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // Докл. РАН. 2010. Т. 433, № 5. С. 662–667.
- Лунина О.В., Гладков А.А., Капуто Р., Гладков А.С. Разработка реляционной базы данных для сеймотектонического анализа и оценки сейсмической опасности юга Восточной Сибири // Геоинформатика. 2011. № 2. С. 26–35.
- Несмеянов С.А., Ларина Т.А., Латынина Л.А. и др. Выявление и прогноз опасных разрывных тектонических смещений при инженерных изысканиях для строительства // Инж. геология. 1992. № 2. С. 17–32.
- Никонов А.А. Активные разломы: определение и проблемы выделения // Геоэкология. 1995. № 4. С. 16–27.
- Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири / Под ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск: Ин-т тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2010. 311 с.
- Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1981. 168 с.
- Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Имаев В.С. Палеоземлетрясения Прибайкалья: методы и результаты датирования // Геодинамика и тектонофизика (электронный журн. <http://www.crust.irk.ru/gt>). 2010. Т. 1, № 1. С. 55–74.
- Солоненко В.П., Николаев В.В., Семенов Р.М. и др. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование. Новосибирск: Наука, 1985, 192 с.
- Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Лукина Н.В. Изучение и картирование активных разломов // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М: ИФЗ, 1993. С. 196–205.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России // Всероссийский НИИ проблем научно-технического прогресса и информации в строительстве. М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. 56 с.
- Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инж. изыскания. 2009. № 9. С. 28–39.
- Уломов В.И., Перетокин С.А. О развитии методов общего сейсмического районирования территории Российской Федерации для создания карт ОСР-2012 // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири / Под ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск: Ин-т тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2010. С. 177–181.
- Чипизубов А.В. Оптимальная оценка сейсмической опасности Прибайкалья: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. 417 с.
- Basili R., Bordononi P., Burrato P. et al. Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy. Eds: Valensise G., Pantosti D. // Annali di Geofisica. 2001. Suppl. to V. 44, N 4. 180 p.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P. et al. The Database of Individual Seismogenic Source (DISS), Version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology // Tectonophysics. 2008. V. 453. P. 20–43.
- Basili R., Kastelic V., Valensise G. and DISS Working Group. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3.1.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.crust.irk.ru/gt>.

- diss.rm.ingv.it/diss. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Sezione Romal. 2009. 16 p.
25. Hamilton R. M., Mooney W. D. Seismic-Wave Attenuation Associated with Crustal Faults in the New Madrid Seismic Zone // *Science*. 1990. V. 248 (4953). P. 351–354.
  26. Koravos G. Ch., Tsapanos T.M., Bejaicund M. Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Japan // *Pure Appl. Geophys.* 2006. V. 163. P. 137–151.
  27. Lavecchia G., Brozzetti F., Barchi M. et al. Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from an analysis of the Neogene to Present deformations and related stress fields // *Bull. Soc. Geol. Am.* 1994. V. 106, N 9. P. 1107–1120.
  28. Matsuda T. Seismic zoning map of Japanese islands, with maximum magnitudes derived from active fault data // *Bull. Earthq. Res. Itst., Univ. of Tokyo*. 1990. V. 65. P. 289–314.
  29. Reiter L. *Earthquake Hazard Analysis – Issues and Insights*. New York: Columbia University Press, 1990. 254 pp.
  30. U.S. Geological Survey (and supporting agency if appropriate-see list below). Quaternary fault and fold database for the United States, accessed DATE, 2006. From USGS web site: <http://earthquakes.usgs.gov/regional/qfaults/>.
  31. Valensise G., Pantosty D. The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review // *J. Seismology*. 2001. V. 5, N 3. P. 287–306.
  32. Vita-Finzi C. *Recent Earth movements*. London. Toronto: Acad. Press, 1986. 226 c.
  33. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1994. V. 84, № 4. P. 974–1002.
  34. Wesnousky S.G., Scholz C.H., Shimazaki K., Matsuda T. Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: A case study of Japan // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1984. V. 74. N 2. 687–708 p.

*Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым*

*O.V. Lunina, A.S. Gladkov, A.A. Gladkov*

### **Systematization of active faults for seismic hazard estimation**

Systematization of active faults based on the achievements of the scientists of the leading countries of the world in studying seismotectonics and seismic hazard problems is developed. The systematization is founded on the concepts of fault-block structure of geologic-geophysical environment determined by interaction of differently directed active faults that are divided into two groups: seismogenerating and non-seismogenerating faults. Accumulated tectonic stresses in the zones of the seismogenerating faults are realized through strong earthquakes. Creep slips or short-period, pulsating and oscillating movements, attributable to local super-intensive crustal deformations (according to Yu.O. Kuz'min), occur in the zone of the non-seismogenerating faults. For a situation, when a strong earthquake occurs, subgroup of seismodistributing faults surrounding the seismic source and affecting the seismic wave propagation and therefore the peculiarities of expansion of the coseismic effects in the fault-block environment, is separated. Seismodistributing faults are divided into transitional and screening ones. Secondary coseismic effects (rockfalls, landslides, ground fractures, liquefaction and others) are increased along the former during an earthquake. In case of screening faults, an increase of coseismic effects can be observed within the nearest to the earthquake epicenter fault wing, while their intensity is substantially decreased in the opposite fault wing. Zones of earthquake source origination (ESO) that include areas of concentrated seismicity are related to the seismogenerating faults or their systems. Each earthquake source of an ESO zone is associated with the evolution of disjunctive system. The ESO zones also contain individual seismogenic sources – sources of strong earthquakes with  $M \geq 5.5$  in the form of ruptures that can be graphically demonstrated in 2D or 3D as a projection of the source on the surface. Depending on the type of data justifying the individual seismogenic sources, they are divided into geologic-geophysical and macroseismic ones. The present systematization is a theoretical basis and conception of relational database that is being developed by the authors as an information system to create seismotectonic projects within GIS-technologies required for a following seismic hazard analysis and estimation of probabilities of occurrence of macroseismic earthquake effects in a given place.

**Key words:** active faults, seismogenerating structures, zone of earthquake source origination, seismogenic sources, relational database.