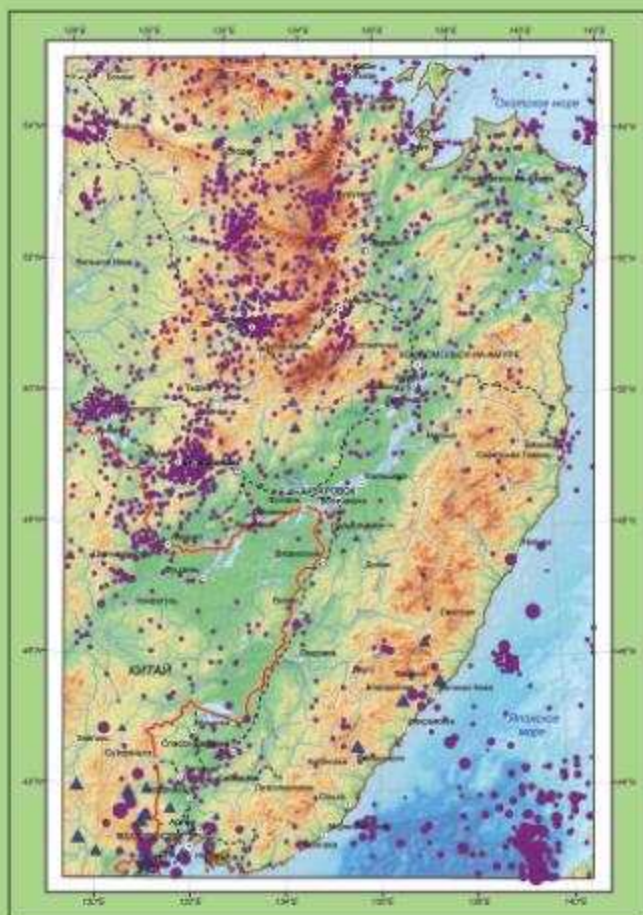




ИНСТИТУТ
ТЕКТОНИКИ И ГЕОФИЗИКИ
ИМ. Ю.А. КОСЫГИНА ДВО РАН

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТЕРРИТОРИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ



ХАБАРОВСК
2018

**Российская академия наук
Дальневосточное отделение
Федеральное государственное учреждение науки
Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина**



Российский научный фонд



**Russian Academy of Sciences
Far Eastern Branch
Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics**

Russian Science Foundation

*Dedicated to the memory
Sergey V. Trofimenko*

*ALEXEI N. DIDENKO, SERGEY V. TROFIMENKO†, VICTOR G. BYKOV,
TAT'YANA V. MERKULOVA, GUL'SHAT Z. GIL'MANOVA*

**SEISMIC RISK EVALUATION
CONTINENTAL PART OF THE SOUTHERN FAR EAST
OF RUSSIA TERRITORY**

**Edited by
Alexei N. Didenko**

**Khabarovsk
ITiG FEB RAS– 2018**

*Посвящается памяти
Сергея Владимировича Трофименко*

*А.Н. ДИДЕНКО, С.В. ТРОФИМЕНКО†, В.Г. БЫКОВ, Т.В. МЕРКУЛОВА,
Г.З. ГИЛЬМАНОВА*

**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА
ТЕРРИТОРИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ
ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ**

Под редакцией А.Н. Диденко

**Хабаровск
ИТиГ ДВО РАН - 2018**

УДК 550.34+551.2

А.Н. Диденко, С.В. Трофименко†, В.Г. Быков, Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова. Оценка сейсмического риска территории континентальной части юга Дальнего Востока России.

Хабаровск: 2018. 82 с.+1 цв. вкл.

ISBN

Научно-популярное издание ИТИГ ДВО РАН посвящено одному из стихийных природных явлений - сейсмичности, которому в разной степени подвержен сам Сихотэ-Алиньский ороген и обрамляющая его территория. Рассмотрены базовые понятия сейсмической опасности и сейсмического риска, вопросы предотвращения катастрофических последствий и неоправданных жертв во время землетрясения.

Издание рассчитано на широкий круг читателей: преподавателей и студентов, учителей и учеников, рабочих и служащих – на всех, кого интересуют вопросы, связанные с причинами землетрясений, развитием взглядов на природу данного явления и возможностей его предсказания, а также проблемами личной и коллективной безопасности при стихийных бедствиях, вызванных землетрясениями.

Ответственный редактор:

д-р геол.-мин. наук, член-корр. РАН А.Н. Диденко

Рецензенты:

д-р геол.-мин. наук, академик АН Республики Саха (Якутия), профессор В.С. Имаев,
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;

д-р геол.-мин. наук В.Ю. Забродин,
Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

Executive editor:

A.N. Didenko, Dr. of Science (Geol. & Miner.), Corresponding Member
of the Russian Academy of Sciences

Reviewers:

B.S. Imaev, Dr. of Science (Geol. & Miner.), Professor, full member of the Academy of
Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Institute of the Earth, s Crust, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, Irkutsk;

V.Yu. Zabrodin, Dr. of Science (Geol. & Miner.), Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics,
Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk

ISBN

© А.Н. Диденко, С.В. Трофименко†, В.Г. Быков, Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова., 2018 г.
© ИТИГ ДВО РАН, 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	5
Предисловие	7
Глава 1. Научно-популярное методическое руководство	11
1.1. Знакомство с землетрясениями	11
1.2. Как измеряются землетрясения и его проявления	12
1.3. Сравнение магнитудной шкалы Ч. Рихтера, шкалы энергетических классов и баллов шкалы MSK-64	13
1.4. Причины землетрясений	13
1.5. Сейсмичность Приморья и Приамурья	15
1.6. Палеосейсмичность	20
1.7. Прогноз землетрясений	22
1.8. Сейсмическая опасность	24
1.9. Как готовиться к землетрясению	26
1.10. Поведение при землетрясении	27
Заключение	29
Глава 2. Геодинамика и сейсмичность Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий	30
Введение	30
2.1. Анализ коровой сейсмичности Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий	32
2.1.1. Пространственная структура эпицентрального поля землетрясений	32
2.1.2. Временная структура землетрясений	35
2.1.3. Расчет выделившейся энергии при землетрясениях и их связь с тектоническими структурами	38
2.1.4. Основные выводы	40
2.2. Структуры и периодичность геодинамической активизации Нижнего Приамурья.....	40
2.2.1. Структуры геодинамической активизации Нижнего Приамурья	40
2.2.2. Сейсмическая активность, цикличность и миграция землетрясений на территории Нижнего Приамурья	43
2.2.3. Основные выводы	46
2.3. Пространственно-временная модель миграции слабых землетрясений вдоль северной границы Амурской плиты.....	46
2.3.1. Методика анализа и расчет параметров статистической модели.....	46
2.3.2. Основные выводы о миграции сейсмических кластеров вдоль границы Амурской плиты	48
2.4. Пространственно-временные распределения землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения модуля скорости вращения земли	50
2.4.1. Пространственное моделирование сейсмического процесса в различных интервалах магнитуд	51
2.4.2. Основные выводы о пространственно-временных характеристиках сейсмического процесса в пределах северо-восточного сегмента Амурской плиты	52
2.5. Актуализация данных о сейсмотектонике и сейсмической опасности Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий	54

2.5.1. Основные позднекайнозойские тектонические структуры и некоторые результаты палеосейсмологических исследований в зонах активных разломов Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий	55
2.5.2. Структура и динамика современной и исторической сейсмичности Приамурья	57
2.5.3. Оценка влияния периодических возмущений на сейсмичность Приамурья	59
2.5.4. Основные выводы о потенциале сейсмогенерирующих структур Сихотэ-Алиньского орогенного пояса	59
2.6. Тепловая структура Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий, связь с сейсмичностью	61
2.6.1. Методика и данные расчета глубины подошвы магнитоактивного слоя Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий	62
2.6.2. Расчетный глубинный тепловой поток Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий	64
Заключение	68
Список опубликованных работ за время выполнения и по теме проекта РНФ № 16-17-00015	70
Статьи	70
Объекты интеллектуальной собственности	70
Тезисы и материалы докладов	71
Список литературы	72
Приложение	77

ПРЕДИСЛОВИЕ

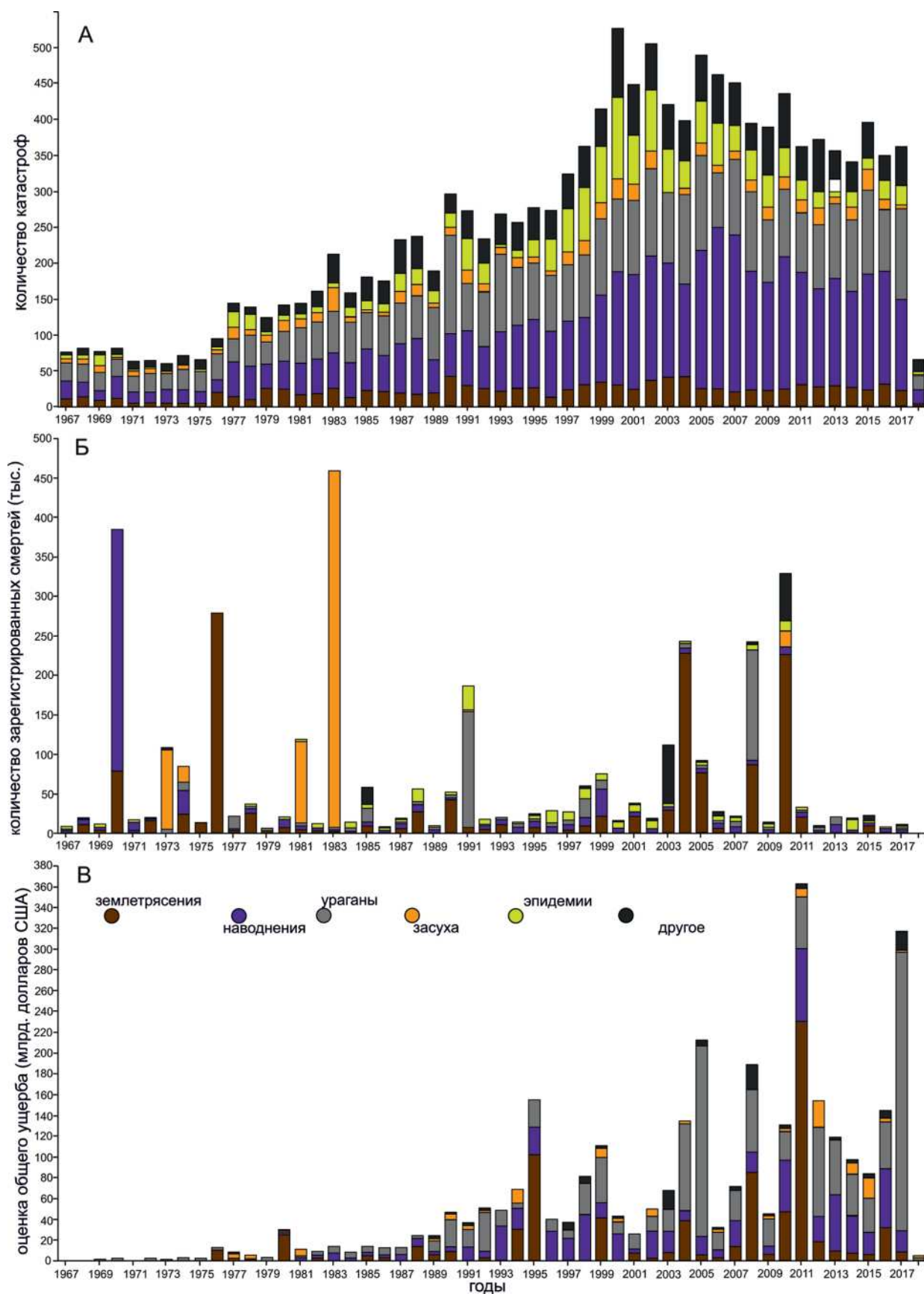
На протяжении всех веков своего существования человечество сталкивалось с проблемами, как природного характера, так и порожденными самим человеком. Не исключением в этом отношении является и современный период развития цивилизации на Земле, когда во весь рост встают три глобальные проблемы [Осипов, 2017]: 1) демографическая – быстрый и неконтролируемый рост человеческой популяции, что приводит к дефициту природных ресурсов, источников энергии и продуктов питания; 2) техногенная – загрязнение окружающей среды, в том числе и Мирового океана, уничтожение многих видов флоры и фауны, возникающие противоречия при взаимодействии человека с природой; 3) глобальное изменение климата и активизация природных катастрофических явлений.

Количество природных катастроф за последние 50 лет, по данным Международного центра данных по катастрофам [The International Disaster Data (<http://emdat.be/>)], существенно увеличилось к началу 21 века – почти в 7 раз (1967 год – 75, 2000 год – 526 катастроф), затем их количество стало снижаться – 361 природная катастрофа в 2017 году (рис. 1-1А). Количество катастрофических землетрясений за этот период увеличилось не столь значительно, примерно в 2 раза. Во столько же раз увеличилось и число всех землетрясений с магнитудой 8 и более: 6 за период с 1968 по 1977 год, 4 с 1978 по 1987 год, 6 с 1988 по 1997 год, 10 с 1998 по 2007 год, 13 с 2008 по 2017 год.

По-другому выглядит временная зависимость людских потерь, связанных с природными катастрофами за последние 50 лет (рис. 1-1Б). Она имеет дискретный характер с отчетливо выраженными макси-

мумами в 1970, 1976, 1983, 1991, 2004 и 2008 годам (более 200 тыс. смертей), приуроченными к сильнейшим ураганам, засухам и землетрясениям. Три из этих шести максимумов обязаны исключительно катастрофическим землетрясениям. Общее количество официально зарегистрированных человеческих смертей в результате катастрофических землетрясений за эти годы составляет 1334827 или более 36 % от их общего количества [The International Disaster Data (<http://emdat.be/>)], причем на долю 3-х из них приходится 729 тысяч смертей – это землетрясения 2010 года на о. Гаити (226 тыс.) в Карибском море, 2004 года вблизи о. Суматра в Индийском океане (227 тыс., цунами) и 1976 года в городе Таншане китайской провинции Хэбэй (276 тыс. – второе в истории по количеству жертв).

Временная зависимость материального ущерба за последние 50 лет в результате природных катастроф имеет такой же дискретный характер, как и зависимость людских потерь, с ярко выраженным максимумом в 2011 году, 11 марта которого произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой 9.1 в Тихом океане у берегов Японии. Оно, как и другие сильнейшие землетрясения на Земле, повлекшие за собой многочисленные жертвы и разрушения, получило собственное имя – Тахоку-2011. На рис. 1-1В хорошо видно, что и значительное количество остальных относительных максимумов приурочено к землетрясениям, ураганам и наводнениям. Общая сумма материального ущерба от катастрофических землетрясений за эти годы составляет более 803 млрд. долларов США или более 26% от общего ущерба [The International Disaster Data (<http://emdat.be/>)]. Наибольший мате-



риальный ущерб связан с землетрясениями 1995 года в Японии (г. Кобе), 2008 года в Китае (провинция Сычуань) и землетрясением Тахоку-2011 в Японии. Ущерб от воздействия последнего по разным оценкам составил от 210 до 230 миллиардов долларов США. При землетрясении 17 января 1995 года в г. Кобе были разрушены 200000 зданий, практически все причалы в порту, а общий материальный ущерб составил более 100 миллиардов долларов США (цены 1995 г.).

Как видно из вышеизложенного, сильные землетрясения являются одним из самых потенциально опасных природных катастрофических явлений на Земле. И общая оценка сейсмического риска, состоящая из процедур определения вероятности (частоты) возникновения землетрясения с превышением пороговой магнитуды и оценки индивидуального и социального рисков возникновения чрезвычайной ситуации в районе конкретного населенного пункта или крупного инженерно-технического сооружения, является задачей крайне важной как в научном, так и социально-экономическом аспектах.

Земля непрерывно испытывает деформации вследствие развития внутренних напряжений. В литосфере возникают как упругие и пластические деформации, так и разрывы. При разрывах напряжения резко изменяются и в результате возникают распространяющиеся в теле Земли упругие волны. Такое возмущение в целом является землетрясением. Землетрясение – одно из самых опасных и разрушительных бедствий, которое может произойти на нашей планете. От последствий сейсмической активности (пожаров, разрушения строений, цунами и паники) погибает самое большое количество людей. Ежегодно происходят сотни тысяч землетрясений, т.е. в среднем 1-2 в минуту. Сила их различна: большее количество улавливается только высокочувствительными приборами – сейсмографами, некоторые ощущаются человеком. Но

не следует бояться каждого землетрясения. Большинство землетрясений не причиняют существенного вреда. Только сильные землетрясения в земной коре способны вызвать обширные разрушения.

Исследования природы землетрясений и закономерностей сейсмического процесса инициируются, прежде всего, проблемой прогноза сильных землетрясений, представляющих серьезную опасность для цивилизации. Проблема прогноза до сих пор не решена. В последние годы было показано, что землетрясения вызываются крупномасштабным разрывом – трещиной в недрах Земли, а не гипотетическим взрывом. Образование крупномасштабного разрыва происходит при накоплении упругой энергии до критических значений за счет действия тектонических сил. Изучена повторяемость крупномасштабных разрывов в одних и тех же местах. То есть, если сильное землетрясение было в данном месте, то оно с большой вероятностью произойдет здесь в будущем. Этот факт вызывает необходимость изучения следов древних землетрясений (палеоземлетрясений) и оценки их энергии.

На территории Сихотэ-Алиня и Приамурья по историческим данным и изученным палеосейсмодислокациям, сильные землетрясения происходили неоднократно. Но из-за малонаселенности региона в прошлые времена эти землетрясения не приводили к значительным катастрофическим последствиям, таким как Великое китайское землетрясение 1556 года в китайской провинции Шэньси, унесшее жизни более 800 тысяч человек. За прошедшее время регион превратился в мощный индустриальный центр со сложной инфраструктурой. В связи с этим, многократно возросли риски, связанные с возможным сильным землетрясением. Уменьшить потери от землетрясений возможно, если знать, что это такое, где они происходят и как к ним готовиться.

Авторы настоящего научно-популярного издания преследуют две цели. Первая – познакомить широкий круг читателей –

Рис. 1-1. Количество и типы природных катастроф за последние 50 лет (А), людской (Б) и материальный ущерб (В) по данным [The International Disaster Data (<http://emdat.be/>)]

жителей Дальневосточного федерального округа с таким грозным природным явлением как землетрясения, дать возможность правильно оценивать многочисленные сообщения о них и общей сейсмичности региона в средствах массовой информации, правильно оценивать возможные риски и предпринимать необходимые действия. Вторая – дать информацию о проведенных научных исследованиях сотрудниками Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт тектоники и геофизики имени Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Хабаровск) по проекту Российского научного фонда в 2016-2018 гг. «Геодинамическая модель Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий как основа

изучения, мониторинга и прогноза катастрофических природных процессов на юге Дальнего Востока России» № 16-17-00015.

Авторы выражают признательность и благодарность В.Ю. Забродину и В.С. Имаеву, взявшим на себя нелегкий труд научного рецензирования настоящей работы, в результате чего ряд мыслей, высказанных нами, получили более четкую и ясную интерпретацию. Авторы благодарят сотрудников ИТиГ ДВО РАН Е.Ю. Диденко, Н.В. Каретникову, О.А.Колягину, Е.С. Ступакову, С.А. Тусикову, А.С. Тютюник, оказавших помощь в технической и редакционной подготовке настоящей работы.

Настоящее издание осуществлено за счет средств Российского научного фонда (проект № 16-17-00015).

1.1. ЗНАКОМСТВО С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие вследствие смещений и разрывов в земной коре при внезапной разрядке накопившихся напряжений, которые обусловлены постоянно идущими в земных недрах процессами дифференциации земного вещества, конвективными течениями горных масс и другими процессами. В течение секунд высвобождается громадная энергия земных недр, небольшая часть которой (1–5 %) расходуется на сейсмические волны, которые регистрируются приборами. Сейсмические волны проявляются при землетрясениях в виде колебаний земной поверхности и представляют наибольшую опасность [Эйби, 1982]. Сильные и катастрофические землетрясения часто вызывают сопутствующие опасные явления – крупные трещины на земной поверхности, просадки, камнепады, снежные лавины, сели, цунами (при подводном очаге), обвалы, оползни. Такие опасные процессы могут приводить к разрушению зданий, пожарам и даже к экологическим катастрофам и вследствие чего вызывать массовую гибель людей и животных.

Гипоцентром (очагом) землетрясения называют точку в глубине Земли, где внезапно начинается разрыв, являющийся источником сейсмических колебаний. Сейсмическая волна подобно волнам на воде переносит энергию от гипоцентра к точкам земной поверхности, затухая с расстоянием. При землетрясениях средней силы, когда возникают в зданиях трещины, размеры очага достигают уже километров. Очаги же при самых сильных, катастрофи-

ческих землетрясениях имеют протяженность 500-1000 км и даже более.

Эпицентр землетрясения – это проекция гипоцентра на поверхность Земли. Область на поверхности Земли над очагом землетрясения, где наблюдаются непосредственные деформации рельефа или ощущаются сильные колебания, называется **эпицентральной**.

Глубина очага – расстояние между гипоцентром и эпицентром. По глубине очага землетрясения делятся на мелкофокусные (0–70 км), промежуточные (70–300 км) и глубокофокусные (300–700 км).

Как правило, сильные землетрясения сопровождаются серией более слабых толчков, которые включают форшоки – перед главным землетрясением и афтершоки – землетрясения после главного толчка. Эмпирическое описание степенного характера спада афтершоковой активности после сильных землетрясений носит название закона Омори. Число землетрясений в форшоках и афтершоках и промежутки времени между ними могут быть различными. Число афтершоков при действительно крупном землетрясении бывает иногда чрезвычайно большим.

Относительно слабые землетрясения могут образовывать рои. Под этим термином понимают «высыпание» большого количества землетрясений за короткий промежуток времени – подобно рою пчел.

Землетрясения происходят не только на суше, но и в морях, и океанах. В пределах океанского дна над очагом могут возникать поднятия или впадины, что сразу же изменяет объем воды и над плейстосейстовой областью (территория, где землетрясение проявилось с максимальной силой) образуется волна, которая в открытом океане пра-

тически незаметна из-за своей очень большой длины в первые сотни километров. Распространяясь со скоростью до 800 км/ч, при подходе к побережью на мелководье волна становится круче, достигая 15–20 м, и, обрушиваясь на берег, уничтожает все на своем пути. Такие волны, вызванные землетрясениями, называются цунами. Сильнейшие цунами причиняют неисчислимы бедствия. В нашей стране цунами неоднократно отмечались на Дальневосточном побережье в связи с тем, что эпицентры землетрясений приходятся на Курило-Камчатский глубоководный желоб. Последнее крупное цунами произошло 5 ноября 1952 года и причинило большие разрушения на Курильских островах. Цунами обрушивается на побережье не сразу после землетрясения, а через некоторое время, что позволяет оповестить население угрожаемых районов, расположенных в прибрежных низменностях.

1.2. КАК ИЗМЕРЯЮТСЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЯ

Для характеристики силы землетрясений используются такие понятия, как магнитуда, энергетический класс и интенсивность.

Понятие магнитуды ввел в 1935 году американский сейсмолог Чарльз Рихтер, профессор Калифорнийского технологического института в Пасадене.

Магнитуда – величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Определим магнитуду Рихтера его собственными словами: «Магнитуда любого толчка определяется как логарифм выраженной в микронах максимальной амплитуды записи этого толчка, сделанной стандартным короткопериодным крутильным сейсмометром на расстоянии 100 км от эпицентра». На практике измерения производятся на различных расстояниях от эпицентра различными приборами. Поэтому для приведения к необходимым условиям используются поправки.

Магнитуда – безразмерная характеристика, позволяющая сравнивать источ-

ники (очаги) землетрясений по их энергии. В мире существуют различные шкалы магнитуд, отличающиеся способом их определения. Часто используются локальная магнитуда (ML), магнитуда по поверхностным волнам (MS), по объемным волнам (mb), по сейсмическому моменту (MW).

Минимальные землетрясения, ощутимые без приборов в благоприятных условиях, характеризуются магнитудой в пределах 2-3. Землетрясения меньших магнитуд регистрируются только чувствительными сейсмическими приборами.

Распределение количества землетрясений по магнитудам носит название закона Гутенберга-Рихтера:

$$I g N = -B \times I g M + C,$$

где **N** – число событий за определенный промежуток времени, **B** и **C** – константы. Данная зависимость является устойчивой для отдельных районов.

В России часто используется другая характеристика величины землетрясения, эквивалентная магнитуде и называемая **энергетическим классом (K)**. Энергетические классы землетрясений варьируются в диапазоне значений от **0** до **20**. Энергетический класс очень удобен при оценке слабых и средней силы землетрясений. В Приморье и Приамурье для пересчета энергетических классов в магнитуду принята формула:

$$M = (Kp - 4) / 1.8,$$

где **Kp** – энергетический класс по Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1960].

Энергия (E) землетрясений – это та величина накопленной энергии, которая освобождается в виде кинетической после разрядки напряжения в очаге и, достигая поверхности Земли, вызывает ее колебания. Распространяется энергия в виде упругих сейсмических волн. Энергия землетрясения вычисляется в джоулях. Формула Б.Б. Голицына, известного русского сейсмолога, для вычисления энергии землетрясений выглядит следующим образом:

$$E = \pi^2 p V (a/T)^2,$$

где **p** – плотность пород, **V** – скорость распространения сейсмических волн, **a** – амплитуда смещения, **T** – период колебаний.

Существует определенная зависимость между энергией и магнитудой:

$$\lg E = A + BM,$$

где **A** и **B** - коэффициенты; **M** - магнитуда.

По Гутенбергу и Рихтеру эта формула записывается **$\lg E = 11.8 + 1.5 M$**

Энергия одного землетрясения варьируется от 10^{10} до 10^{25} эрг (E). 1 Дж = 10^7 эрг. Так, для Аляскинского землетрясения 1964 г. с магнитудой 8.5 энергия равнялась 10^{18} Дж и была эквивалентна силе взрыва 100 ядерных бомб.

Интенсивность землетрясений (балльность) характеризует степень последствий землетрясения на поверхности Земли на определенном расстоянии от эпицентра, основанную на реакции людей, поведении зданий и сооружений, на изменениях ландшафта, грунтов и т.д. Подчеркнем, что интенсивность при одном и том же землетрясении будет различной в разных пунктах на поверхности Земли. Сейсмический эффект, наблюдаемый в том или ином пункте, зависит как от величины (магнитуды) землетрясения, так и от удаленности этого пункта от эпицентра землетрясения, от глубины сейсмического очага, а также от условий в данном месте – качества грунтов и уровня грунтовых вод.

Для оценки последствий землетрясений в России была разработана шкала сейсмической интенсивности **MSK-64** (Медведева-Шпонхойера-Карника). Эта 12-балльная шкала позволяет оценить интенсивность землетрясений в баллах с учетом деформаций на поверхности в эпицентральной области, повреждений в зданиях и реакции людей и животных. Интенсивность землетрясения зависит от его энергии, глубины залегания очага, расстояния до эпицентра, грунтовых условий в пункте наблюдений и типа строений.

Вблизи эпицентра колебания земной поверхности и связанные с ними разрушения проявляются с наибольшей силой. Территория, где землетрясение проявилось с максимальной силой, называется плейстосейстовой областью. По мере удаления от эпицентра интенсивность землетрясения и степень связанных с ним разрушений уменьшается. Условные линии, соединяющие территории с одинаковой интенсивностью землетрясения называются изосей-

стами. От очага землетрясения изосейсты вследствие разной плотности и типа грунтов расходятся в виде эллипсов или изогнутых линий.

1.3. СРАВНЕНИЕ МАГНИТУДНОЙ ШКАЛЫ Ч. РИХТЕРА, ШКАЛЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КЛАССОВ И БАЛЛОВ ШКАЛЫ MSK-64

Журналисты, пытаясь дать информацию о силе землетрясения, часто смешивают два совершенно разных понятия: магнитуда и интенсивность. Вы слышите в сводках о баллах по шкале Рихтера, в то время как магнитуда величина безразмерная, а баллами измеряется сейсмическая интенсивность в данном пункте на поверхности Земли.

1.4. ПРИЧИНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Причины землетрясений станут понятны, если мы представим себе, что земная кора расчленена на множество отдельных плит, которые движутся друг относительно друга. На Вкладке (иллюстрация 5) представлена схема современной геодинамики региона и сопредельных территорий, на которой выделены плиты. Плиты могут раздвигаться, проскальзывать краями одна вдоль другой, погружаться одна под другую. Современная скорость движения плит составляет от одного до пятнадцати сантиметров в год.

Разнонаправленность движения тектонических плит (Вкладка, иллюстрация 5) заставляет земную кору по краям плит растрескиваться, создавая сейсмические волны. Подтверждением этому является тот факт, что большинство землетрясений происходит по краям плит. Это землетрясения тектонического происхождения. Внутри плит также происходят сильные тектонические землетрясения в зонах разломов, ограничивающие крупные блоки. Такие землетрясения связывают с процессами на границах плит, которые создают условия для распространения напряжений во внутриплитные области.

Другой причиной возникновения землетрясений является вулканическая деятель-

Краткая характеристика последствий землетрясений	Магнитуда по Ч. Рихтеру (M_L)	Энергетический класс (K)	Баллы MSK-64 (I_0)
Землетрясение людьми не ощущается. Вибрацию регистрируют только приборы	0–4.3	0–11.5	1
Землетрясение ощущается некоторыми людьми, особенно на верхних этажах зданий			2
Землетрясение ощущается на всех этажах. Легкие колебания предметов, дребезжание посуды, слабое раскачивание висячих предметов			3
Землетрясение уверенно ощущается в зданиях. Заметные сотрясения, дребезжание окон, посуды, дверей	4.3–4.8	11.5–12.5	4
Землетрясение ощущается всеми людьми и под открытым небом. Многие спящие просыпаются, неустойчивые предметы сдвигаются или падают, расплескивается жидкость			5
Испуг. Землетрясение уверенно ощущается всеми. Многие люди выбегают из помещений, теряют равновесие. Падение предметов, сдвигание и опрокидывание мебели. Легкие повреждения зданий, коммуникаций, повреждение дымовых труб, кирпичных печей	4.8–6.2	12.5–15.3	6
Трудно удержаться на ногах. Ломается мебель. Кирпичные дымовые трубы разрушаются, сильно повреждаются печи. Звонят колокола в церквях, лопаются оконные стекла, шифер на крышах, умеренные повреждения зданий			7
Многие здания получают значительные повреждения. Стеновые панели могут отрываться от каркасов. Появляются трещины в грунтах и на дорожном покрытии. Заметные изменения режима грунтовых вод, оползни, обвалы в горной местности	6.2–7.3	15.3–16.6	8
Всеобщие повреждения зданий, не имеющих антисейсмического усиления. Ослабленные и аварийные дома могут разрушаться. Рвутся подземные коммуникации. Могут появляться крупные зоны трещин на земной поверхности. Всеобщая паника.			9
Всеобщее разрушение или сильные повреждения зданий. Появляются протяженные зоны сейсмодислокаций со смещениями до 2–4 м. Ломаются стволы деревьев, могут возникнуть крупные поднятия и опускания земной поверхности на значительных площадях, возникают и исчезают водоемы	6.2–7.3	15.3–16.6	10
Только очень немногие железобетонные конструкции сохраняют устойчивость. Разрушаются все мосты. Множество протяженных сейсмодислокаций, массовая гибель животных и людей	7.3–8.9	>> 16.6	11
Катастрофа. Полное разрушение зданий и сооружений. Радикальные изменения в рельефе, массовые горные обвалы, оползни, многочисленные жертвы			12

ность, при которой в недрах вулкана нарастает напряжение, образуемое лавой и вулканическими газами. Как правило, землетрясения, сопровождающие вулканические извержения продолжаются недели и даже месяцы. Землетрясения, вызванные гигантскими оползнями, называют обвальными. Эти землетрясения крайне редки, имеют локальный характер и сила их, как правило, не велика. Землетрясения, обусловленные падением крупных метеоритов, также крайне редки и характеризуются небольшой магнитудой.

Землетрясения до 4 баллов могут быть вызваны деятельностью человека (техногенные землетрясения): заполнением водохранилищ, закачкой воды в скважины и газовые пустоты, горными работами, большими взрывами. Например, большое количество слабых толчков стали фиксировать в некоторых штатах Америки после начала добычи сланцевого газа и тяжелой нефти. В обоих случаях применяется технология гидроудара¹. Техногенные землетрясения происходят тогда, когда человек взял что-то у природы из одного места, и переложил в другое.

1.5. СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИМОРЬЯ И ПРИАМУРЬЯ

Регион Приморья и Приамурья относится к числу немногих сейсмоактивных областей России, сейсмичность которых изучена недостаточно. Первое землетрясение, зафиксированное в летописях для исследуемой территории, относится к 1500 г., второе – к 27 июня 1865 г. Как видно на рис. 1-2А, зафиксированные в регионе землетрясения крайне неравномерно распределены по времени. До 1960 г. каталог содержит отдельные редкие сейсмические собы-

тия, параметры которых определены по макросейсмическим данным, после 1960 года количество регистрируемых событий возросло на порядок и более (Вкладка, иллюстрация 1), что связано с развитием сейсмической сети в регионе. В настоящее время на территории региона работают 10 сейсмических станций. Следует отметить резкое уменьшение количества регистрируемых землетрясений с магнитудой менее 2.4 с начала двухтысячных годов (рис. 1-2А).

На юге континентальной части Дальнего Востока России отмечается сейсмическая активность двух типов (рис. 1-2Б): 1) в виде глубокофокусных землетрясений (с глубиной очага от 100 до 600 км); 2) в виде мелкофокусных землетрясений с очагами в земной коре.

Глубокофокусные землетрясения в нашем регионе образуют две области, в пределах которых фиксируются землетрясения с глубинами гипоцентров свыше 300 км: одна из них находится вблизи города Владивосток, где глубокофокусные землетрясения генерируются как на континенте, так и в акватории Японского моря (Вкладка, иллюстрация 2, профиль 1); вторая область узкой полосой СВ-ЮЗ простирается от западного побережья Камчатки в Охотском море через остров Сахалин и Татарский пролив до побережья континентальной Евразии (Вкладка, иллюстрация 2, профили 2 и 3). Глубокофокусные землетрясения в регионе связаны с субдукцией Тихоокеанской плиты под Евразийский континент (Вкладка, иллюстрация 5). Природа глубокофокусных землетрясений, подавляющее большинство которых приурочено к зонам современной субдукции (поддвига) литосферных плит (Вкладка, иллюстрации 2, 5), до сих пор остается загадкой. В настоящее время используются три основные модели физико-химических процессов в нижней мантии для объяснения глубокофокусных землетрясений (подробнее смотри [Лыскова, 2014; Frohlich, 2006]):

1) дегидратация водосодержащих минералов, образовавшихся при серпентинизации ультрабазитов слоя 4 океанической литосферы у поверхности дна океанов, при

¹Включает в себя сооружение буровой установки, в составе которой одна вертикальная скважина и несколько горизонтальных, длина которых может достигать первые километры. Последние заполняются смесью воды, песка и химреактивов, в результате «взрывной» реакции создаётся гидроудар и повреждаются целостность коллекторов. Высвобожденные при этом газ или нефть откачиваются.

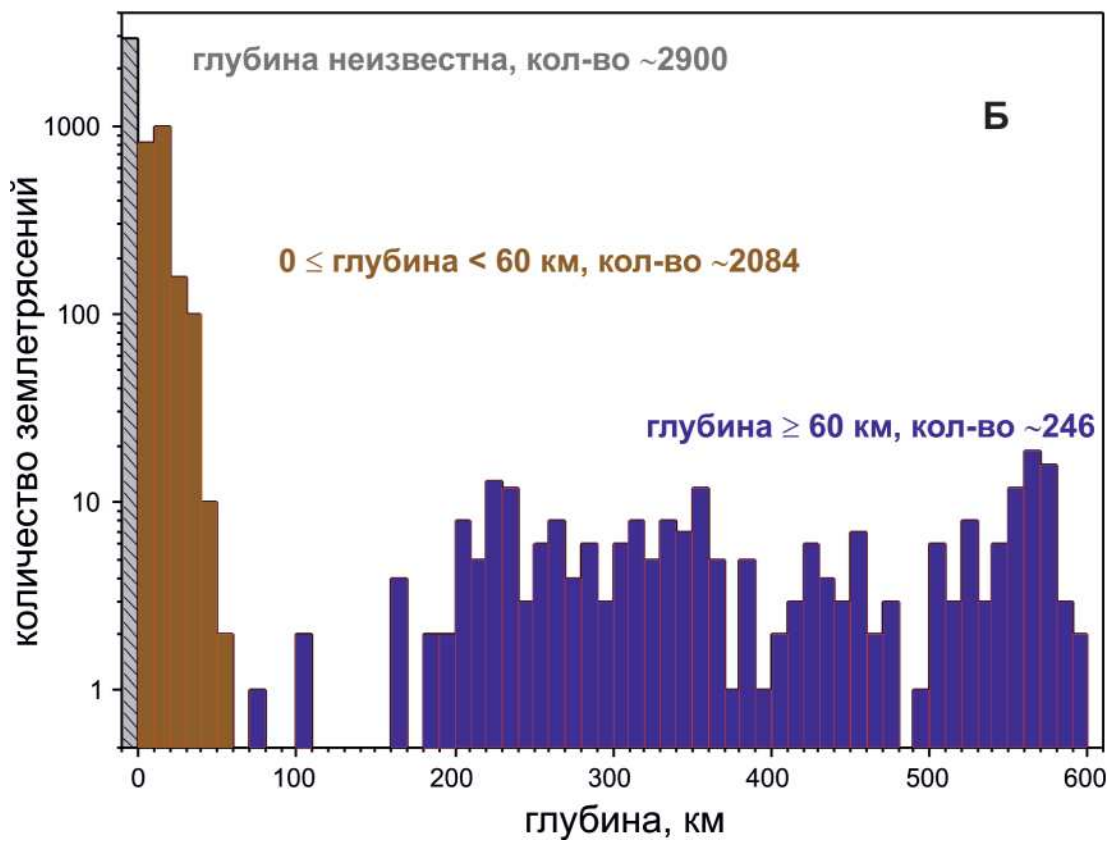
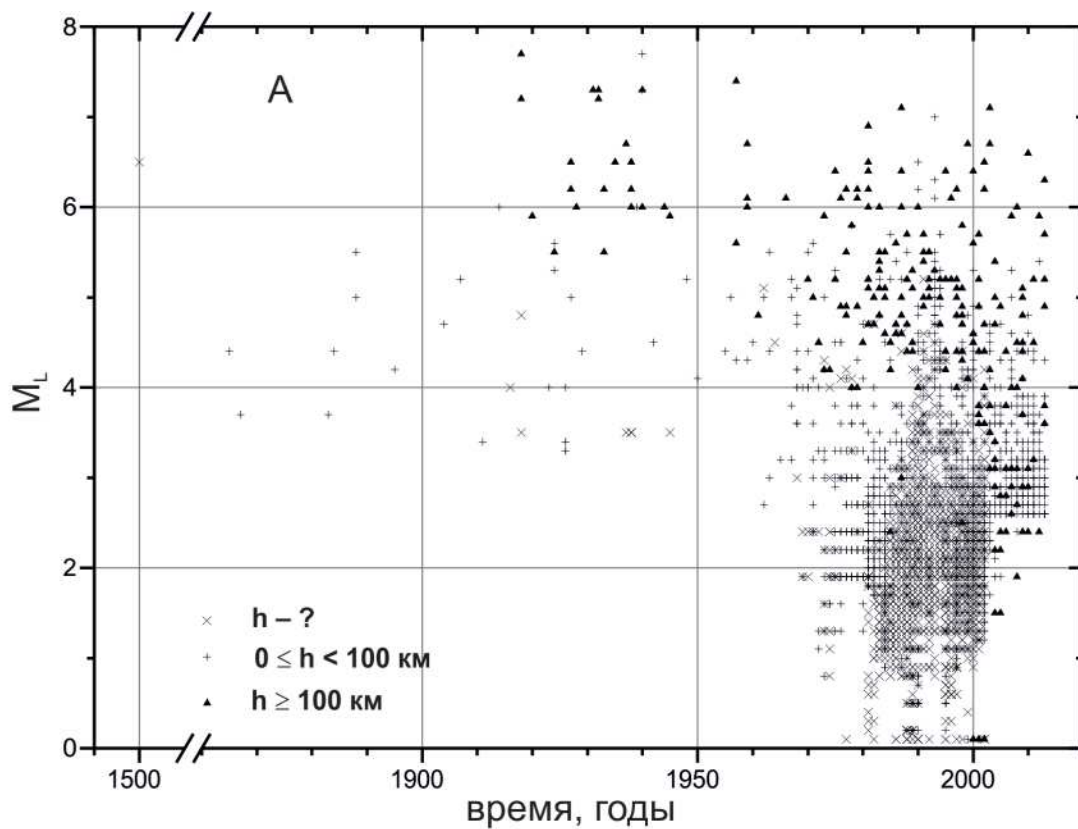


Рис. 1-2. Распределения землетрясений Приморья и Приамурья во времени (А) и по глубине (Б)

их погружении в составе пород нисходящего слэба;

2) присдвиговое плавление пород за счет накопления тепла в зоне сколовых напряжений, вызывающее при переходе через критическую точку лавинообразное увеличение температуры и скорости сдвига («shear instability» по [Ogawa, 1987]), а в конечном итоге и глубокофокусное землетрясение;

3) полиморфный фазовый переход метастабильного оливина в шпинель вблизи поверхности скалывания в субдукционном клине, при котором из-за резкого изменения кристаллической структуры прочность породы уменьшается и происходит глубокофокусное землетрясение. Таким механизмом, по мнению автора гипотезы [Kirby, 1987; Kirby et al., 1996], можно объяснить землетрясения в транзитной зоне верхняя-нижняя мантия.

Каждый из этих трех модельных механизмов не лишен недостатков: 1) дегидрационным механизмом вряд ли можно объяснить землетрясения с глубиной гипоцентров более 300 км; 2) механизм термической сдвиговой неустойчивости – это математическая модель, экспериментальных (лабораторных) доказательств разрушения в мантии сдвиговым плавлением нет; 3) для осуществления фазового перехода оливин-шпинель на глубинах 600–700 км в теле слэба необходимо уменьшение температуры в нем не менее чем на 250–300° по сравнению с окружающей «нормальной» мантией.

Наиболее сильные глубокофокусные землетрясения вблизи г. Владивосток: 1905 г. ($M = 7.1$); 1946 г. ($M = 7.7$); 1999 г. ($M = 7.1$); 2002 г. ($M = 7.4$), вызвали сотрясения на поверхности Земли силой до 4 баллов, которые ощущались на большой территории от Владивостока до Николаевска-на-Амуре (до 2 баллов).

Глубокофокусные и мелкофокусные землетрясения отличаются друг от друга не только природой породивших их тектонических сил, но и, что особенно важно, различным проявлением на земной поверхности. Глубокофокусные землетрясения происходят относительно часто, однако, на земной поверхности они, в силу своей большой глу-

бины, проявляются слабо. Мелкофокусные землетрясения с глубиной гипоцентров менее 30 км представляют непосредственную сейсмическую опасность.

Пространственная структура эпицентрального поля мелкофокусных (коровых) землетрясений имеет весьма сложный неоднородный вид и характеризуется неравномерным рассеянным расположением очагов землетрясений (Вкладка, иллюстрация 1). В некоторых местах наблюдаются сгущения, связанные с зонами концентрации землетрясений и проявлением роевых последовательностей. Наиболее сильные мелкофокусные землетрясения в регионе: 1) 03.07.1902 г. ($M = 6.6$, $h = 20$ км) с эпицентром на территории Китая с интенсивностью в эпицентре 8 баллов; 2) 23.12.1914 г. ($M = 6.0$, $h = 20$ км) 7 баллов в эпицентре, на расстоянии 50 км в Николаевске-на-Амуре ощущалось с интенсивностью 5 баллов; 3) 13.11.1990 г. ($M = 6.8$, $h = 16$ км), эпицентр которого находился в Японском море вблизи побережья Приморского края, интенсивность в эпицентре составила 8 баллов; 4) Зейские землетрясения с $M = 5.0$ – 5.6 (6 августа 1911 г., 13 июня 1972 г., 2 ноября 1973 г.), ощущавшиеся в районе Зейской пристани интенсивностью 7–8 баллов [Нагорных и др., 2010].

Землетрясения могут группироваться в линейные зоны, согласующиеся с крупными разломами. Современную геодинамику Сихотэ-Алиня в значительной степени определяют системы разломов Центрально-Сихотэ-Алинская северо-северо-восточного простирания на востоке и Харпийско-Курско-Приамурская (северный сегмент системы Тан-Лу) северо-восточного простирания на западе (Вкладка, иллюстрация 3). Значительная часть землетрясений связана с активностью системы разломов Тан-Лу северо-восточного простирания [Логачев и др., 1999; Бормотов, Меркулова, 2012]. Эта система в Приамурье расщепляется на серию разломов, наиболее крупные из которых Харпийский, Курский, Амгунский, Хинганский. Вдоль разломов системы Тан-Лу расположены эпицентры крупнейших землетрясений региона, здесь выявлены следы древних землетрясений (палеосейс-

модислокации). На территории Китая с системой активных разломов Тан-Лу увязываются катастрофические землетрясения, среди которых следует отметить события 25.07.1668 г. ($M = 8.5$), 13.06.1888 г. ($M = 7.5$), 18.07.1969 г. ($M = 7.4$), 4.02.1975 г. ($M = 7.3$). В настоящее время в северной части Китая и в России к разломной системе Тан-Лу приурочены землетрясения с магнитудами $M \geq 5$. Сейсмичность в регионе не всегда коррелирует с региональными разломами, установленными по геологическим данным. Выделяются зоны современной деструкции по упорядоченности землетрясений (сейсмолинеаменты) разных направлений [Шерман и др., 2011; Геодинамика..., 2006].

Для пространственного анализа эпицентрального поля землетрясений и выявления их связи с основными тектоническими структурами региона был проведен расчет выделившейся энергии на единицу площади ($0.5 \times 0.5^\circ$) для событий с магнитудой ≥ 2.4 начиная с 1960 г. Оказалось, что наиболее активные участки земной коры связаны с Харпийско-Курско-Приамурской зоной разломов северо-восточного простирания (Вкладка, иллюстрация 3), являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу. На фоне общего повышенного выделения сейсмической энергии более 1×10^{10} Дж на единицу площади выделяются два обширных участка: 1) изометричной формы между Харпийским и Суньхэ-Бирским разломами на юге; 2) вытянутой формы в меридиональном направлении между Ургальским, Кындалским примерно от г. Чегдомын и Сехтагским разломами с выделившейся энергией на единицу площади более $3-10 \times 10^{11}$ Дж (рис. 1-3).

В отличие от вышеобозначенной зоны, в пределах собственно Сихотэ-Алиньского орогенного пояса активных участков земной коры существенно меньше (рис. 1-3). Два из них лежат на северо-восточном продолжении Харпийско-Курско-Приамурской зоны: 1-й – с выделившейся энергией на единицу площади более 1×10^{12} Дж располагается в низовьях р. Амур у г. Николаевск-на-Амуре; 2-й – между Приамурским (Киселевским) и Дигдиланским разломами. Собственно к

разломным структурам Сихотэ-Алиня можно отнести два небольших участка: 1) в районе Советской Гавани-Ванино с суммарной выделившейся энергией на единицу площади более 1×10^{12} Дж; 2) севернее г. Кавалерово и Дальнегорск с выделившейся энергией на единицу площади более 3.1×10^{10} Дж.

Проведенный анализ показал также, что максимальное значение выделившейся энергии на единицу площади (более 2.8×10^{16} Дж) отмечается для двух участков, располагающихся в акватории Японского моря между континентальной частью Евразии и островом Хоккайдо. Один из них расположен напротив субширотной Бикинской группы разломов.

Расчет временного ряда сейсмических событий Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий с 1960 по 2013 гг. показал, что наиболее ярко проявлена «гармоника» с периодом 10–12.5 лет. Вероятность выделения этого периода составляет 99 %. Интересно, что эта «гармоника» близка одиннадцатилетнему циклу солнечной активности.

Очаги более сильных коровых землетрясений в регионе располагаются на глубинах 15–30 км, в то время как гипоцентры слабых – сосредоточены в верхней коре на глубинах 5–10 км. Миграция сильных землетрясений с $M \geq 5$ наблюдается в направлении с юго-запада на северо-восток [Бормотов, Войтенко, 2008]. Скорость смещения эпицентров землетрясений составляет 30–50 км/год, что примерно соответствует скорости миграции землетрясений с $M \geq 6.5$ вдоль крупных разломов Тихоокеанского кольца 30–80 км/год. Направление миграции эпицентров сильных землетрясений в континентальной части юга Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая с юго-запада на северо-восток является откликом столкновения Индостана с Евразией, которое началось в начале эоцена примерно 55 миллионов лет назад и продолжается по настоящее время. Несомненно, что влияние Тихоокеанской литосферной плиты оказывает большее воздействие на сейсмотектоническую обстановку Тихоокеанской окраины Евразии и определяющее для островных дуг и задуговых морей. В нашем случае это Японская и Курило-Камчатская островные

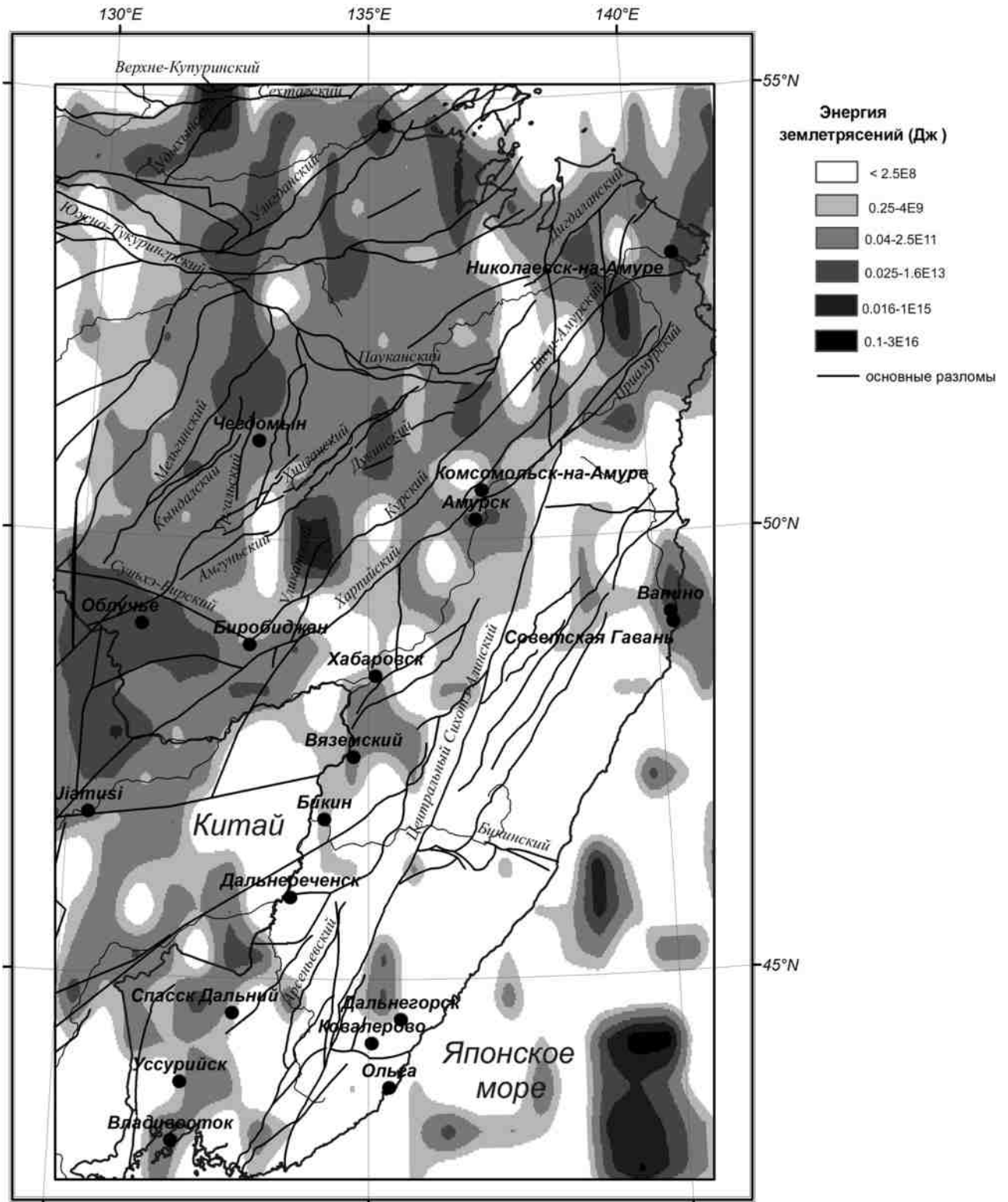


Рис. 1-3. Пространственное распределение выделившейся энергии коровых землетрясений в пределах Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий в период 1886–2013 гг.

дуги и Японское и Охотское моря (Вкладка, иллюстрации 2, 5).

Как следует из палеореконокструкций, активная островодужная геодинамическая обстановка по окраине Тихого палеокеана существовала и 100 миллионов лет назад, где островные дуги уже тогда образовывали так называемое «Тихоокеанское огненное кольцо» (Вкладка, иллюстрация 6). Под восточную окраину Евразии, которую формировали уже тогда собственно Евразийская, Амурская, Северокитайская и Янцзы плиты, погружалась океаническая плита Изанаги. Последняя полностью субдуцировалась (погрузилась) под Евразию в середине позднего мела около 90 миллионов лет назад, и под Евразийский палеоконтинент стала погружаться Тихоокеанская океаническая плита, погружающаяся и ныне (Вкладка, иллюстрация 5).

1.6. ПАЛЕОСЕЙСМИЧНОСТЬ

Признаками древних землетрясений (палеосейсмодислокаций) является наличие палеосейсморазрывов, сейсмогравитационных деформации, оползней, обвалов, каменных лавин, осыпей, селей, трещин, разжижения грунта и др. [Юнга, 1990]. Интенсивность палеоземлетрясения определяется на основании измерения амплитуды одноактных вертикальных и горизонтальных смещений по древним сейсмогенным разрывам, оценки длин этих разрывов и площади ареала вторичных палеосейсмодислокаций. С конца прошлого века для изучения сейсмогенных деформаций стал широко применяться тренчинг – метод изучения сейсмодиформаций в разрезах канав, траншей. Абсолютный возраст палеоземлетрясений оценивается с помощью радиоуглеродного анализа. Применение палеосейсмологических данных дает возможность выявить положение сейсмоопасных зон, определить сейсмический потенциал (максимально возможную магнитуду ожидаемых землетрясений) территорий, малоизученных с сейсмологической точки зрения, оценить частоту повторяемости землетрясений разных магнитуд.

На территории Приамурья изучены четыре крупные палеосейсмодислокации [Сейсмотектоника..., 1989].

Палеосейсмодислокация Омот находится на Баджалском хребте и представлена обновленными разломами длиной около 1 км и грандиозным завалом (свыше 50 млн. м³), перегородившим ручей Омот-Макит. Интенсивность землетрясения, при котором 300–400 лет назад образовалась структура Омот, – 8–9 баллов, магнитуда могла достигать 6.5.

Палеосейсмодислокация Амгунь расположена на северо-западном борту Верхне-Амгунского грабена. Здесь в результате сильного толчка ($M \approx 6.5$) произошло вскрытие разлома на протяжении 2–3 км, а в левом борту р. Амгунь обнаружен обвал скальных пород объемом около 15 млн. м³.

Палеосейсмодислокация Кукан возникла в бассейне левых притоков р. Кукан, где наблюдается сейсмогенное вспарывание разлома на протяжении около 7 км, а на водораздельном склоне образовались сейсмотектонические провалы.

Палеосейсмодислокация Талиджак отмечается на правом борту одноименной реки, в зоне динамического влияния Хинганского глубинного разлома. Палеосейсмодислокация представлена двумя короткими (не более 300 м), но глубокими, до 25 м, рвами, которые пересекают как почвенно-растительный и делювиальный слой, так и коренные породы. Интенсивность землетрясения, которое произошло 300–400 лет назад, могла достигать 8–9 баллов ($M \approx 6.5$).

Недавно изучены следы палеосейсмодислокаций в пределах разломов Нижнего Приамурья.

Центрально-Сихотэ-Алиньский разлом. Палеосейсмологические исследования проводились на самом южном и северном флангах Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома. На южном отрезке (долина р. Киевка) был обнаружен и обследован активизированный в голоцене сегмент протяженностью около 20 км. На севере, в бассейне р. Гур, зона разлома расщепляется, образуя структуру типа «конского хвоста», характерную для замыканий крупных сдвигов. В долине р. Амур разлом сопровождается четким

уступом на поверхности террас, внутреннее строение которого было изучено в долине небольшого правого притока р. Амур. По данным радиоуглеродного датирования пойменных отложений и почвы, подвижка с вертикальной амплитудой 35–40 см, вероятнее всего, произошла примерно 800–900 лет назад. Согласно эмпирическим соотношениям между магнитудой землетрясения и величиной подвижки по разрыву магнитуда землетрясения составила примерно $M_w \sim 6.5$.

Система разломов Тан-Лу расщепляется в пределах рассматриваемого региона на серию субпараллельных разломов (Куканского, Курского, Амгунского, Хинганского), контролирующая местоположение небольших кайнозойских впадин. Разломы образуют две основные системы – Курскую и Хинганско-Амгунскую.

Сутарский сегмент Амгунского разлома. В районе пос. Известковый прослежен ярко выраженный уступ в разнородных и разновозрастных формах рельефа длиной около 12 км. Детальное изучение разреза в канаве, пройденной через уступ, показало, что он образовался в результате взбросовой подвижки амплитудой около 2 м, что примерно соответствует магнитуде землетрясения $M_w \sim 7.0$.

Амурский разлом изучен на протяженном участке в долинах рр. Селихин (Нижняя Ховынь), Понгдан, Мачтовая и Амур. Разлом в рассматриваемом районе представляет собой соскладчатый взброс, с поднятым юго-восточным крылом.

В долине р. Мачтовой, выше устья р. Понгдан, на отдельных участках обоих бортов долины наблюдается хорошо выраженная 1-я надпойменная терраса, на поверхности которой прослеживается приразломный уступ. Уступ имеет извилистые очертания, вдаваясь в долины рек, что может указывать на вбросо-надвиговую кинематику смещений. Детальное изучение разреза в канаве, пройденной через уступ, показало, что уверенно восстанавливаются параметры только последней подвижки. При угле падения разрыва 30–40° она составляет порядка 0.8–1.1 м. Согласно эмпирическим соотношениям магнитуда зем-

летрясения могла составить $M_w \sim 7.0$ –7.3. Возраст события оценить не удалось из-за недостатка органического материала, пригодного для датирования.

Сомонская разломная зона, расположенная в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, сформировалась в палеогене и повторно активизировалась в неоген-четвертичное время, уже после завершения вулканической деятельности. На междуречье рек Пей-Хой и Сомон, северное крыло разлома, сложенное базальтами кизинской свиты, опущено не менее чем на 300–400 м. В районе пос. Де-Кастри в зоне разлома развит молодой Сомонский грабен. Наиболее детально изучен сегмент разлома в долине р. Пей-Хой. В левом борту долины этой реки была выявлена система извилистых уступов. Длина их составляет около 10 км. Такая морфология может указывать на взбросовый тип разлома. Детальное изучение разреза в канаве, пройденной через уступ, показало, что величина двух последних подвижек составляет 40–45 см для верхнего горизонта (№ 5) и 35–40 см – для нижнего (№ 6), что отражает величину вертикальной подвижки. Горизонтальное смещение составляет 30–35 см и 60–65 см, соответственно. Согласно эмпирическим соотношениям между магнитудой землетрясения и величиной подвижки, магнитуда могла составить $M_w \sim 6.3$ –6.6.

Хорский разлом представляет собой западный сегмент крупного Западно-Сихотэ-Алинского разлома. Сегмент ограничивает с юго-востока локальный кайнозойский грабен, в осевой части которого наблюдается максимальное погружение фундамента впадины. Поперечный профиль грабена резко асимметричен. Его юго-восточный, приразломный борт, приуроченный к зоне Хорского разлома, гораздо круче северного. По данным геофизических исследований на юго-восточном крыле грабена развита серия ступенчатых сбросов, а суммарная амплитуда смещения за послеолигоценное время достигает 700–1000 м, при этом один из разрывов выходит в самые молодые слои разреза.

Таким образом, наиболее уверенно следы голоценовых землетрясений устанавли-

ваются для Хинганского, Амурского и Со-моновского разломов с магнитудным потенциалом $M \approx 6.5-7$. Для Амурского разлома определена магнитуда палеоземлетрясения $M \approx 7$. Землетрясение такой магнитуды при глубине очага 15 км вызовет 7-балльные сотрясения, а при уменьшении глубины до 10 км 8-балльные сотрясения.

С меньшей уверенностью следы палеосейсмодислокаций устанавливаются для разломов Уссурийско-Охотской системы впадин и Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома. Это связано с невыразительностью деформаций, что отчасти объясняется глубоким положением очагов землетрясений с магнитудами $M \sim 6.0-6.5$.

На территории Приморья в настоящее время изучены многочисленные сейсмодислокации [Олейников, Олейников, 2001, 2009]. В Сихотэ-Алине наиболее яркие сейсмодислокации развиты на гольцах, где наблюдаются трещины, переходящие на склоны, секущие распадки и гривы. Для всех сейсмоструктур были определены площади развития дислокаций, выбран наиболее протяженный разрыв, определена по параметрам дислокаций и их облику интенсивность палеоземлетрясений и рассчитаны магнитуды. Сейсмодислокации Приморья сгруппированы в три зоны: западную (Ханкайскую), восточную (Береговую), разделенные центральной зоной с редкими 7–8-балльными сейсмодислокациями. В западной зоне развиты преимущественно 7–8-балльные сейсмодислокации и лишь к юго-западу от оз. Ханка отмечены две 9-балльные сейсмоструктуры. В северной части Центральной зоны развиты 7–8-балльные сейсмодислокации, к югу в районе Ливайдийского хр. и г. Партизанска 9–10-балльные. В пределах восточной части сосредоточено основное число 8–9–10-балльных сейсмодислокаций, которые представлены протяженными на десятки и первые сотни километров сейсмогенными разломами, ориентированными в северо-восточном, северо-западном или субширотном направлении. В западной зоне сейсмогенные разломы и связанные с ними сейсмодислокации своими северными окончаниями вытягиваются вдоль Приморского разлома. В восточной зоне сейсмогенные

разломы прямолинейные, северо-восточные (50°) и северо-западные ($305-320^\circ$). Активен субширотный разлом от г. Спасск на Камень-Рыболов – 7–8-балльные сейсмодислокации района р. Комиссаровка. Аналогичные рои дислокаций отмечены в районе Лучегорска, Пожарского. Максимально возможные магнитуды $M = 5.0-5.5$ при глубинах очагах 5–15 км.

Анализ сейсмодислокаций Приамурья и Приморья свидетельствует о том, что сильные землетрясения с магнитудой $M \approx 6.5$ и даже 7 могут проходить в верхнем сейсмоактивном слое земной коры с глубиной очага меньше 10 км.

1.7. ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Прогноз землетрясений, как известно, состоит из предсказания его места, силы и времени возникновения. В настоящее время не существует ни одного надежного метода прогноза землетрясений. Более того, это вообще невозможно сделать, не достигнув ясного понимания физики землетрясения. Эта проблема не нашла своего решения, и до сих пор это остается одной из важнейших задач физики Земли. Мониторинг сейсмоактивных зон показал, что перед сильными землетрясениями наблюдаются аномальные возмущения различных полей. Все аномальные изменения перед землетрясениями называют предвестниками землетрясений [Мониторинг..., 2002].

Гидрогеологические предвестники землетрясения – понижение, а затем резкое повышение уровня грунтовых вод в скважинах и колодцах, изменение температуры воды, повышенное содержание радона, углекислого газа и паров ртути.

Геофизические предвестники: аномалии геомагнитных полей, проводимости среды, возникновение электрических потенциалов, электромагнитной эмиссии, изменение геотермических параметров, изменение приливных деформаций, аномалий наклона и деформаций земной поверхности и др.

В настоящее время известен широкий круг сейсмических предвестников. Наиболее надежным предвестником является от-

ношение скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s). При накоплении напряжений перед землетрясениями в насыщенных водой пористо-трещиноватых породах снижается содержание воды и возникает резкое падение V_p , а V_s при этом меняется незначительно. В результате происходит уменьшение величины V_p/V_s . Перед сильными землетрясениями может изменяться режим слабой сейсмичности – происходит увеличение числа слабых землетрясений – появление роев или форшоков. Могут возникать сейсмические бреши, т.е. места, где в течение длительного времени не было землетрясений максимально возможной для данного региона энергетической мощности. Перед сильными землетрясениями на фоне нарастающей активизации сейсмичности могут отмечаться сейсмические затишья. К предвестникам относят появление кольцевой сейсмичности, представляющей сейсмическую активность по периферии более прочной области пород. Другим предвестником может быть миграция землетрясений вдоль разломов, причиной которой рассматриваются деформационные волны.

Известны примеры аномального поведения животных перед сильными землетрясениями: птицы покидали свои гнезда, змеи и ящерицы выползали из нор даже в зимнюю стужу, насекомые – осы, пчелы – собирались в огромные рои, домашний скот и лошади отказывались идти в свои загоны, кошки выпрыгивали из окон домов. Интересны наблюдения за поведением некоторых видов аквариумных рыб – они начинают метаться с большой скоростью. В Японии неоднократно наблюдали аномальное поведение морских рыб перед землетрясением: некоторые виды рыб появляются в той местности, где они обычно не встречаются, рыбы подходят к берегу и поднимаются к поверхности воды или даже выскакивают из нее, а некоторые виды рыб исчезают. Такое аномальное поведение животных начинается за несколько минут или часов до землетрясения. Его пытаются объяснить тем, что органы чувств животных могут отмечать крайне слабые изменения физических полей – акустического, электромагнитного и соответственно «слышать» растрескивание

горных пород до землетрясения; органы обоняния собак позволяют почувствовать очень малые концентрации газов, выделяющихся из почвы; рыбы крайне чувствительны к вариациям электромагнитного поля.

Ученые пытались предсказывать землетрясения, используя предвестники землетрясений. Однако большинство предсказанных землетрясений так и не произошло. Множество неподтвержденных прогнозов порождали панику среди населения и наносили огромные экономические ущербы. За все время только в Китае была создана армия народных наблюдателей, с помощью которой в 1975 году было предсказано разрушительное землетрясение с $M = 7.3$ в городе Хайченге. К началу февраля внезапно поднялся уровень воды в колодцах, сильно возросло число слабых землетрясений (форшоков). Незадолго до землетрясения стали обнаруживаться аномальные атмосферные явления: повышение температуры воздуха, понижение атмосферного давления, появление густого тумана, свечение неба и т.п. В городе объявили тревогу, большая часть людей была эвакуирована. Сильный сейсмический толчок привел к разрушению 90% всех построек. Но уже в следующем году Таншаньское землетрясение произошло неожиданно. В результате погибли сотни тысяч человек. Сейчас используются самые новейшие научно-технические достижения, ведутся наблюдения Земли со спутников, но точные предсказания так и не появляются. Отсутствие точного прогноза связано с несколькими причинами. Даже в пределах одной сейсмической зоны можно ожидать реализацию различных комбинаций предвестников (в настоящее время насчитывается более 100). Невозможно предугадать какие из предвестников проявятся при данном землетрясении. Аномалии геофизических полей могут быть слабовыраженными или быть вызваны другими причинами, что вызывает «ложные тревоги». Причину неудач прогноза раньше связывали с дефектами наблюдательных систем, их разреженностью. Однако не предсказанные землетрясения в Калифорнии и Японии, территориями с самыми мощными в мире наблюдательными сетями с тысячами датчиков, телеметри-

ей, полной компьютеризацией, происходят и будут происходить.

Причина неудачного прогноза может быть также в недостаточно изученном реальном строении и состоянии сейсмогенного слоя земной коры – его неоднородности, анизотропности, отсутствии сплошности (кустоватость среды), наличии протяженных зон с ослабленными механическими свойствами (разломов), флюидонасыщенности. Есть основание считать, что согласно принципу суперпозиции, аномалии, наблюдаемые в различных геофизических полях, являются суммарной величиной, вклад в которую вносит разный широкий спектр процессов, в первую очередь деформационных. В этот список можно включить, прежде всего, сейсмические процессы – подготовку очага землетрясений, также различные другие локальные, региональные и глобальные процессы. Можно полагать, что среди глобальных процессов можно рассматривать деформационные процессы, порождаемые неравномерным вращением Земли и др. В настоящее время нет исчерпывающей теории физики землетрясения.

Существует и другая точка зрения, высказанная Н.В. Короновским и А.А. Наймарком в статье «Непредсказуемость землетрясений как фундаментальное следствие нелинейности геодинамических систем» и согласно которой научно обоснованный краткосрочный прогноз землетрясений невозможен: «Но успешные прогнозы конкретных событий единичны и неустойчивы из-за чрезвычайной зависимости нелинейных геосистем от изменений начальных условий. Предвестники существуют, но их эффективность непредсказуемо изменчива. Редкие удачи объяснимы заниженными требованиями к прогнозам и их проверке, а также случайными совпадениями с реальностью» [Короновский, Наймарк, 2012].

Пока нет надежного краткосрочного прогноза землетрясений, у человечества есть только один способ обезопасить себя – развивать и совершенствовать сейсмостойкое строительство на территориях, которые подвержены влиянию сильных землетрясений. Ученым геологам и геофизикам такие территории известны, известна и возможная

сила землетрясений на этих территориях [Пояснительная записка..., 2016].

1.8. СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Существует и другой вид прогноза землетрясений: оценка интенсивности сейсмических сотрясений, ожидаемых в каждом отдельном районе. Этот фактор играет главную роль при выборе участков для строительства таких важных сооружений, как плотины, больницы, ядерные реакторы, и, в конечном счете, наиболее важен для уменьшения сейсмической опасности.

Человек научился снижать риск проживания в сейсмоактивных областях, а значит уменьшать потери при землетрясении. Важную роль в этом играет проектирование сейсмостойкого строительства, специальные нормы и правила строительства в сейсмоопасных областях. Землетрясение в Спитаке (Армения), Сахалине и Таншане (Китай) показали, что несоблюдение антисейсмических мероприятий приводит к полному разрушению строений и даже городов с непредвиденными материальными потерями.

Для оценки сейсмической опасности, необходимо ответить на вопрос, какой силы подземные толчки в принципе могут ожидать в данной местности и в соответствии с этим строить здания разной степени сейсмостойкости. Ответ на этот вопрос дают карты Общего Сейсмического Районирования (ОСР) территории России, которые по мере накопления новой информации обновляются, последние из которых – ОСР-97, ОСР-2016.

Для создания карт ОСР используются сведения об активных разломах (Вкладка, иллюстрация 4), гравитационных аномалиях, региональной сейсмичности (Вкладка, иллюстрации 1, 2), современной геодинамики (Вкладка, иллюстрация 5), неотектоники (Вкладка, иллюстрация 4), сильных движениях грунта и другие геолого-геофизические данные. В основу карты положения линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) [Уломов, 1993; 1998]. В этой

модели рассматриваются четыре масштабных уровня источников землетрясений – крупный и генетически единый регион с интегральной характеристикой и три его основных структурных элемента: сейсмолинеаменты – оси трехмерных сейсмоактивных разломных структур, отражающие структурированность сейсмичности и являющиеся основным каркасом модели; сейсмодомены, охватывающие квазиоднородные в геодинамическом отношении объемы геологической среды, характеризующиеся «рассеянной» сейсмичностью, и потенциальные очаги землетрясений различных магнитуд, соответствующие фрагментам сейсмолинеаментов с установленной для них повторяемостью характерных землетрясений.

На карте российской территории Северной Евразии выделены крупные регионы, одним из которых является Приамурско-Приморский регион. На схеме для каждого региона представлены сейсмолинеаменты, классифицированные по максимальной магнитуде (M_{max}) с шагом 0.5. Для всей территории России построены карты новейшей тектоники, карта доменной модели зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ), где нанесены землетрясения с $M \leq 5.5$, карта зон ВОЗ, которые положены в основу ОСР-2016.

После сейсмологической параметризации каждого из структурных элементов ЛДФ*-модели с помощью компьютера разыгрываются синтетические (виртуальные) очаги землетрясений в виде прямоугольников, размеры которых соответствуют максимальной магнитуде генерируемых ими землетрясений. Сейсмические очаги с $M = 6.0 \pm 0.2$, принадлежащие линеаментам, разыгрываются в соответствии с заданной функцией их распределения относительно осей линеаментов. Сейсмические очаги с $M = 5.5 \pm 0.2$ и менее, принадлежащие доменным структурам рассеиваются случайным образом (по методу Монте-Карло) в соответствии с их сейсмическим режимом и толщиной сейсмоактивного слоя. Расчеты ОСР-2016 велись по треугольной сетке со

стороной ячейки 15 км, более адекватной для сферической земной поверхности. В результате компьютерного моделирования формируется и многократно разыгрывается карта виртуальных очагов землетрясений на достаточно длительный интервал времени (сотни тысяч лет). Одновременно каждый узел сетки опрашивает все возникающие виртуальные очаги и накапливает информацию о повторяемости сейсмических сотрясений разной интенсивности, выраженной в баллах (как на отечественных картах ОСР) или пикселях (как на международной карте). За тем для заданных периодов повторяемости сейсмического эффекта 500, 1000, 5000, 10000 лет рассчитываются и строятся карты сейсмического районирования.

Главной целью сейсмического районирования является оценка сейсмической опасности территорий. Под сейсмической опасностью понимают вероятность возникновения сейсмических воздействий определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени. Расчетные сейсмические воздействия выражаются в баллах шкалы интенсивности, в расчетных максимальных ускорениях колебаний грунта. Для определения сейсмической опасности применяют метод, учитывающий для каждой площадки-приемника в каждом узле карты набор вариантов очагов разной магнитуды, которые находятся на разных удалениях от нее, при этом учитывается характер затухания сильных движений грунта с удалением от очага. Для каждого варианта очага задается период повторяемости. В результате расчетов получается вероятностная модель сейсмической опасности в каждой точке карты, которая позволяет получить для этой точки частоту превышений конкретного уровня сейсмических воздействий или вероятность такого превышения за заданный срок.

Методология создания карт ОСР-2016 базируется на вероятностном анализе сейсмической опасности и позволяет оценивать для конкретной точки ожидаемые максимальные сейсмические воздействия, превышение которых возможно с определенной долей вероятности в течение заданного интервала времени. Это в свою очередь по-

* – линеаментно-доменно-фокальная.

зволяет оценивать степень сейсмического риска и определять его допустимые уровни при строительстве объектов различных уровней ответственности и сроков службы.

Таким образом, степени сейсмической опасности в интервалах сейсмической активности от 5 до 9 баллов соответствуют вероятностям возможного превышения 10, 5, 1, 0.5 % (или вероятностям возможного не превышения 90, 95, 99, 99.5 %) в течение 50 лет для максимальных расчетных сейсмических воздействий, указанных на картах ОСР-2016 А, В, С, D. Указанным значениям вероятностей соответствуют следующие средние интервалы времени между землетрясениями расчетной интенсивности: 500 лет (карта А), 1000 лет (карта В), 5000 лет (карта С). Решение о выборе той или иной карты (А, В, С, D) при проектировании зданий и сооружений определяется соответствующими нормативными документами.

Список крупных населенных пунктов Приамурья и Приморья с указанием расчетной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности – А (10 %), В (5 %), С (1 %) в течение 50 лет приведен в Приложении № 1.

1.9. КАК ГОТОВИТЬСЯ К ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ

Особенность нашего региона заключается в том, что мы не застрахованы от землетрясений в зимний период, когда температура наружного воздуха опускается ниже минус 20–30° по Цельсию. В момент землетрясения часто отключается электрическая энергия, разбиваются и вылетают оконные стекла, нарушается нормальное функционирование мобильной и радио-релейной связи, перестают работать водопровод, канализация, заклинивает лифт. Даже при целостности зданий эти катаклизмы в совокупности с отрицательной температурой могут вызвать панические настроения.

Каждый человек, живущий в сейсмоопасном районе, должен заранее быть готовым к землетрясению и сознательно планировать свои действия во время возможного землетрясения. Ниже приводятся перечень

простейших мероприятий, которые помогут обезопасить жизнь человека, проживающего в сейсмоопасном районе.

Проверьте состояние вашего жилища – потолка, кровлю, дымовую трубу, состояние электропроводки и газовых труб. Определите, какие требуются меры по укреплению полок, стеллажей, мебели, тяжелых картин, светильников для предотвращения их падения. Помните, укреплять и ставить шкафы, полки, мебель надо так, чтобы они в случае падения не загромождали выход, не закрывали дверь. Если в вашем потолке или стенах образовались трещины, срочно займитесь ремонтом этих участков.

Спальные места нужно располагать дальше от больших окон, стеклянных перегородок, зеркал и тяжелых предметов, могущих упасть. Лучше установить на окна противоударную пленку, чтобы обезопасить себя от бьющегося стекла. Над кроватями и диванами не вешайте полки и тяжелые картины.

Обеспечьте в квартире (доме), возможность быстрого выхода, уберите лишние, мешающие вещи из коридоров и проходов.

Заранее определите наиболее безопасные места в квартире (доме): внутренние углы капитальных стен и проемы входных дверей, столы, кровати, где можно укрыться при землетрясении.

Пожар после землетрясения может причинить вред, по размеру подобный землетрясению, или еще масштабнее. Поместите возгораемые объекты в нижние закрывающиеся ящики. Прикрепите газовые баллоны к стене так, чтобы они не опрокинулись. Держите в удобном месте небольшой огнетушитель на случай воспламенения электрической проводки.

Всегда держите в доме медицинскую аптечку, где должны быть йод, нашатырь, сердечные капли, бинт, жгут, – то есть средства для оказания первой помощи пострадавшим. После землетрясения служба скорой помощи будет перегружена и медицинский персонал будет занят в основном тяжелыми случаями. Научитесь оказывать первую помощь и делать искусственное дыхание. Если вы постоянно принимаете какие-либо лекарства, имейте их запас.

Создавайте запас консервированных продуктов и напитков, рассчитывайте на первые 3–5 дней или даже неделю или две. Всё это можно уложить в рюкзак или сумку и хранить на видном месте. Купите фонарик с дополнительными батарейками.

Желательно хранить документы, особо ценные вещи в одном месте в сумке, чтобы при необходимости можно было быстро взять их с собой.

Если у вас в доме есть домашний любимец, внимательно следите за его поведением. Животные чувствуют приближение землетрясения и могут вести себя по-разному – быть спокойными или же начать суетиться и быстро бегать, искать укрытие.

Проводите в своей семье обсуждение возможности землетрясения, составьте и попросите домашних хорошо запомнить план действий во время и после землетрясения. Заранее наметьте наиболее экономный и безопасный путь выхода из помещения в случае землетрясения. Помните, что оно может произойти ночью при отключенном освещении, лестничные клетки, коридоры, двери будут забиты людьми. Дверь также может заклинить.

Научите каждого в вашем доме сигналом зова на помощь: свистком или тройным стуком. Спасатели, обследующие здание, будут прислушиваться к звукам.

1.10. ПОВЕДЕНИЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Сильное землетрясение всегда будет сопровождаться повреждениями, разрушениями и, возможно, жертвами. Правил поведения на все случаи не существует. Только здравое использование перечисленных советов поможет уменьшить опасность от землетрясения и его последствий.

Начальный момент землетрясения может ощущаться по-разному. Иногда перед землетрясением появляется свечение над возвышенностями, могут происходить самопроизвольное свечение люминесцентных ламп, нарушения в работе радио, телевидения и электронных приборов, может слышаться сильный нарастающий гул. Известны случаи необычного поведения животных

и рыб перед сильным близким землетрясением. **Необходимо помнить**, что иногда после первого толчка (форшока) может наступить некоторое затишье, прерываемое последующими сильными толчками, поэтому действия после первого толчка должны быть осторожными и обдуманными.

Если вы поняли, что началось землетрясение, необходимо срочно: поместить детей в безопасное место, которым могут быть проемы внутренних дверей или внутренние углы комнат. Отойти подальше от окон, внешних стен и громоздкой, высокой мебели. Можно прятаться под обеденным или письменным столом, верстаком, другой прочной мебелью, так как наибольшую опасность представляют падающие сверху предметы, камни, балки и т. д. **Нельзя** во время землетрясения выбегать на лестничные площадки, которые являются источником повышенной опасности.

Если появился запах газа в квартире и подъезде: нельзя: пользоваться открытым огнем, включать и выключать свет и любые электроприборы, курить, нажимать на кнопку электрического звонка, звонить по телефону, пользоваться лифтом, прикасаться к оголенным проводам.

Нельзя выбегать из высотного здания, так как основной причиной гибели людей становятся падающие обломки и разрушающиеся стены. Искать спасение надо там, где находитесь; дождитесь окончания землетрясения и только после этого покиньте здание, если это возможно. **Нельзя** покидать здание с помощью лифта; лифт может застрять или упасть в шахту. Покинув здание, необходимо отбежать на безопасное расстояние, превышающее его высоту.

Если во время землетрясения вы находитесь на улице: выходите на открытое место, отойдите подальше от линий электропередачи, зданий, мостов и других сооружений, так как при повторном толчке они могут обрушиться. Водители сразу же должны остановить транспортные средства как можно дальше от высоких зданий и сооружений и не начинать движение до прекращения землетрясения. Водители водного транспорта, если судно оказалось вблизи от берега, на котором имеются высокие здания

и другие опасные сооружения, должны уйти от берега, чтобы уберечься от падающих обломков. Если на берегу нет зданий и сооружений – поскорее выбраться на берег и отойти подальше от воды, так как землетрясение может вызвать сильное волнение или стоячие волны.

Если Вы знаете, что под обломками остались люди, не спешите самостоятельно разбирать завалы. Помните, что любое неосторожное движение может вызвать дальнейшее обрушение здания, срывы обломков камней и стать причиной гибели оставшихся под завалами людей. Если люди серьезно пострадали, не трогайте их с места – это опасно. При отсутствии спасателей выносить пострадавших можно только на жестких носилках. Окажите им, по возможности, первую медицинскую помощь, укройте раненых одеялами во избежание переохлаждения. Если Вы оказались в завале: осмотрите и ощупайте себя, если у Вас кровотечение, постарайтесь его остановить, перетянуть артерию выше раны любыми подручными средствами (помните, что перетяжку можно оставлять не более чем на час). Постарайтесь расчистить вокруг себя пространство и, если есть возможность, отползите в безопасное место. Если придавило руку или ногу, постарайтесь наложить жгут выше места сдавливания. При возможности, пейте любую жидкость. Привлекайте внимание людей голосом и стуком. Находясь под обломками здания, перемещайте влево и вправо любой оказавшийся под рукой металлический предмет для обнаружения Вас эхопеленгатором. Не зажигайте огонь. Если Вам удалось самостоятельно выбраться из завала, найдите штаб спасательных работ и зарегистрируйтесь.

В последующие часы после землетрясения. Приготовьтесь к возможным повторным толчкам – афтершокам. Постарайтесь устроиться на открытом месте и на расстоянии от ближайшего здания, превышающем его высоту и не входите без необходимости в зону разрушений. Не ходите среди развалин домов, так как можете стать причиной обвалов и жертвой срывающихся обломков. Ни в

каком случае не разводите в поврежденных печах огонь, чтобы не вызвать пожар. Будьте осторожны, открывая шкафы: находящиеся на полках предметы могут упасть на Вас. Без крайней необходимости не пользуйтесь личным автотранспортом – скопление автомашин затруднит работу пожарных, медиков и спасателей.

Если землетрясение застало Вас на предприятии, в учреждении: 1) все работы необходимо прекратить, производственное и технологическое оборудование остановить, отключить электроэнергию, снизить давление воздуха, кислорода, пара, воды, газа и т.п.; 2) если по условиям производства в короткое время нельзя или невозможно остановить сложные агрегаты, печи, технологические линии, турбины и тому подобное, то необходимо перевести их на щадящий режим работы; 3) рабочих и служащих, состоящих в формированиях гражданской обороны, следует немедленно направить в районы их сбора, остальные рабочие и служащие должны занять безопасные места; 4) прежде чем спешить домой, необходимо помочь сослуживцам и окружающим.

При нахождении во время землетрясения вне дома или места работы, например в магазине, театре, на улице, не спешите домой, а спокойно выслушайте указания соответствующих должностных лиц по действиям в создавшейся ситуации и поступайте в соответствии с этими указаниями.

В случае нахождения в общественном транспорте не покидайте его на ходу, дождитесь полной его остановки, выходите спокойно, пропуская вперед детей, инвалидов и престарелых. Учащиеся старших классов должны помочь дирекции и учителям в поддержании порядка среди школьников младших классов.

Если возникла паника в толпе: сохраняйте выдержку и хладнокровие, двигаясь в толпе, пропускайте детей и стариков, успокаивайте людей, подверженных панике, при давке согните руки в локтях и прижмите их к бокам, защищая бока от сдавливания, сдерживайте напор спиной,

помогайте подняться сбитым с ног людям. Если Вас сбили с ног, встаньте на колени и, упираясь в пол руками, резко отклонитесь, рывками выпрямляя тело.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Где бы ни происходили землетрясения, на территории развитых или развивающихся стран, они всегда будут сопровождаться разрушениями, повреждениями и человеческими жертвами, причем, при усилении

урбанизации опасность крупных катастроф при землетрясениях возрастает.

Научные изыскания в области геологии и геофизики проводятся, в том числе и для того, чтобы максимально обезопасить жизнь людей во время землетрясений. Но сколь бы не были всеобъемлющими действия органов власти, специальных ведомств и научных коллективов, эти действия будут недостаточными, если мы с вами не научимся соблюдать элементарные правила поведения в период подготовки к землетрясению, во время события и после него.

Геодинамика и сейсмичность Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий

ВВЕДЕНИЕ

Как было показано в первой части настоящей работы, одними из самых потенциально опасных природных катастрофических явлений в зоне сочленения Евразийского континента и Тихого океана являются землетрясения и связанные с ними цунами, оползни, обвалы и пр. Поэтому создание комплексной геодинамической модели Сихотэ-Алиньского орогенного пояса с целью разработки теоретических основ единой системы наблюдений за природными катастрофическими процессами, связанными с взаимодействием литосферных плит, невозможно без анализа его взаимодействия с прилегающими тектоническими структурами и их сейсмичности.

Сихотэ-Алиньский орогенный пояс является одной из основных активных тектонических структур Амурской литосферной плиты (рис. 2-1; вкладка, иллюстрация 2), восточная граница которой проходит вдоль зоны сильных землетрясений магнитудой $M \geq 6.0$ на о-ве Сахалин, через Японское море и Японию [Зоненшайн, Савостин, 1979]. Позднее в работах В.С. Имаева с соавторами [Имаев и др., 2003; 2005] было предложено существенно уменьшить размеры Амурской плиты и перед ее восточным краем (фронтом) выделить буферную зону, состоящую из относительно мелких тектонически активных блоков (рис. 2-1). Эти блоки под воздействием горизонтального сжатия испытывают сложные перемещения и деформации, что приводит к возрастанию сейсмической активности в буферной зоне. Буферная зона Амурской плиты разделяется на два сектора: 1) северный – вдоль северного края Амурской плиты отвечает Становому сейсмическому поясу [Имаев и др., 2005; Шерман, 2014]; 2) восточный –

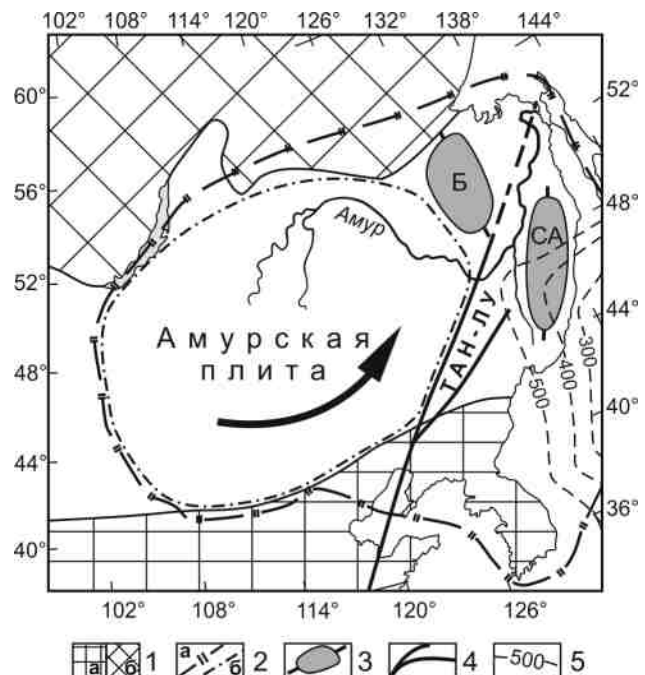


Рис. 2-1. Генерализованная тектоническая схема и основные активизированные структуры в восточной части буферной зоны Амурской плиты.

1 – Северо-Китайский и Сибирский кратоны, соответственно; 2 – границы Амурской плиты: а- по [Зоненшайн, Савостин, 1979; Забродин и др., 2015], б- по [Имаев и др., 2003]; 3 – современные орогены: Б – Буреинский, СА – Сихотэ-Алиньский; 4 – разломная мегазона Тан-Лу; 5 – изолинии глубин зоны субдукции в км [Liu K.H. et. al., 2008].

включает в себя современные Буреинский и Сихотэ-Алиньский орогены, разделенные трансрегиональной разломной системой Тан-Лу (рис. 2-1). При исследовании сейсмичности вдоль разломной мегазоны Тан-Лу выявлены участки с различным сейсмическим потенциалом, что свидетельствует о гетерогенности проявления палео- и современных геодинамических процессов в пределах восточной части Амурской плиты

[Диденко и др., 2017; Николаев 1992; Сейсмоструктура..., 1989].

Тектоническое строение и современная геодинамика континентальной части юга Дальнего Востока (Сихотэ-Алиньский ороген) определяется, в первую очередь, сочетанием здесь процессов, связанных с взаимодействием океанической (Тихоокеанская), субокеанической (Охотоморская) и континентальных (Евразийская, Амурская) тектонических плит. Значительную часть этой окраины образуют покровно-складчатые системы Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса, который разделен рифтовой структурой Татарского пролива миоценового возраста на Сихотэ-Алиньскую и Хоккайдо-Сахалинскую ветви, ранее составлявшие единое целое. Структуры последней ветви занимают площадь островов Хоккайдо (Япония), Сахалин (Россия) и ограничены с востока современной островодужной системой, маркирующей границу Тихоокеанской и Охотоморской плит. Структуры первой ветви, являющейся основным объектом исследований настоящей работы, занимают значительную часть территории России от берегов Японского моря на юге до побережья Охотского моря на севере (вкладка, иллюстрация 1). На западе континентальная ветвь пояса ограничена Буринским и Ханкайским древними массивами с раннепалеозойской континентальной корой, на севере по торцовому сочленению граничит с раннемезозойским Монголо-Охотским покровно-складчатым поясом.

Работ, посвященных обстоятельному анализу сейсмичности Сихотэ-Алиньского региона и активных тектонических структур ее определяющих, не так много. Пожалуй, только в коллективной монографии под руководством В.В. Николаева [Сейсмоструктура..., 1989], разделе, написанном В.А. Бормотовым и А.А. Коковкиным, из коллективной монографии [Геодинамика..., 2006] и работе Б.В. Левина с соавторами [Левин и др., 2008] проведен такой анализ. За прошедшие годы накоплены новые данные, весьма значительные по объему (в последней цитированной работе использовался каталог землетрясений за 1988-2004 гг. [Левин и др., 2008]), которые необходи-

мо проанализировать и систематизировать для построения современной геодинамической модели региона на предмет разработки основ единой системы наблюдений за природными катастрофическими процессами. Следует также отметить и то, что анализ сейсмичности региона, в первую очередь это относится к временным характеристикам процесса, в выше цитированных работах проведен с использованием традиционных, в значительной степени качественных, методов.

Анализ глубин гипоцентров землетрясений в регионе [например, Левин и др., 2008; Геодинамика..., 2006; и др.] показал, что их можно разделить, как минимум, на две группы – коровые и мантийные. Последние связаны с процессом субдукции Тихоокеанской океанической плиты под восточную окраину Евразии и не являются предметом изучения настоящей работы. Основную сейсмичность региона определяют коровые землетрясения, связанные с современной разломно-блоковой тектоникой. Поэтому задачами настоящей работы являлись: а) анализ коровой сейсмичности Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий на основе существенно пополненного каталога данных о сейсмичности (1986–2013 гг.); б) определение характеристик современного геодинамического процесса в пространстве и времени и на основе применения современных математических и геоинформационных методов; в) определение основных сейсмогенерирующих структур и их связи с установленными региональными разломами, глубинной тепловой структурой.

Краткая геолого-геофизическая характеристика исследуемого региона.

Согласно современным представлениям Сихотэ-Алиньский орогенный пояс образован террейнами различного генезиса, включающими фрагменты юрских и раннемеловых аккреционных призм, раннемеловых островодужных систем и турбидитового бассейна [Khanchuk, Kemkin, 2015]. Как следует из реконструкций, проведенных на основе комплексных исследований, большая часть пород пояса формировалась в условиях активной окраины Евразийского палеоконтинента на широтах существенно южнее ны-

нешних [Голозубов, 2006; Диденко и др., 2014], которые затем в результате трансляции по крупномасштабной левосторонней системе окраинно-континентальных сдвигов были перемещены на север. На восточные структуры Сихотэ-Алиньского орогена, несогласно пересекая его покровно-складчатые структуры раннемеловых и юрских террейнов, наложен Сихотэ-Алиньский вулканно-плутонический пояс, протягивающийся почти на 1500 км вдоль побережья Татарского пролива в северо-северо-восточном направлении.

По представлениям Ю.Ф. Малышева с соавторами [Геодинамика..., 2006; стр. 50], «плотностная структура земной коры Сихотэ-Алиня относительно простая»; гравитационное поле характеризуется крупными линейными и изометричными региональными аномалиями разного знака: Нижнеамурским, Среднеамурско-Приморским максимумами и Сихотэ-Алиньским и Баджало-Буринским минимумами. Земная кора в районе работ по скоростным характеристикам относится к трем типам: 1) тонкая континентальная кора мощностью 25–35 км с низкой скоростью сейсмических волн (6.2–6.3 км/с); 2) континентальная кора нормальной мощности (35–40 км) и средней скоростью сейсмических волн (6.5 км/с); 3) кора переходного типа как по мощности, так и скорости сейсмических волн (6.3–6.5 км/с). По мнению Ю.Ф. Малышева [рис. 1-2-3 в Глубинное строение..., 2010], граница тонкой низкоскоростной континентальной земной коры мезозойд Сихотэ-Алиня на западе совмещена с Пограничной (в Китае - Дахинган-Тайхан-Улинская) трансрегиональной гравитационной ступенью, и ее можно рассматривать как фронтальную линию воздействия Тихоокеанской океанической литосферной плиты на Амурскую континентальную литосферную плиту.

Современную геодинамику Сихотэ-Алиня в значительной степени определяют и определяют, наряду с субдукцией на востоке, системы разломов северо-северо-восточного простирания на востоке (Центрально-Сихотэ-Алиньская) и северо-восточного простирания на западе (Харпийско-Курско-Приамурская – северный сегмент системы

Тан-Лу), с которыми связана современная сейсмичность в регионе. В качестве основы для корреляционного анализа сейсмичности и существующей разломной сети, нами использована карта разломов (вкладка, иллюстрации 1, 3) с их описанием¹, подготовленные В.Ю. Забродиным с соавторами [Забродин и др., 2015]. Согласно этим и другим более ранним построениям, дизъюнктивные нарушения широко распространены в районе исследования как в складчатых, так и в покровных комплексах. По времени заложения они делятся на две группы: 1) аккреционного и раннеорогенного этапов заложения нижнего структурного этажа; 2) позднеорогенного этапа заложения верхнего структурного этажа и структур вулканогенного пояса. В исходную карту [Забродин и др., 2015] нами добавлена информация о положении основных разломов на сопредельной территории КНР [Геологическая..., 1998].

2.1. АНАЛИЗ КОРОВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СИХОТЭ-АЛИНЬСКОГО ОРОГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

В качестве основного источника данных о сейсмичности региона нами использован банк данных о землетрясениях в пределах Амурской плиты с 1119 по 2013 год, составленный в лаборатории сейсмологии и сейсмотектоники ИТиГ ДВО РАН по геоисторическим материалам и каталогам ГС РАН.

2.1.1. Пространственная структура эпицентрального поля землетрясений

Структура эпицентрального поля землетрясений имеет весьма сложный неоднородный вид, причем эти свойства проявляются в широчайшем диапазоне масштабов, то есть имеет место самоподобие, или фрактальность [Мандельброт, 2002]. Если не учитывать размер очага, то совокупность очагов имеет характер канторовых (точечных) множеств. Количественной

¹http://itig.as.khb.ru/ppp/gis/2015-mono-Fault_Tect_FE-Zabr_Ry_Gil.pdf

мерой самоподобия и степени сложности совокупности объектов является фрактальная размерность D [Садовский, Писаренко, 1991; Turcotte, 1997], которая показывает насколько плотно и равномерно элементы данного множества заполняют пространство и вычисляется из соотношения:

$$\lg N = -D \lg \delta + c,$$

где δ – масштаб рассмотрения, N – количество элементов, c – постоянная.

Для всех 5320 сейсмических событий, зарегистрированных на исследуемой площади с координатами 42.6 и 130.2°, 42.6 и 140.3° на юге и 55.1 и 141.9°, 55.1 и 128.8° на севере (вкладка, иллюстрация 1), вне зависимости от их магнитуды была определена фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений (рис. 2-2) с помощью программы FrAnGeo [Захаров, 2011, 2012]. Установлено, что фрактальная размерность всего поля эпицентров составляет $D = 1.6 \pm 0.1$ (рис. 2-1А, уравнение регрессии – $\lg N = -1.6 \lg \delta + 5.37$, коэффициент корреляции $r_k = 0.99$).

Дифференциация исследуемой территории по величине фрактальной размерности, рассчитанной в скользящем окне $2 \times 2^\circ$ (рис. 2-2Б), показывает, что наиболее активные участки земной коры связаны с Харпийско-Курско-Приамурской зоной северо-восточного простирания, являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу [Николаев, 1992; Геодинамика..., 2006]. Здесь по наибольшей частоте проявления сейсмических событий выделяются четыре участка (с юга на север): 1) между Куканским и юго-западной ветвью Буреинского горными хребтами; 2) у южных предгорий Туранского хребта; 3) у северо-восточной ветви Буреинского хребта; 4) между хребтами Эзоп, Ямалин и Селемджинский. Последний участок характеризуется наиболее высоким значением фрактальной размерности распределения эпицентров землетрясений в регионе (рис. 2-2Б).

В отличие от Харпийско-Курско-Приамурской зоны, в пределах собственно Сихотэ-Алиньского орогена столь же активных участков земной коры не наблюдается. Здесь можно говорить о превышении фоновой активности для участков (с севера на

юг; рис. 1В): 1) в низовьях р. Амур у г. Николаевск-на-Амуре; 2) в районе Советской Гавани-Ванино; 3) в акватории Японского моря в районе бухт Светлая и Максимовка; 4) на юге Приморья. Наиболее активные участки в районах г. Владивостока и бухты Ольга связаны с глубинными зонами субдукции.

По глубине гипоцентров сейсмические события объединены в три группы (рис. 1-2Б): 1) с неизвестной глубиной гипоцентра; 2) с глубиной гипоцентра от 0 до 60 км; 3) с глубиной гипоцентра ниже 60 км. Как и следовало ожидать, эпицентры последних (мантийных) занимают акваторию Японского моря и прибрежную часть континента [Левин и др., 2008]. Глубина их гипоцентров составляет от 70 до 600 км и связаны они с субдукцией Тихоокеанской плиты под Евразийский континент, количество их на рассматриваемой территории невелико – 246 событий в интервале магнитуд $0.1 \leq MLH \leq 7.7$. Вторую группу количеством 2084 выполняют землетрясения в интервале магнитуд $0.1 \leq MLH \leq 7.7$ с глубиной гипоцентров до 60 км. Подавляющее их количество (2072) имеет глубину до 40 км (мощность земной коры под Центральным Сихотэ-Алинем [Глубинное строение..., 2010]), остальные 12 – не более 54 км, но, судя по распределению глубин их гипоцентров (рис. 1-2Б), они составляют единую совокупность с остальными 2072 явно коровыми событиями. Третью самую многочисленную группу (2900) выполняют сейсмические события в интервале магнитуд $0.1 \leq MLH \leq 6.5$ с неизвестной глубиной гипоцентров, но практически все они, за исключением 35–40 событий, географически сопряжены с коровыми.

Фрактальная размерность коровых землетрясений в пределах погрешности совпадает со значением, полученным для всех землетрясений. Это связано, по всей видимости, с тем, что абсолютное большинство землетрясений региона – именно коровые. Согласно этим результатам регион занимает место между Камчаткой, Курилами (1.61 и 1.69, соответственно) и Восточным Китаем, Байкалом (1.55. и 1.40, соответственно) [Захаров, 2011].

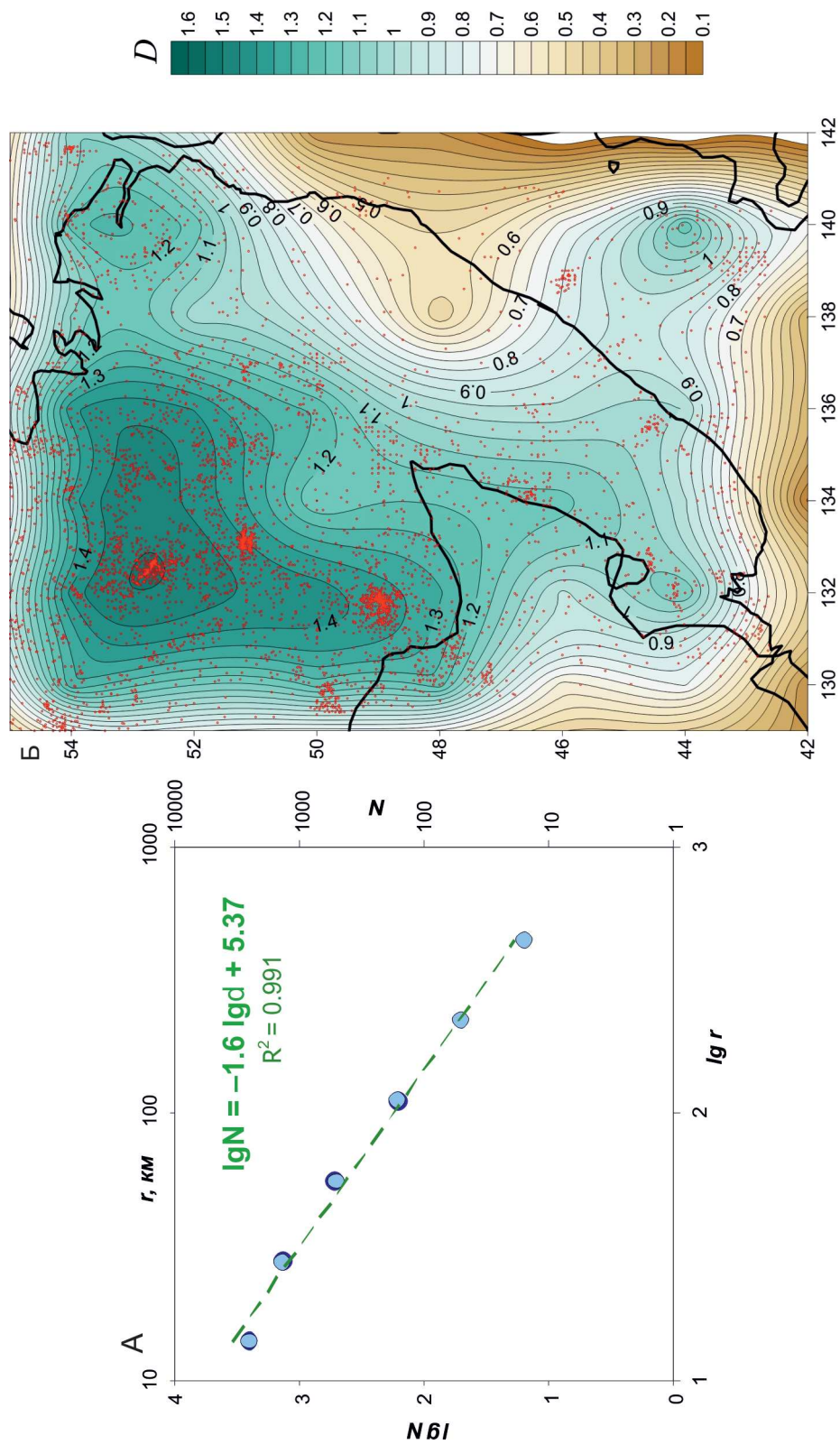


Рис. 2-2. Фрактальная размерность поля эпицентров землетрясений Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий. А – определение фрактальной размерности всего поля эпицентров землетрясений изучаемого района. Б – фрактальная размерность поля эпицентров землетрясений (D), рассчитанная в скользящем окне 2×2° с перекрытием 1°. Красные точки – эпицентры землетрясений.

2.1.2. Временная структура землетрясений

Первое землетрясение, зафиксированное в летописях для исследуемой территории, относится к 1500 г., второе – к 27 июня 1865 г. Как видно на рис. 1-2А, зафиксированные землетрясения крайне неравномерно распределены по времени. До 1960 г. каталог содержит отдельные редкие сейсмические события, параметры которых определены по макросейсмическим данным, после 1960 года количество регистрируемых событий возросло на порядок и более, что связано с развитием сейсмической сети в регионе [Левин и др., 2008; Сейсмо тектоника..., 1989]. Следует также отметить резкое уменьшение количества регистрируемых землетрясений с магнитудой менее 2.4 с начала двухтысячных годов (рис. 1-2А).

Другим ярким проявлением самоподобия сейсмического режима является закон Гутенберга-Рихтера для распределения количества землетрясений по магнитудам, имеющий фундаментальное значение в сейсмологии [Касахара, 1985]:

$$\lg N = -B \times \lg M + C,$$

где C и B – эмпирические константы, N – количество землетрясений за определенный промежуток времени с магнитудой, превосходящей M , в определенном регионе. Это соотношение выполняется для области спада графика распределения $\lg N(M)$ – графика повторяемости.

Расчет графика повторяемости для всех зафиксированных сейсмических событий в регионе представлен на рис. 2-3А. Значение наклона графика повторяемости (B), которое выражает соотношение между числом сильных и слабых сейсмических событий в регионе, было рассчитано в диапазоне магнитуд 2–7.6, и составляет $B = 0.44 \pm 0.03$ (уравнение регрессии $\lg N = -0.44MLH + 4.06$, $r_k = 0.95$).

Поле значений наклона графика повторяемости для всех землетрясений, рассчитанного в скользящем окне $2 \times 2^\circ$, показывает, что наибольшее его абсолютное значение (≥ 0.7) соответствует районам развития дизъюнктивных нарушений в Харпийско-Курско-Приамурской зоне северо-восточно-

го простирания (рис. 2-3Б), являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу [Николаев, 1992; Геодинамика..., 2006], и в акватории Японского моря южнее г. Владивостока. Здесь проявлены глубокофокусные (мантийные) землетрясения, связанные с субдукцией. Минимальные значения наклона графика повторяемости приходятся на южную и северную зоны Сихотэ-Алиня (рис. 2-3Б).

Учитывая невысокую плотность сети сейсмо станций в Приморье и Приамурье, возможность включения слабых сейсмических событий с магнитудой от 2 до 4 в систему расчетов для оценки графика повторяемости событий может вызывать вопросы, о чем указывалось ранее [Левин и др., 2010]. Учитывая это, а также основную задачу настоящей работы – оценка коровой сейсмичности Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий, расчет графиков повторяемости для коровых землетрясений был проведен в трех вариантах. Для чего землетрясения с глубиной менее 60 км были объединены в одну группу с землетрясениями с неизвестной глубиной (практически все они ассоциируются с коровыми событиями) и проведены расчеты для событий с $MHL \geq 2$, ≥ 3 и ≥ 4 (табл. 2-1).

Как видно из данных таблицы 2-1, значения B и C для всех трех случаев совпадают в пределах ошибки, а увеличение стандартных ошибок и уменьшение коэффициента корреляции легко объясняется существенным уменьшением количества событий участвующих в расчетах. Следует отметить, что наклон графика повторяемости для Сихотэ-Алиня ($B \sim 0.54-0.56$; табл. 2-1) равен наклону графика повторяемости о. Сахалин ($B = 0.55$) [Захаров, 2011]. Полагаем, что такое совпадение вряд ли является случайным, и определенные нами параметры графика повторяемости отвечают реальности.

Для последующего анализа временного и пространственного распределений землетрясений по площади исследований была проведена следующая трансформация исходного ряда наблюдений. Во-первых, были полностью исключены события с магнитудой менее 2.4, так как они зафиксированы в банке данных в достаточно узком времен-

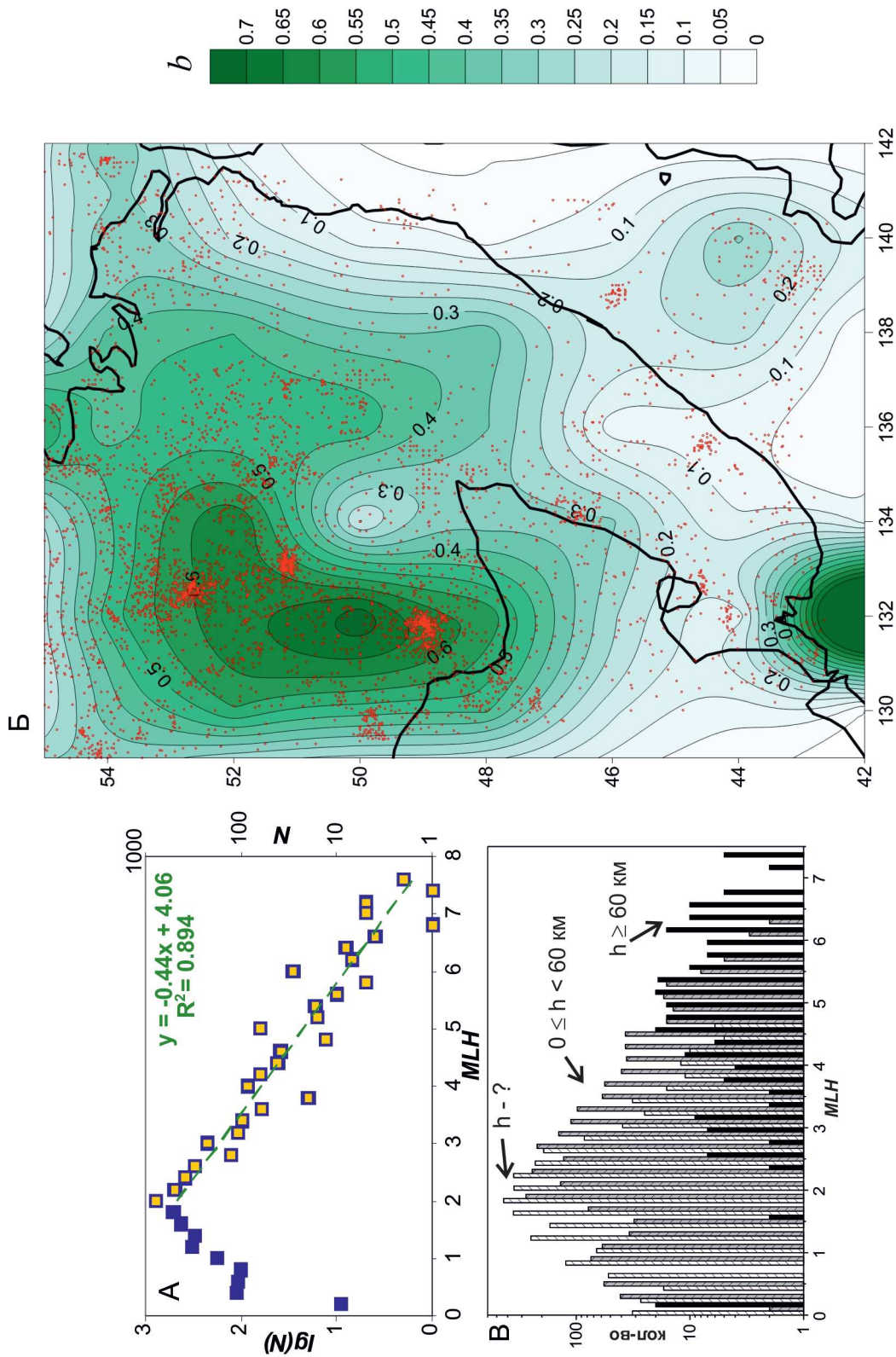


Рис. 2-3. Повторяемость землетрясений и фрактальная размерность наклона графика повторяемости землетрясений Сихотэ-Алинь-ского орогена и прилегающих территорий по площади.

А – распределение всех землетрясений по магнитудам и определение наклона графика повторяемости.

Б – поле наклона графика повторяемости, рассчитанное в скользящем окне $2 \times 2^\circ$ с перекрытием 1° . Остальные условные обозначения смотри на рис. 2-2.

В – распределение землетрясений по магнитудам для трех групп: белые столбики - глубина не определена, серые – 0–60 км, черные – > 60 км.

Таблица 2-1.

Расчет параметров графика повторяемости коровых землетрясений Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий

диапазон магнитуд	<i>N</i>	<i>B</i>	\pm	<i>C</i>	\pm	<i>r_k</i>
$2.0 \leq MLH \leq 7.7$	2804	-0.556	0.022	3.952	0.110	-0.981
$3.0 \leq MLH \leq 7.7$	720	-0.544	0.032	3.882	0.173	-0.968
$4.0 \leq MLH \leq 7.7$	233	-0.555	0.054	3.947	0.311	-0.940

Примечание: *MLH* – магнитуда, *N* – количество событий, *B*, *C* – эмпирические константы для исследуемого региона (*B* – наклон графика повторяемости, *C* – точка пересечения графиком повторяемости оси ординат или десятичный логарифм количества сейсмических событий при $MHL \rightarrow 0$), *r_k* – коэффициент корреляции Пирсона.

ном интервале – 1970–2002 гг. (рис. 1-2Б). Да и точность определения их основных характеристик проблематична. Например, Б.В. Левин с соавторами порог «надежности» магнитуд поднимает до 4.5 [Левин и др., 2008]. Во-вторых, были полностью исключены землетрясения с глубиной гипоцентра ≥ 60 км (рис. 2-3А), так как они явно «выбиваются» из общей картины графика повторяемости (рис. 2-3В).

В-третьих, для оставшихся после отбраковки сейсмических событий был произведен пересчет их магнитуд в энергию согласно формуле Гутенберга-Рихтера [например, Жарков, 2013]. Вновь полученный ряд $E_s(t)$ использовался для расчета выделенной энергии при землетрясениях на единицу площади.

В-четвертых, если в какой-либо день было несколько землетрясений, то их энергия суммировалась, а дни без зафиксированных сейсмических событий заполнялись нулями. В результате был получен временной ряд выделения энергии землетрясений на изучаемой территории с дискретностью в один день, где 1 год равняется 365.2224 дня (сидерический год). Для последующего временного анализа событие 1500 года было исключено, и, таким образом, он был проведен для временного ряда в интервале 1865–2013 гг., то есть примерно за последние 150 лет (рис. 1-2А).

Для большинства природных временных рядов аналитическое нахождение фрактальной размерности невозможно, поэтому ее определяют численно через величины,

связанные с ней простым соотношением. Часто используемой характеристикой самоподобия (фрактальности) временного ряда является показатель Херста (*H*). Он вычисляется в результате анализа соотношения R/S (R/S – анализ) [Лукк и др., 1996; Федер, 1991; Turcotte, 1997]. Здесь *R* – «размах» временного ряда, – разность наибольшего и наименьшего накопленного отклонения от текущего среднего (на данном интервале времени τ); *S* – стандартное отклонение ряда на том же интервале. Установлено, что для многих природных процессов устойчиво выполняется соотношение:

$$R/S \sim \tau^H,$$

где *H* – показатель Херста.

Для получения надежной численной оценки показателя Херста и фрактальности, соответственно, с помощью существующих на сегодняшний день алгоритмов требуется большое количество данных – порядка 10^3 – 10^4 [Старченко, 2005]. В нашем случае таких событий (дней с землетрясениями магнитудой ≥ 2.4) было 3707. Для выявления свойств рассчитанного временного ряда, в том числе скрытой периодичности были использованы три метода – фрактальный, вейвлет- и Фурье-преобразования, реализованные в программе [AutoSignal, 2003].

Расчет числа Херста как для всего 150-летнего ряда (рис. 2-4А), так и для наиболее подробной его части от 1960 до 2013 год. показал, что оно немного варьируется и равно для этих двух вариантов 0.6465 ± 0.0004 при $r^2 = 0.963$ и 0.6366 ± 0.0003 ($r^2 = 0.996$), соответственно. Это

означает, что в анализируемом временном ряду корреляция положительна: положительное приращение в прошлом означает в среднем тенденцию к увеличению в будущем, то есть процесс имеет персистентный характер (сохранение наблюдаемой тенденции).

В последние годы для структурного анализа геофизических временных рядов успешно применяется вейвлет-анализ [Любушин, 2007], так как он лучше параметрических методов подходит для анализа нестационарных сигналов, а именно такого рода является построенный нами ряд $Es(t)$. Вейвлет-преобразование не просто «режет» исследуемый ряд на куски, а выделяет из него компоненты разных масштабов, и каждый компонент анализируется с той степенью детальности временной развертки, которая соответствует его масштабу. Кроме того, дает возможность представить на одной диаграмме все интересующие периоды и снять вопрос о четных гармониках.

Применение вейвлет-преобразования показало, что для расчета периодичности для всего 150-тилетнего ряда явно не хватает данных примерно до 1960 года (рис. 1-2А). Вейвлет-преобразование временного ряда сейсмических событий Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий с 1960 по 2013 год. показало, что наиболее ярко проявлена «гармоника» с периодичностью в годах от 12.5 до 10 лет (рис. 2-4Б). Этот период (11–13 лет) по наибольшему количеству землетрясений с магнитудами ≥ 4.4 для временного интервала 1971–2003 гг. был определен также в работах [Левин и др., 2008, 2010]. По нашим данным о существовании этого периода можно уверенно говорить начиная с 1960 по 2013 год.

Интересно, что эта «гармоника» отчетливо выражена и при разложении временного ряда на составляющие с использованием алгоритма быстрого Фурье-преобразования. В результате анализа были зафиксированы 3 гармоники (рис. 2-4В): 0.057 (17.5 лет) 21.3 % от всей мощности, 0.095 (10.5 лет) 62.3 % от всей мощности спектра и 0.259 (3.9 лет) 16.4 % от всей мощности спектра. Период наибольшей по амплитуде гармоники составляет 10.5 лет с вероятно-

стью 99.9 % (рис. 2-4В), что хорошо согласуется с данными вейвлет-преобразования.

2.1.3. Расчет выделившейся энергии при землетрясениях и их связь с тектоническими структурами

Для пространственного анализа выделившейся энергии и выявления их связи с тектоническими структурами был проведен расчет энергии на единицу площади (рис. 1-3), в нашем случае это площадь $0.5 \times 0.5^\circ$. Расчет проводился только для событий с магнитудой ≥ 2.4 .

Проведенный расчет показал, что наиболее активные участки земной коры связаны с Харпийско-Курско-Приамурской зоной северо-восточного простираения, являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу [Николаев, 1992; Геодинамика..., 2006]. На фоне общего повышенного выделения сейсмической энергии более 1×10^{10} Дж на единицу площади выделяются два обширных участка: 1) изометричной формы между Харпийским и Суньхэ-Бирским разломами на юге; 2) вытянутой формы в меридиональном направлении между Ургальским, Кындалским примерно от г. Чегдомын и Сехтагским разломами с выделившейся энергией на единицу площади более $3-10 \times 10^{11}$ Дж (рис. 1-3). Здесь же выделяются два изометричных участка с выделившейся энергией на единицу площади более 3.6×10^{13} Дж: 1) в районе северного окончания Уликанского разлома; 2) в районе взаимодействия Удыхынского, Сехтагского и Верхнекупуринского разломов.

В отличие от выше обозначенной зоны, в пределах собственно Сихотэ-Алиньского орогена активных участков земной коры существенно меньше. Два из них лежат на северо-восточном продолжении Харпийско-Курско-Приамурской ветви: 1) с выделившейся энергией на единицу площади более 1×10^{12} Дж располагается в низовьях р. Амур у г. Николаевск-на-Амуре; 2) между Приамурским (Киселевским) и Дигдиланским разломами. Собственно к разломным структурам Сихотэ-Алиня можно отнести

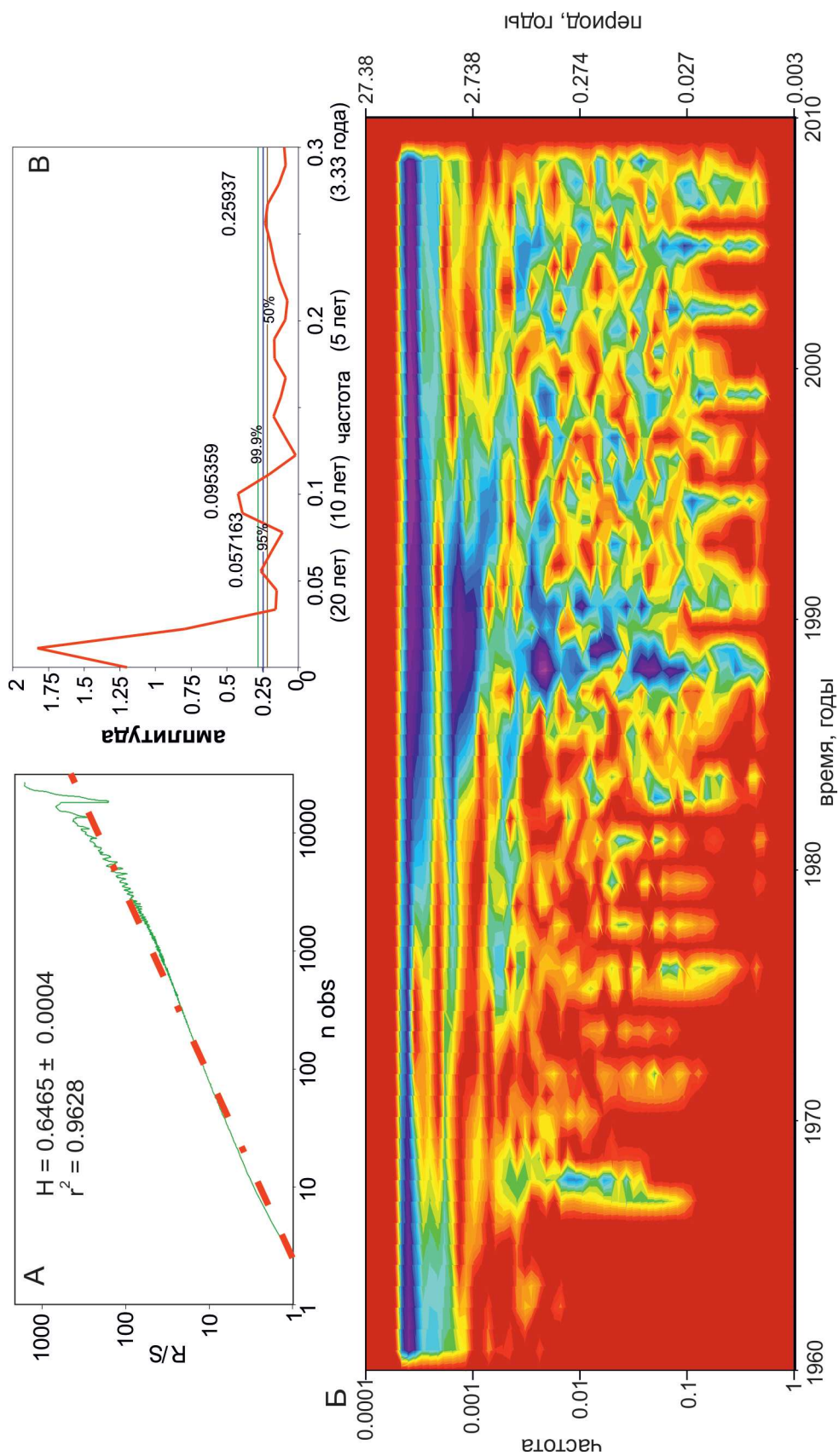


Рис. 2-4. Структурный анализ временной последовательности землетрясений Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий
 А – расчет параметра Херста для временного ряда сейсмических событий Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий в период 1886–2013 гг.
 Б – вейвлет-диаграмма Морле (Morlet) для временного ряда сейсмических событий Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий в период 1960–2013 гг.
 В – расчет гармоник временного ряда сейсмических событий Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий в период 1960–2013 гг. с помощью быстрого Фурье-преобразования.

два небольших участка: 1) в районе Советской Гавани-Ванино с суммарной выделенной энергией на единицу площади более 1×10^{12} Дж; 2) севернее гг. Кавалеро-во и Дальнегорск с выделенной энергией на единицу площади более 3.1×10^{10} Дж (рис. 1-3).

Проведенный анализ показал также, что максимальное значение выделенной энергии на единицу площади (более 2.8×10^{16} Дж) отмечается для двух участков располагающихся в акватории Японского моря между континентальной частью Евразии и островом Хоккайдо. Один из них расположен напротив субширотной Бикинской группы разломов (рис. 1-3).

2.1.4. Основные выводы

Установлена фрактальная размерность поля эпицентров землетрясений для Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий ($D = 1.6$), согласно которой регион занимает место между Камчаткой, Курилами (1.61 и 1.69, соответственно) и Восточным Китаем, Байкалом (1.55. и 1.40, соответственно). Дифференциация исследуемой территории по величине фрактальной размерности, количества землетрясений и величине выделенной при этом энергии, рассчитанным на единицу площади, показывает, что наиболее активные участки земной коры связаны с Харпийско-Курско-Приамурской зоной северо-восточного простирания, являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу. Расчет временного ряда сейсмических событий ($MLN \geq 2.4$) Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий с 1960 по 2013 год. показал, что наиболее ярко проявлена «гармоника» с периодом 10.5 лет.

Практически на всей территории развития Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома сейсмические события и по частоте, и по магнитуде существенно уступают таковым в Харпийско-Курско-Приамурской зоне, хотя потенциальная сейсмическая опасность разлома велика. Так, в его зоне в начале прошлого века произошло несколько сильных землетрясений с магнитудой до 5–6.

2.2. СТРУКТУРЫ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Нижнеамурская часть буферной зоны расположена непосредственно на фронте Амурской плиты и, видимо, по этой причине отличается наиболее сильной сейсмичностью на юге материковой части Дальнего Востока. Исторически эта активность связывалась с процессами в разломной мегазоне Тан-Лу [Николаев 1992; Николаев и др., 2000; Сейсмотектоника..., 1989]. Однако значительную роль в сейсмических деформациях Нижнего Приамурья, по-видимому, играет и Буреинский ороген – современное горное сооружение, объединяющее систему протяженных северо-восточного простирания хребтов от Селемджинского на севере до Баджалского на юге и коротких меридиональных хребтов на востоке Нижнего Приамурья.

2.2.1. Структуры геодинамической активизации Нижнего Приамурья

В Нижнем Приамурье по вертикальным деформациям фиксируется широкая область опускания, в центре которой и параллельно реке Амур протягивается мегаразлом Тан-Лу (рис. 2-5А). В полосе вдоль Тан-Лу сосредоточены все участки быстрого погружения, в которых происходит опускание со скоростями до 4–11 мм/год. В северо-западном направлении область погружения сменяется областью медленного, а затем интенсивного поднятия. Здесь на карте повторного нивелирования обнаруживаются два сближенных максимума (рис. 2-5Б), в которых скорость поднятия достигает 8–11 мм/год. Цепь двух поднятий ориентирована на северо-восток, параллельно зоне мегаразлома Тан-Лу. Геометрически Нижнее Приамурье может быть представлено как коровая мегапластина с размерами 500×1000 км. Юго-восточный край мегапластины в настоящее время погружается вдоль разлома Тан-Лу, что сопровождается интенсивным подъемом ее противоположного северо-западного края.

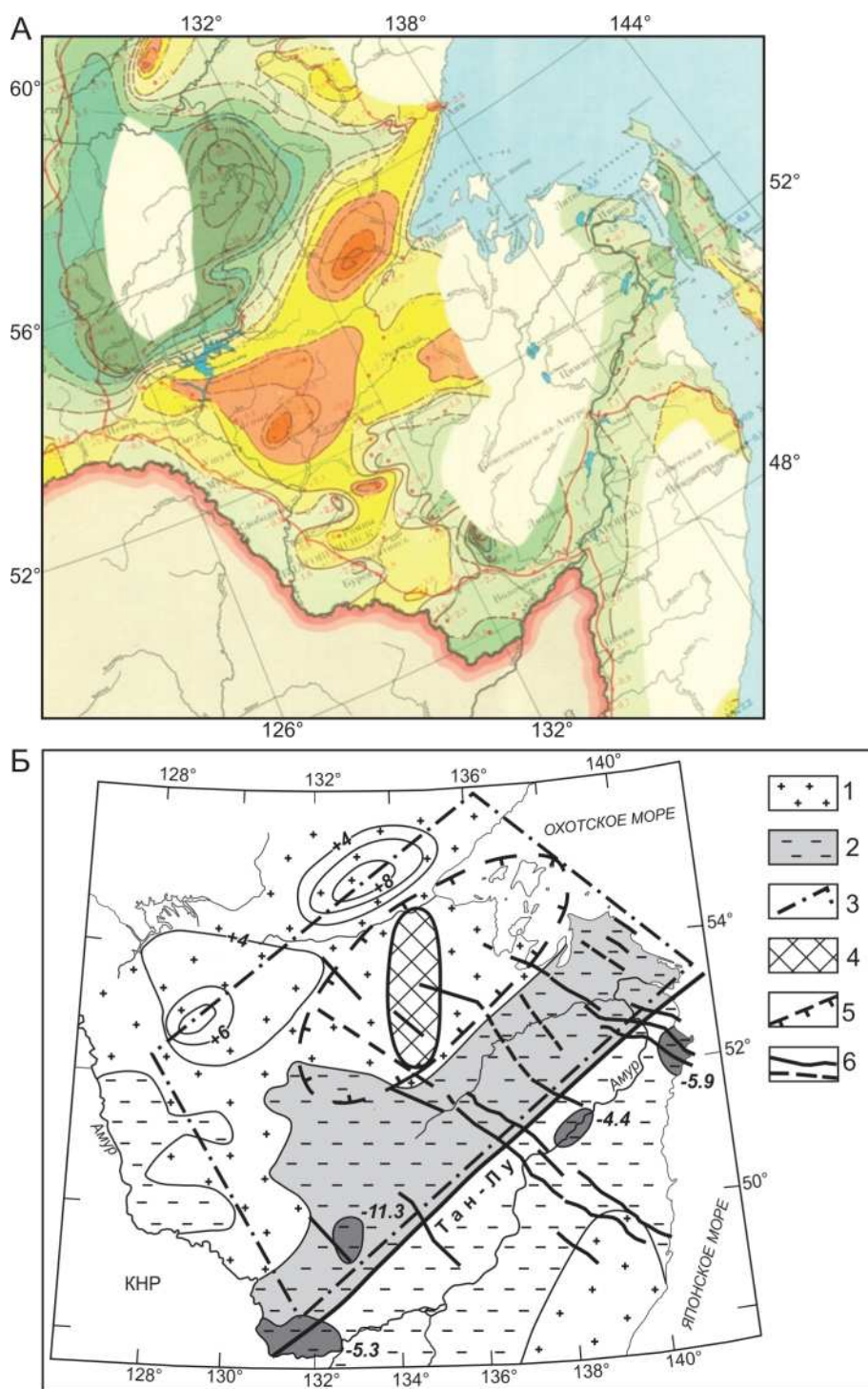


Рис. 2-5. Особенности морфологии и деформации Нижнеамурской мегапластины (микроплиты) по результатам повторного нивелирования

А – фрагмент карты современных вертикальных движений по геодезическим данным [Карта современных вертикальных движений, 1989]. Б – геометрия Нижнеамурской мегапластины. Области поднятия и опускания показаны изолиниями.

1 – области преимущественного поднятия, изолиниями показаны два максимума подъема, значения изолиний, мм/год; 2 – области преимущественного опускания, темно-серым цветом выделены районы быстрого погружения, цифры – максимальные значения, мм/год; 3 – границы мегапластины; 4 – центр Буреинского орогена; 5 – контур Буреинской сейсмической зоны; 6 – сейсмогенные линейменты СЗ простираения.

Наряду с Буреинским орогеном, Нижнеамурская мегапластина является еще одной активизированной структурой буферной зоны, испытывающей, судя по данным повторного нивелирования, интенсивные современные деформации (рис. 2-5Б). Северо-восточное простирание Буреинской сейсмической зоны параллельно южному краю пластины вдоль мегазоны Тан-Лу. Именно вдоль этого продольного направления наклон и деформации коровой пластины близки к постоянным значениям. Таким образом, если положение центра Буреинской сейсмической зоны обусловлено орогенным поднятием, то ее выраженное удлинение, по-видимому, отражает особенности деформаций Нижнеамурской пластины.

Анализ землетрясений на юге Дальнего Востока показывает [Степашко, 2010; 2011; 2013], что здесь проходит северо-западная граница Сихотэ-Алиньского литосферного блока, который, вращаясь, движется в южном направлении. При его горизонтальном перемещении возникает линейная зона растяжения вдоль северной границы блока, там, где происходит опускание края Нижнеамурской мегапластины. Оба процесса – и вертикальное поднятие орогена, и горизонтальное вращение Сихотэ-Алиньского блока, – взаимодействуя, формируют поле деформаций мегапластины и контролируют сейсмичность Нижнего Приамурья.

Образование и деформации коровой мегапластины связаны, по нашему мнению, с современной геодинамикой Сихотэ-Алиньского литосферного блока, который является ключевым элементом восточной части буферной зоны. Границы этого тектонического блока (рис. 2-6) в северо-восточном Китае проходят по двум главным ветвям мегазоны Тан-Лу: Илань-Итунскому и Фушунь-Мишаньскому [Chen et al., 2015; Xu et al., 1987]. Северо-восточные продолжения этих разломов на территории России не столь отчетливо выражены в тектоническом строении. Результаты регионального картирования показывают, что Илань-Итунский разлом протягивается вдоль русла Амура и затем продолжается в низовьях реки Кисе-

левским разломом [Забродин и др., 2015]. Фушунь-Мишаньская ветвь мегазоны Тан-Лу в России продолжается Алчанским разломом. По данным магнитотеллурического изучения, оба главных разлома мегазоны Тан-Лу прослеживаются глубоко в мантии [Каплун, 1994; 1998]. Восточные границы Сихотэ-Алиньского блока также выделяются в вариациях состава ксенолитов мантии и внутриплитных неоген-четвертичных базальтов [Степашко, 2010]. Геодинамическое значение Сихотэ-Алиньского тектонического блока первостепенно, так как сейсмические зоны, в которых сосредоточены очаги сильных землетрясений Приамурья, Приморья и Сахалина, обрамляют именно его границы [Степашко, 2010; 2011].

Предполагаемые направления горизонтальных перемещений в Сихотэ-Алиньском регионе подтверждаются GPS-измерениями на востоке Амурской плиты [Ашурков и др., 2011; Тимофеев и др., 2008; 2011; 2012; Shestakov et al., 2011]. Данные геодезии отражают высокую активность разломной мегазоны Тан-Лу и необходимость проведения границы Амурской плиты вдоль нее [Ашурков и др., 2011]. Кроме того, GPS-данные указывают на современную пассивность Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома [Shestakov et al., 2011]. Влияние его на сейсмичность также не наблюдается.

Ключевым доказательством вращения Сихотэ-Алиньского литосферного блока по часовой стрелке является периодическая миграция сильных землетрясений Сахалина с севера на юг перед фронтом блока [Степашко, 2010]. Интересно, что вдоль юго-восточной границы Сихотэ-Алиньского литосферного блока обнаруживается миграция эпицентров землетрясений с востока на запад.

По сравнению с Буреинским орогеном интенсивность современного поднятия Сихотэ-Алиньского орогена значительно ниже. Более слабой в этой части региона является и сейсмическая активность. Эти различия, видимо, связаны с тем, что Амурская плита прямо воздействует только на Буреинское орогенное сооружение.

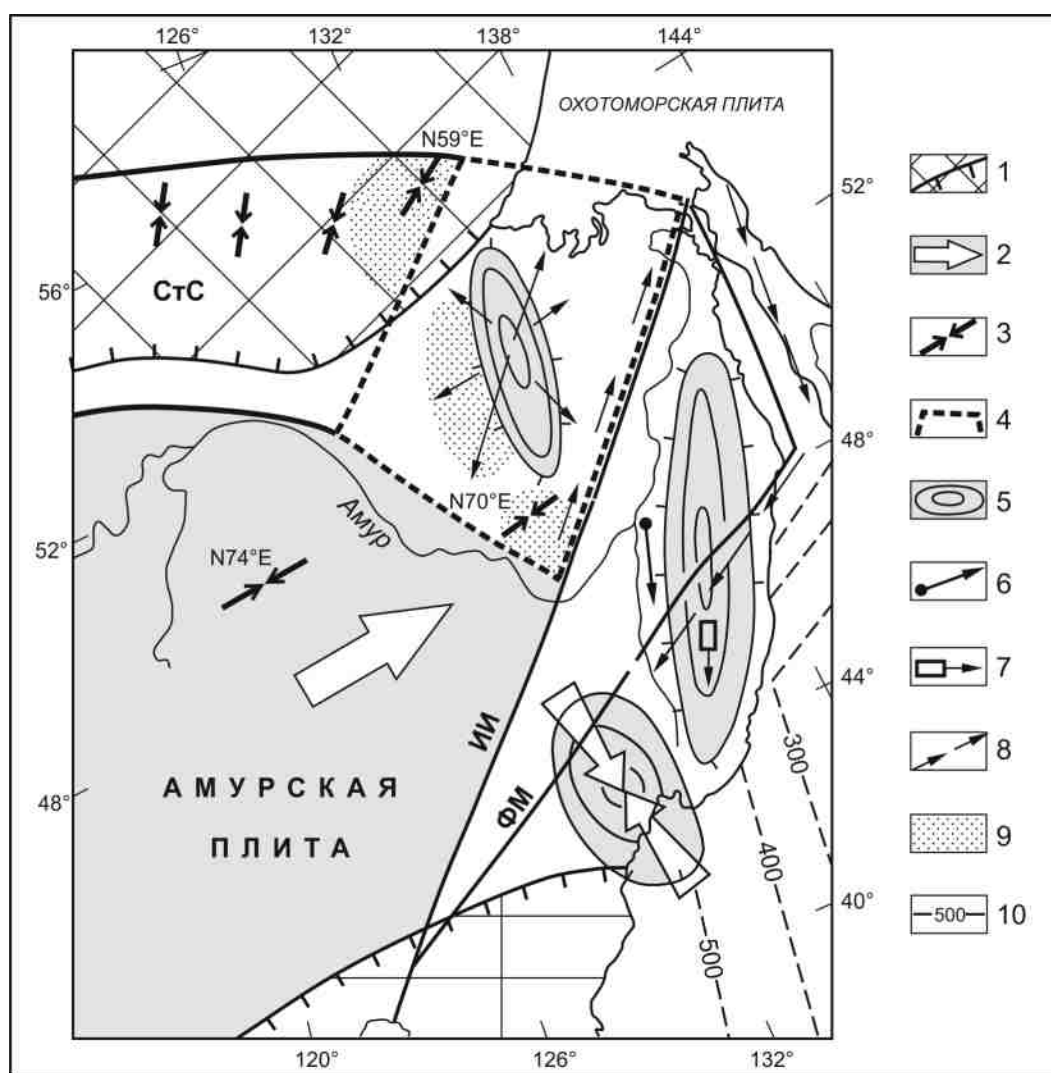


Рис. 2-6. Геодинамика и структура буферной зоны на восточном фронте Амурской плиты.

1 – Сибирский и Северо-Китайский кратоны и их границы; 2 – Амурская плита, стрелка показывает ее траекторию; 3 – направления сжатия в очагах землетрясений по [Ашурков и др., 2011; Barth, Wenzel, 2010]; 4 – границы Нижнеамурской коровой пластины; 5 – главные области сжатия: Буреинский и Сихотэ-Алиньский орогены, зона аномальной сейсмичности на глубине 500 км. Направления современных горизонтальных перемещений по GPS-данным: 6 – относительно пункта «Благовещенск» по [Ашурков и др., 2011]; 7 – остаточные значения векторов смещений по [Тимофеев и др., 2008; 2011]; 8 – траектории миграции землетрясений вдоль границ литосферного блока по [Степашко, 2011]; 9 – кластеры концентрации слабых землетрясений Нижнего Приамурья; 10 – изолинии глубины зоны субдукции в км. Илань-Итунский (ИИ) и Фущунь-Мишаньский (ФМ) разломы мегазоны Тан-Лу показаны как глубинные границы литосферного блока. СтС – Становой сектор буферной зоны Амурской плиты.

2.2.2. Сейсмическая активность, цикличность и миграция землетрясений на территории Нижнего Приамурья

Землетрясения Нижнего Приамурья обычно относятся к событиям слабой и умеренной интенсивности. Начиная с конца XIX века, в регионе было зафиксировано не-

сколько десятков толчков с магнитудой $M \geq 4.5$. В общем, эпицентральное поле Нижнего Приамурья имеет выраженный рассеянный характер (рис. 2-7А). Даже мегазоны Тан-Лу не находят определенного отражения в распределении эпицентров землетрясений. Структурная особенность площадного распределения проявляется в существовании трех кластеров эпицентров на западе

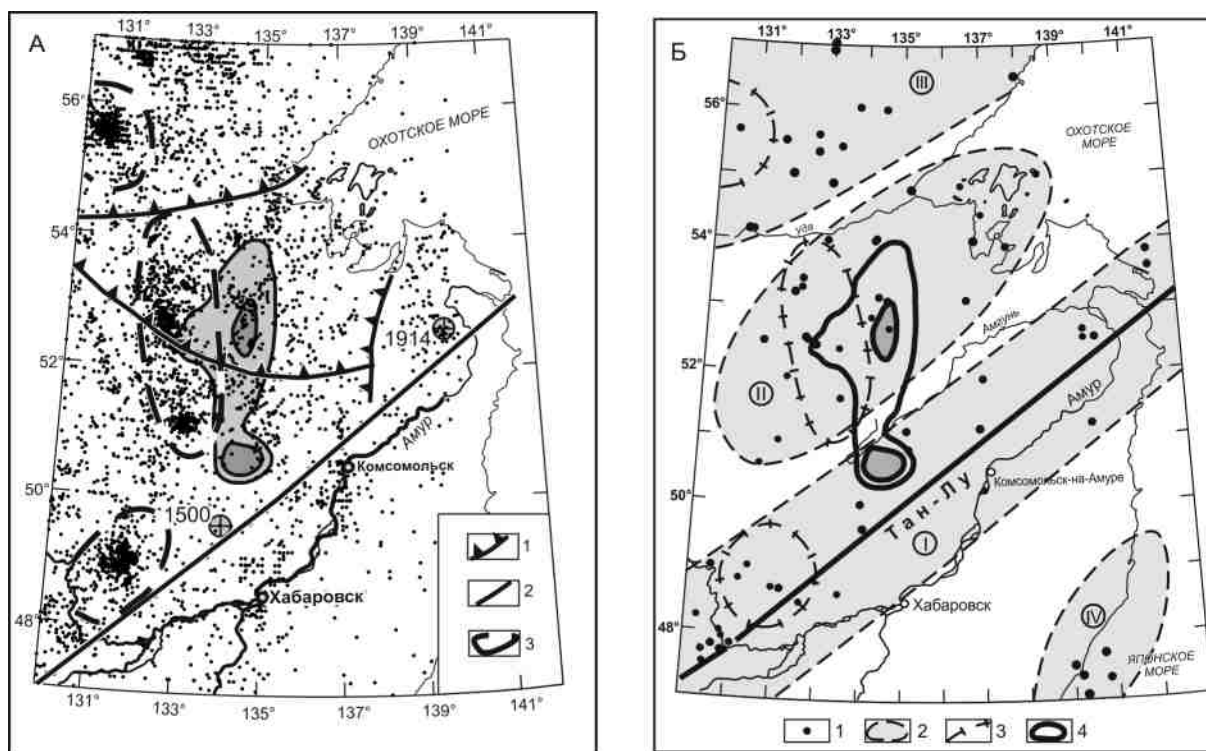


Рис. 2-7. Особенности эпицентрального поля Нижнего Приамурья.

А – вариации регионального распределения коровых землетрясений магнитудой $M > 2.0$ за период 1940-2011 гг., отдельно показаны эпицентры самых сильных толчков 1500 и 1914 гг. Серым тоном показана отрицательная аномалия гравитационного поля. 1 – границы Сибирского кратона и Монголо-Охотского тектонического пояса; 2 – мегаразлом Тан-Лу; 3 – три кластера концентрации землетрясений.

Б – зональность распределения сильных землетрясений.

1 – эпицентры землетрясений магнитудой $M \geq 4.5$ в период 1888-2011 гг.; 2 – сейсмические зоны I – Приамурская, II – Буреинская, III – восточной части Станового пояса, IV – Совгаванская; 3 – кластеры концентрации эпицентров; 4 – гравитационная аномалия, фиксирующая центр Буреинского орогена.

региона (рис. 2-7А). В первом приближении эти кластеры могут быть объединены в изогнутую на восток зону меридионального направления. Выделенные кластеры, в которых сосредоточены слабые землетрясения, обусловлены, по нашему мнению, геодинамически активными структурами Нижнего Приамурья (рис. 2-7А).

Основная сейсмичность буферной зоны хорошо проявлена в распределении наиболее сильных землетрясений магнитудой $M \geq 4.0$ (рис. 2-7Б). В южной части Дальнего Востока обнаруживаются четыре сейсмических зоны, две из которых расположены в Нижнем Приамурье. Первая зона – Приамурская – протягивается вдоль мегаразлома Тан-Лу и, очевидно, связана с ним генетически [Степашко, 2010; 2011]. Вторая зона – Буреинская – совпадает с главным север-

ным центром орогена, в котором происходит наиболее интенсивный подъем, и где расположена самая сильная отрицательная аномалия гравитационного поля. По количеству землетрясений магнитудой $M \geq 4.0$, зафиксированных за последние 100 лет, Буреинская зона не уступает Приамурской. Именно этим двум выделенным сейсмическим зонам отвечают южный и центральный кластеры эпицентрального поля (рис. 2-7Б), что подчеркивает единую природу сейсмической активности в регионе. Третий кластер, очевидно, соответствует сейсмической зоне, объединяющей толчки магнитудой $M \geq 4.0$, которая расположена на краю Сибирского кратона.

Анализ сейсмической зональности показывает, что воздымание Буреинского орогена является главным фактором образова-

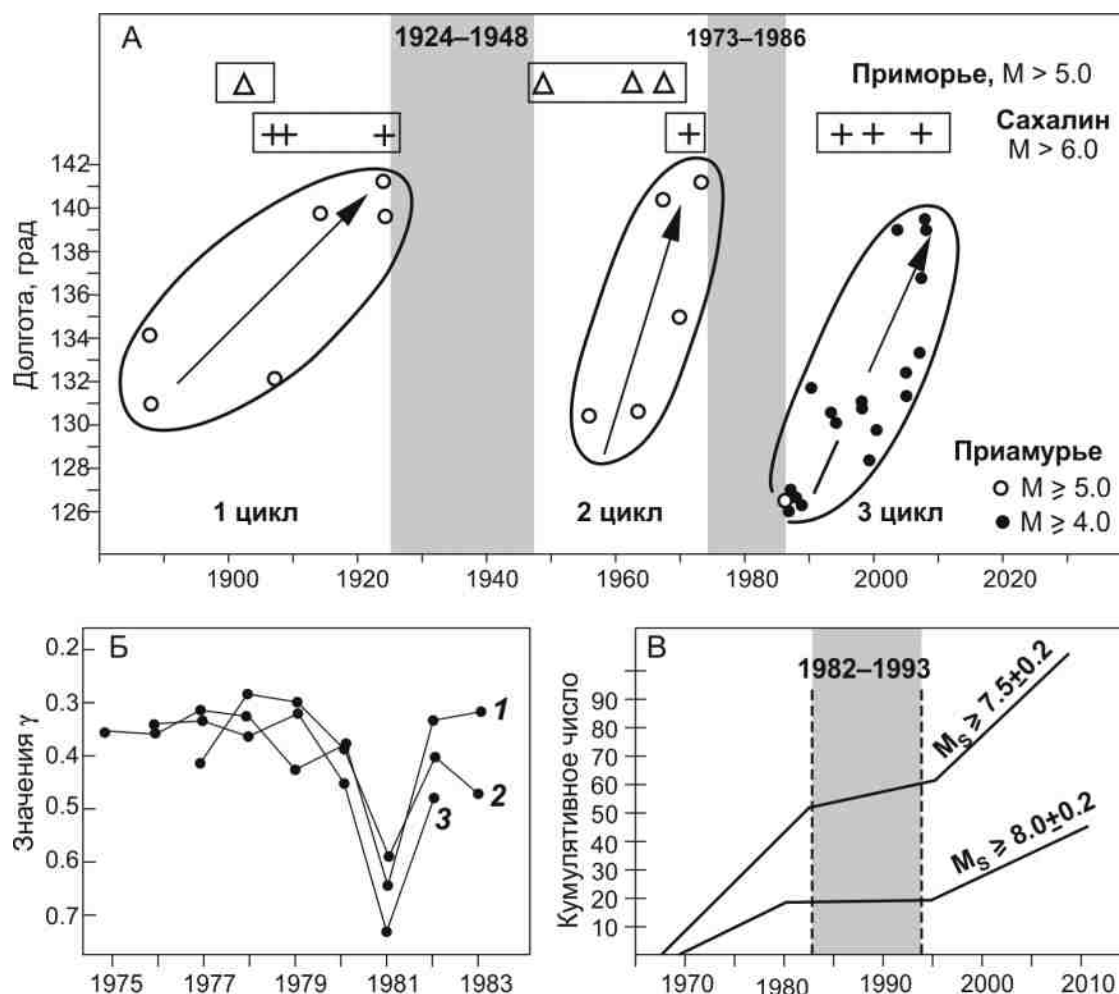


Рис. 2-8. Сейсмические циклы на территории южной части Дальнего Востока России.

А – три цикла сильных землетрясений в Приморской, Сахалинской и Приамурской зонах по [Степашко, 2011]. Стрелки показывают миграцию эпицентров с запада на восток в Приамурской сейсмической зоне.

Б – минимум выделения сейсмической энергии 1981 года на Дальнем Востоке, по Л.С. Оскорбину [Сейсмотектоника..., 1989]. Районы: 1 – Янкан-Тукурингра-Джагдинский, 2 – Турано-Буреинский, 3 – Становой.

В – планетарный минимум сейсмической активности для землетрясений двух диапазонов магнитуды в глобальной базе данных по [Уломов, 2007].

ния сильных землетрясений в центральной части Нижнего Приамурья. Периодическая вертикальная миграция, с глубины 30 км до 10 км, обнаруживается для сильных землетрясений XX века в мегазоне Тан-Лу [Степашко, 2010]. Процесс геодинамической активизации в регионе имеет, видимо, глубинную природу и деформации распространяются от основания коры в направлении земной поверхности.

С начала XX века в сейсмических зонах юга Дальнего Востока России (Приамурская, Приморская и Сахалинская) имели место

три цикла сейсмической активности [Степашко, 2011], в каждом из которых эпицентры сильных землетрясений мигрировали с запада на восток (рис. 2-8А). Последний цикл сейсмической активности в Приамурье начался в восьмидесятые годы, и, как показано в [Сейсмотектоника..., 1989], предшествовавшая ему пауза обнаруживается на графиках повторяемости землетрясений восточных районов буферной зоны Амурской плиты: Янкан-Тукурингра-Джагдинского, Турано-Буреинского и Станового (рис. 2-8Б). Минимум активности во

всех трех случаях приходится на 1981 год, что соответствует середине паузы 1973–1986 гг. в распределении сильных землетрясений.

Миграция сильных землетрясений в Приамурской сейсмической зоне имеет ключевое значение для понимания природы деформаций Сихотэ-Алиньского региона. Для событий, эпицентры которых сосредоточены вдоль Тан-Лу, выделяются три цикла, в каждом из которых сейсмическая активность систематически смещается с запада на восток (рис. 2-8А). Эти результаты исследования подтверждают доминирующее значение Амурской плиты в современной геодинамике Нижнего Приамурья (рис. 2-6), ее перемещение с запада на восток определяет высокий уровень напряженного состояния в Сихотэ-Алиньском регионе.

2.2.3. Основные выводы

Геодинамическая и сейсмическая активизация юго-восточной части Дальнего Востока России связана с возрождением и новообразованием деформационных зон в буферной зоне Амурской плиты при ее движении в северо-восточном направлении. Наиболее высокая коровая сейсмичность характерна для Нижнего Приамурья, в центральной части которого землетрясения магнитудой $M \geq 4.5$ формируют зону, связанную с реактивацией Буреинского орогена. Максимум регионального сжатия приурочен к меридиональному своду, под которым глубина Мохо возрастает от 36 до 40 км. Современный подъем орогена определяет миграцию сейсмичности в период 1980–2010 гг., когда эпицентры землетрясений магнитудой $M \geq 5.0$ мигрировали от центра свода к его периферии.

Сильные землетрясения ($M \geq 5.0$) сосредоточены также южнее Буреинского орогена в зоне трансрегионального разлома Тан-Лу, вдоль которой очаги мигрируют в северо-восточном направлении. Геодинамическая активизация здесь определяется вращением Амурской плиты, вызывающим смещение тектонического блока центрального Сихотэ-Алиня в южном направлении. Под действием растяжения к северу от этого

блока формируется коровая пластина размерами 500×1000 км, которая испытывает наклон вдоль разлома Тан-Лу. На противоположной границе центрального Сихотэ-Алиньского блока в области сжатия формируется одноименное горное поднятие. Блок, вращаясь по часовой стрелке, сталкивается с зоной субдукции Тихоокеанской плиты, где на глубине 400–600 км генерируются глубокофокусные землетрясения с магнитудой $M \geq 6.0$.

2.3. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ МИГРАЦИИ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВДОЛЬ СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ АМУРСКОЙ ПЛТЫ

Построение пространственно-временных моделей миграции сейсмичности основано на наблюдениях последовательной активизации фрагментов разломов и отдельных областей сейсмоактивных зон (кластеров). Здесь представлены результаты исследований динамики сейсмичности в пределах северной, северо-восточной и восточной границ Амурской плиты, где за период сейсмологических наблюдений зарегистрировано более 10000 внутриплитных землетрясений с магнитудой $M \geq 2$. Около 70 % общего количества землетрясений составляют события с магнитудами $2 \leq M \leq 4$. Восточная (о. Сахалин) и западная (Байкальская рифтовая зона) границы исследуемой территории относятся к зонам катастрофических сотрясений.

В ходе наших исследований установлено, что максимумы статистических распределений землетрясений в годовых циклах в последовательно расположенных сейсмических кластерах от Сахалино-Японской островной дуги до Байкальской рифтовой зоны смещаются во времени [Trofimenko et al., 2017].

2.3.1. Методика анализа и расчет параметров статистической модели

Модель динамики сейсмической активности построена на основе статистических распределений землетрясений в годовых

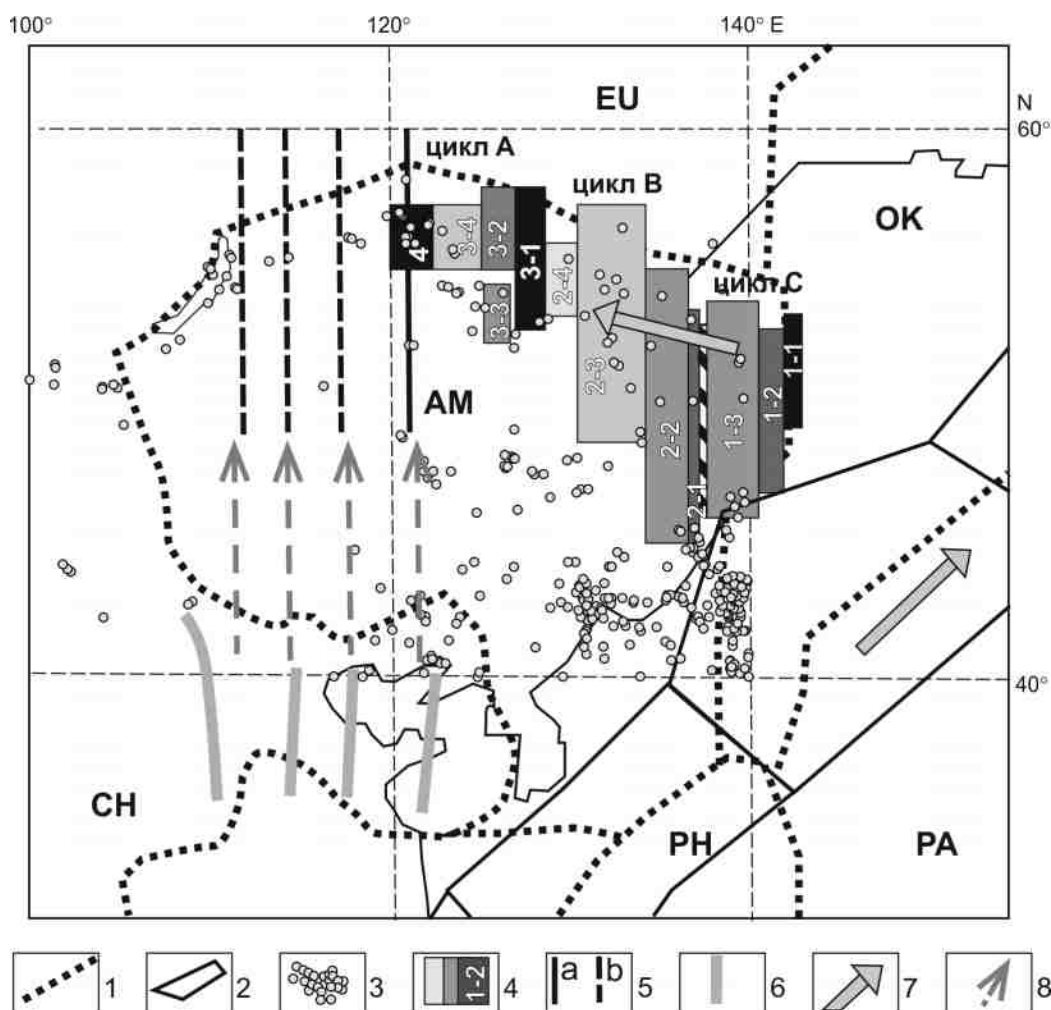


Рис. 2-9. Расположение кластеров в пределах северной, северо-восточной и восточной границ Амурской плиты

1 – границы плит и микроплит; 2 – сегменты Тихоокеанского сейсмического пояса по [Кузнецов, Кейлис-Борок, 1997]; 3 – эпицентры землетрясений с $M \geq 5$; 4 – кластеры с максимумом сейсмической активности в различные месяцы года; 5 – рассчитанные центры сейсмических зон: а – начальный, б – последующие; 6 – фронты деформационных зон [Wang, Zhang, 2005]; 7 – направление миграции сейсмической активности; 8 – продолжение границ фронтов деформационных зон [Wang, Zhang, 2005].

Литосферные плиты: EU – Евразийская, PA – Тихоокеанская, CH – Китайская, PH – Филиппинская, AM – Амурская, OK – Охотоморская.

реализациях. Основные положения методики анализа прохождения максимумов сейсмической активности по упорядоченным с востока на запад кластерам заключаются в следующем. Вся территория исследований разбивается на отдельные прямоугольные кластеры, преимущественно вытянутые вдоль меридианов (рис. 2-9). Для каждого кластера исходные каталоги сейсмических событий очищаются от афтершоков и роевых последовательностей, производится суммирование всех событий за весь инстру-

ментальный период (по каждому месяцу года) наблюдений в каждом кластере.

Далее выполняется процедура нормирования количества землетрясений по каждому кластеру на единичный интервал. Это связано с различным количеством попадающих в отдельный кластер землетрясений из-за их неравномерного распределения по территории. На следующем этапе для уменьшения случайных погрешностей проводится процедура сглаживания исходных данных в скользящем окне из трех

месяцев. Среднее значение, например, за декабрь-январь-февраль мы относим к середине января и т.д. В результате расчетов для каждого кластера определяется средний период прохождения максимума в днях от начала года, отнесенный к среднему значению долготы кластера. Данные величины используются для расчета скорости максимумов сейсмической активности.

На заключительном этапе моделирования пространственные соотношения максимумов сейсмической активности экстраполируются в зоны возможных максимальных деформаций за пределами изучаемой территории.

Анализ пространственного расположения кластеров (рис. 2-9) и статистические расчеты годовой активности по каждому кластеру (рис. 2-10) позволили выделить три подобных пространственно-временных цикла миграции максимумов сейсмической активности (А, В, С). В кластерах 1-1, 2-1, 3-1 и 4 максимум сейсмической активности относится к январю-февралю. При движении в западном направлении от указанных кластеров в каждом цикле А, В, С максимум последовательно проявляется в феврале-марте, марте-апреле и т.д.

На рис. 2-10 показаны гистограммы количества землетрясений по выделенным кластерам, нормированные на единичный интервал, и усредненные кривые в скользящем окне по три месяца. Данные представлены за двухлетние интервалы распределений. Максимумы сейсмической активности выделены черным цветом и соединены пунктирной линией. Пространственно-временные соотношения в распределениях землетрясений отражают синхронизацию максимумов сейсмической активности в годовых циклах через определенный пространственный интервал. Максимумы сейсмической активности в кластерах с синхронным про-

явлением отстоят в пространстве в среднем на $7.26 \pm 0.74^\circ$, что для диапазона исследуемых широт соответствует расстоянию в 360–420 км.

Среднее значение скорости смещения максимумов сейсмической активности по всей зоне равно $U_{A-C} = 0.0410^\circ/\text{сутки}$ с относительной погрешностью 14 % или $U_{A-C} = 16.26 \pm 2.27^\circ/\text{год}$. Для 56° северной широты это дает значение скорости смещения максимумов около 1000 км/год (2.7 км/сут).

2.3.2. Основные выводы о миграции сейсмических кластеров вдоль границы Амурской плиты

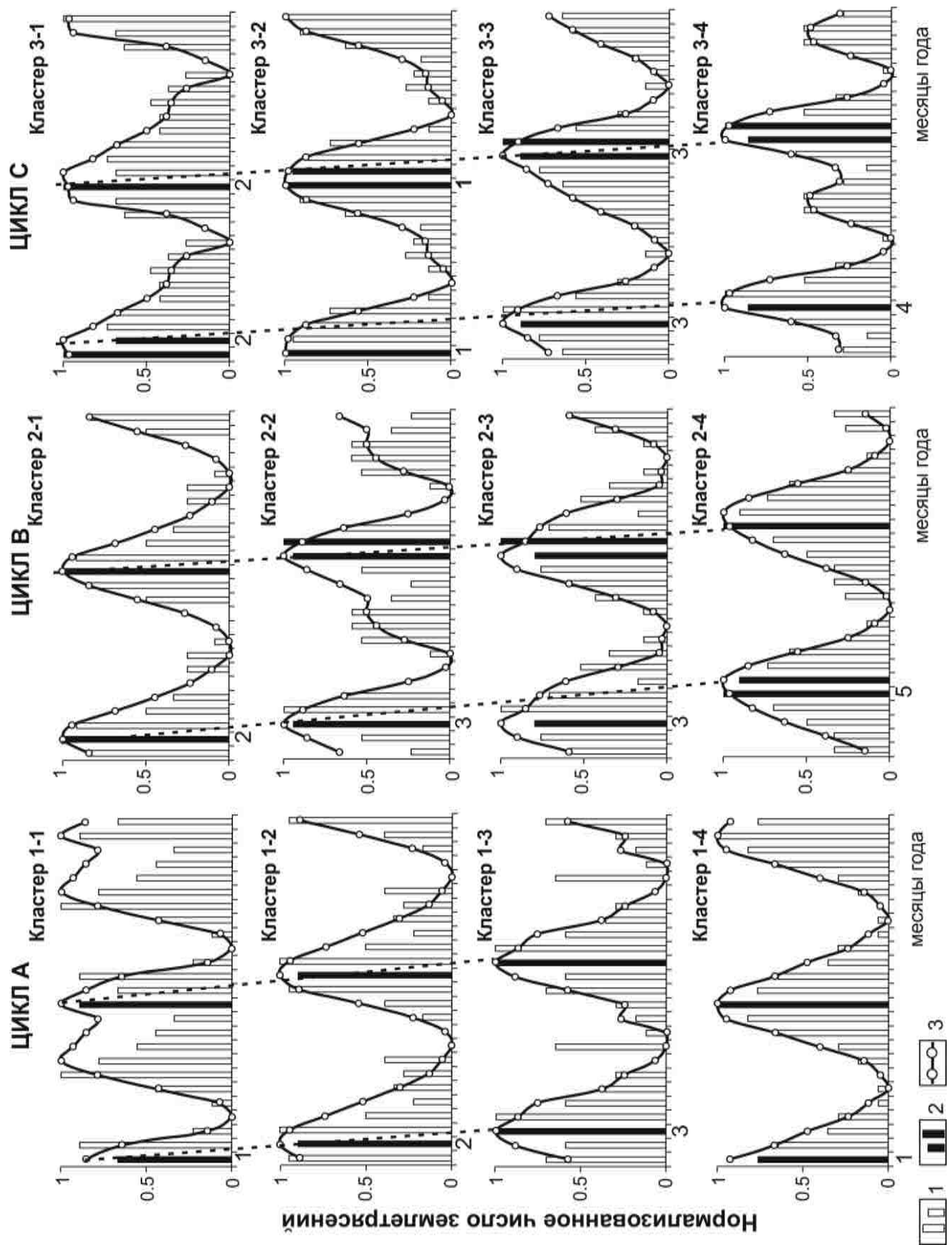
Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем. Установлено последовательное смещение максимумов сейсмической активности от Сахалино-Японской островной дуги до Байкальской рифтовой зоны (120° в.д.), т.е. в направлении восток-запад (рис. 2-9). Ранее [Шерман, 2014] определены векторы смещения сейсмической активности в северо-восточном сегменте Байкальской рифтовой зоны также в направлении восток-запад от 138° в.д. до 110° в.д. Миграция сейсмической активности происходит со скоростью 13 км/год. Независимое определение одинакового направления миграции сейсмической активности двумя различными методами дает основание утверждать, что "западный дрейф" сейсмичности от зоны субдукции до 110° в.д. действительно существует.

Имеются также сведения о распространении в сторону континента волны тектонических напряжений, генерируемой поддвигом Тихоокеанской плиты в зоне субдукции [Сапрыгин и др., 1997]. Отсюда следует, что именно зона субдукции является источником деформационных процессов, инициирующих миграцию сейсмичности.

Рис. 2-10. Годовые распределения количества землетрясений в кластерах (нормированы на единичный интервал)

Кластеры 1-1, 1-2, 1-3 – восточные границы пространственных циклов; кластер 4 – западная граница исследуемой территории (рис. 2-9).

1 – исходные данные; 2 – максимумы сейсмической активности; 3 – исходные данные, сглаженные в 3-х месячном окне.



Модель статистического распределения землетрясений дает скорость перемещения сейсмических кластеров 2.7 км/сут. или 16.2°/год. Пространственный период максимумов сейсмической активности равен 7.26° (360–420 км) и соответствует длине более медленной деформационной волны “сжатия-расширения”. Прямыми деформационными измерениями выявлена миграция деформаций земной коры из Японско-Курило-Камчатской зоны субдукции в сторону континента со скоростью порядка 10–100 км/год [Ishii et al. 1978; Kasahara 1979; Bella et al. 1990; Harada et al. 2003]. Кроме того, по данным [Шерман, 2007] в Байкальской рифтовой зоне скорость медленных волн деформации имеет такой же порядок и равна 10–20 км/год, а длина волны (250–450 км) сопоставима с выявленным пространственным периодом максимумов сейсмической активности.

Это дает основание утверждать, что перемещение фронта деформационной волны происходит в западном направлении и вызывает относительно слабую сейсмичность ($2 \leq M \leq 4$). Особенностью этой волны является то, что она, распространяясь со скоростью 2.7 км/сут. (~1000 км/год), модулируется более медленным волновым деформационным процессом со скоростью порядка 10–100 км/год. Таким образом, наблюдается явно выраженный волновой процесс амплитудной модуляции максимумов сейсмической активности.

И еще один значительный результат нашей пространственно-временной модели статистического распределения землетрясений вдоль северной границы Амурской плиты. В области, прилегающей к исследуемой территории, выделены три меридиональные зоны (знак 6 на рис. 2-9) в виде фронтов медленных деформационных волн, которые расположены на расстоянии в 4° друг от друга [Wang, Zhang, 2005]. Продолжение границ этих фронтов (знак 8 на рис. 2-9) вдоль меридианов в направлении на север совпадает с предсказанными нашей моделью зонами фронтов максимальных деформаций (знак 5 на рис. 2-9).

Таким образом, выявленные зоны максимальной сейсмической активности совпадают с расположением обнаруженных ранее меридиональных зон деформаций [Wang, Zhang, 2005] и деформационных зон, определенных по геофизическим полям [Трофименко, 2010]. Границы этих зон служат доказательством блоковой делимости земной коры с пространственным периодом 3.5–4° и отражают реальные волновые деформационные процессы в земной коре.

2.4. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА АМУРСКОЙ ПЛИТЫ В ДВУХ ФАЗАХ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Исследованием пространственно-временных распределений сейсмических событий установлена цикличность проявления сейсмичности как для Земли в целом [Mogi, 1979], так и в отдельных сейсмоактивных регионах [Андреева и др., 2009]. В качестве одной из возможных причин возникновения цикличности сейсмической активности называют эффекты, “связанные с неравномерностью обращения Земли вокруг своей оси” [Левин, Сасорова, 2015]. Неравномерность вращения Земли выявлена также во внутригодовых циклах [Сидоренков, 2004].

Одна из задач проекта состояла в исследовании зависимости пространственно-временного распределения землетрясений от фазы изменения модуля скорости вращения Земли и в выяснении причин группирования эпицентров землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в последовательность равноотстоящих однородных кластеров в направлении с востока на запад [Трофименко, Быков, 2017].

Следует отметить, что зависимость пространственного распределения землетрясений в двух фазах изменения модуля скорости вращения Земли (уменьшение-увеличение) нигде ранее не рассматривалась.

2.4.1. Пространственное моделирование сейсмического процесса в различных интервалах магнитуд

Как уже отмечалось в разделе 2.2, по результатам сейсмологического анализа в пределах зоны взаимодействия Евразийской и Амурской литосферных плит выделяются сейсмогенные буферные структуры, современная сейсмичность которых определяется землетрясениями с гипоцентрами на глубине от 5 до 70 км [Имаев и др., 2003; 2005].

Область наших исследований включала сегменты северной, северо-восточной и восточной границ Амурской плиты, западным ограничением которой выбрано Темулякит-Джелтулакское сгущение эпицентров землетрясений субдолготного простирания, контролируемая Темулякитскими (Олекминскими) системами разломов.

При проведении анализа сейсмичности использованы каталоги Байкальского (<http://www.seisbykl.ru>), Камчатского (<http://www.emsd.ru>) и Сахалинского [Региональный каталог ..., 2006] филиалов Геофизической службы РАН, Базы данных "Землетрясения России" (<http://eqru.gsras.ru/>), а также данные каталогов [Землетрясения России ..., 2007-2010; Землетрясения Северной Евразии ..., 1997-2004]. На исследуемой территории с координатами 44–60° с.ш. и 139–120° в.д. к обработке было принято 2384 землетрясения в интервале магнитуд $2 \leq M < 4$, 76 исторических и инструментальных событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ с глубиной гипоцентров $h < 60$ км.

Для построения пространственно-временных моделей по всему северо-восточному сегменту Амурской плиты землетрясения были объединены в группы по фазе изменения скорости вращения Земли. Оказалось, что одна группа землетрясений формируется в фазе уменьшения скорости в январе-марте и в июле-сентябре, а вторая – в фазе увеличения скорости вращения Земли в апреле-июне и в октябре-декабре.

Для проверки предполагаемой зависимости региональной сейсмичности от фазы изменения скорости вращения Земли был

проведен расчет числа землетрясений с магнитудой $2 \leq M < 4$ при группировании событий на спусках и подъемах, минимумах и максимумах кривой скорости вращения. Суммирование числа землетрясений проводилось за январь–март + июль–сентябрь (1-3 + 7-9) и далее со сдвигом на один месяц. Таким образом, всего получено шесть значений выборки числа землетрясений. Распределение количества землетрясений в данном интервале магнитуд показано на рис. 2-11. Расчеты количества землетрясений по двум трехмесячным интервалам в различных фазах изменения скорости вращения Земли показали, что максимум сейсмичности проявляется в зимне-летний период, минимум – в весенне-осенний. Сейсмичность увеличивается при уменьшении модуля скорости вращения Земли (рис. 2-11), а достигает минимума в периоды увеличения скорости.

Цифры горизонтальной оси диаграммы – цифровые идентификаторы месяца года. Цифры внутри диаграммы – месяцы года, для которых производится суммирование числа землетрясений. Кривая на диаграмме – график изменения модуля горизонтальной скорости движения блока (изменения модуля скорости вращения Земли). 1 – относительное количество землетрясений; 2 – изменение модуля скорости.

Землетрясения с магнитудой $5 \leq M < 6$ были объединены в две группы по фазам уменьшения и увеличения модуля скорости вращения Земли. Известно, что при увеличении модуля скорости происходит сжатие, а при уменьшении – растяжение земной коры [Фридман и др., 2005]. Таким образом, можно считать, что землетрясения сгруппированы по двум фазам "сжатие-расширение" Земли. На рис. 2-12 представлено пространственное распределение эпицентров землетрясений с магнитудой $5 \leq M < 6$. Землетрясения сгруппированы по временным интервалам в 6 месяцев: "январь–март + июль–сентябрь" (фаза расширения) и "апрель–июнь + октябрь–декабрь" (фаза сжатия).

В первом приближении группы землетрясений в одинаковой фазе изменения модуля скорости разделены прямыми линия-

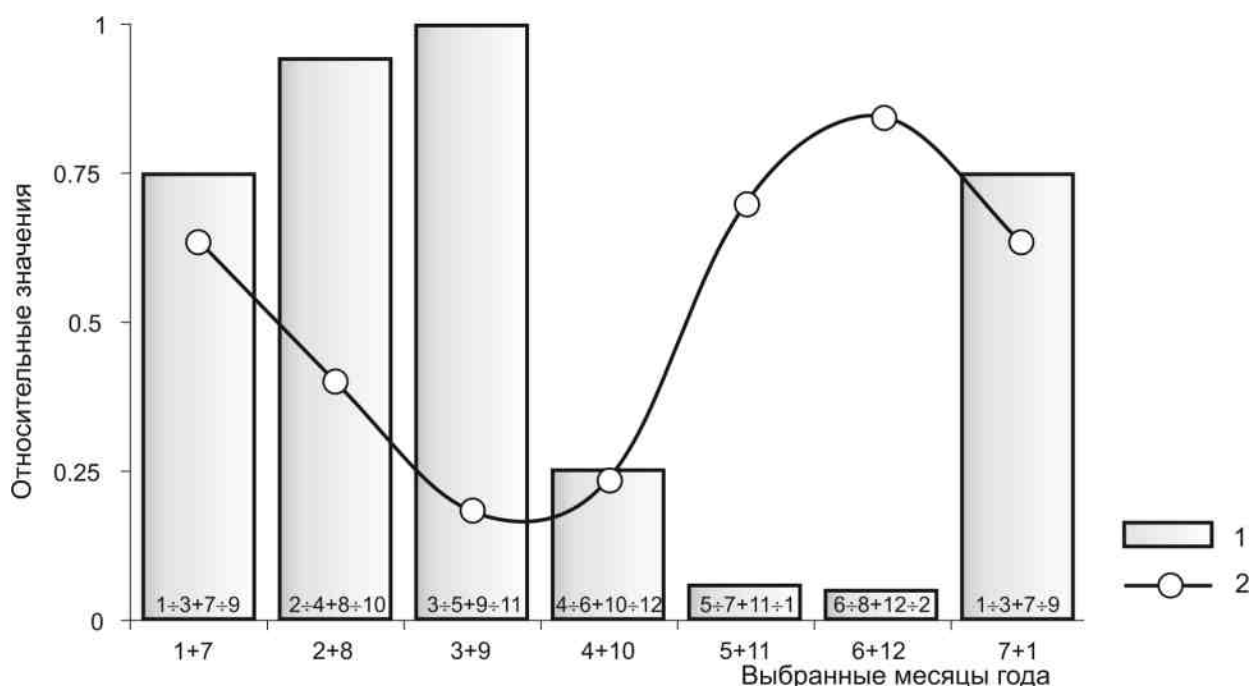


Рис. 2-11. Распределение относительного количества землетрясений с $2 \leq M < 4$ по фазам изменения модуля скорости горизонтального смещения блока

Цифры горизонтальной оси диаграммы – цифровые идентификаторы месяца года. Цифры внутри диаграммы – месяцы года, для которых производится суммирование числа землетрясений. Кривая на диаграмме – график изменения модуля горизонтальной скорости движения блока (изменения модуля скорости вращения Земли).

1 – относительное количество землетрясений; 2 – изменение модуля скорости.

ми. В I зону попадает шесть землетрясений фазы "расширения" и одно – фазы "сжатия", т.е. соотношение землетрясений с разными фазами равно 6:1. В тектоническом отношении этот сейсмический кластер объединяет в основном разломы восточного замыкания зоны Тан-Лу северо-восточного простирания. Для II зоны соотношение событий с разными фазами равно 12:2. Данный сейсмический кластер объединяет разломы системы Тан-Лу и субширотные структуры Станового краевого шва. Для III и IV зон соотношение событий с разными фазами равно 12:0 и 11:3, соответственно. Здесь присутствуют разломы северо-восточной, северо-западной, субширотной и меридиональной ориентировок. Западный кластер граничит с восточным замыканием Байкальской рифтовой зоны.

Особенность пространственного распределения сейсмичности заключается в том, что расстояние между зонами группирования землетрясений (кластерами) вдоль

северной границы Амурской плиты в разных фазах изменения модуля скорости вращения Земли составляет в среднем $3.5-4^\circ$. Эта величина равна половине пространственного периода (цикла) протяженностью в 7.26° , в котором для интервалов магнитуд $2 \leq M < 4$ максимумы сейсмичности сменяются минимумами.

2.4.2 Основные выводы о пространственно-временных характеристиках сейсмического процесса в пределах северо-восточного сегмента Амурской плиты

В данном исследовании представлены пространственно-временные корреляционные модели сейсмичности территории северо-восточного сегмента Амурской плиты, выявлены особенности динамики сейсмического процесса и установлено группирование землетрясений по фазам изменения

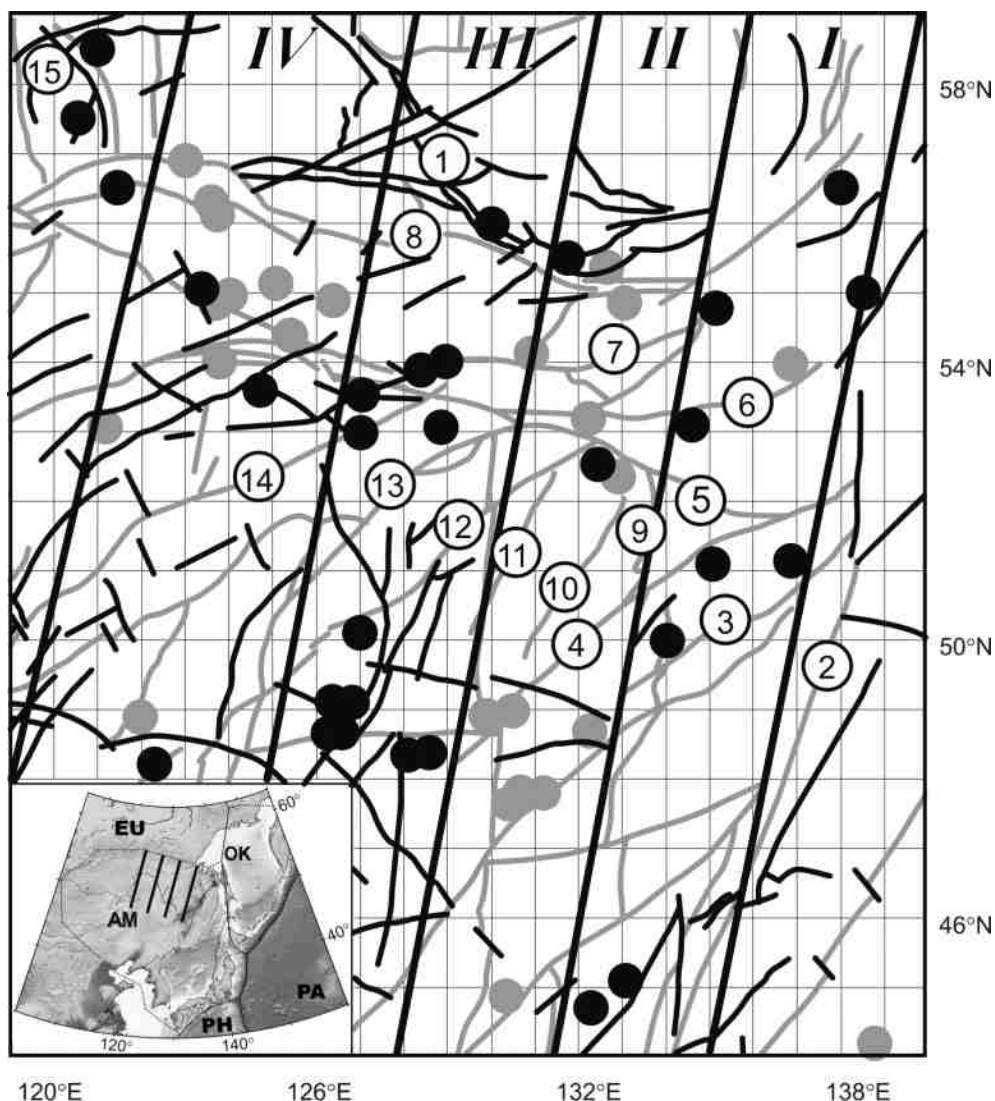


Рис. 2-12. Пространственное распределение эпицентров землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ в северо-восточном сегменте Амурской плиты

I-IV – области группирования землетрясений в фазах "сжатия-расширения" земной коры. Темные кружки – землетрясения в фазе замедления вращения Земли (расширение Земли), светлые – в фазе ускорения (сжатие Земли).

Цифрами в кружках обозначены основные известные разломы различной кинематики из системы Станового структурного шва и системы Тан-Лу: 1 – Тыркандинский, 2 – Центрально-Сихотэ-Алиньский, 3 – Ишу-Харпинский, 4 – Хинганский, 5 – Пауканский, 6 – Тугурский, 7 – Северо-Тукурингский, 8 – Становой, 9 – Тастахский, 10 – Мельгинский, 11 – Западно-Туранский, 12 – Селемджинский, 13 – Буссе-Норский, 14 – Синлунгоу, 15 – Темулякитский.

На вставке – схема взаимодействия литосферных плит на Северо-Востоке Азии с указанием расположения кластеров землетрясений. EU – Евразийская, PA – Тихоокеанская, PH – Филиппинская, ОК – Охотская, AM – Амурская литосферные плиты.

скорости вращения Земли в течение годового цикла.

Из анализа статистических распределений сейсмичности на меридианах ~ 136 E, ~ 128 E и ~ 121 E следует, что максимумы кривых сейсмичности для землетрясений

с магнитудами $2 \leq M < 4$ сменяются минимумами, то есть наблюдается инверсия сейсмичности. В пределах указанных меридианов формируется пространственный цикл из групп землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ в двух фазах изменения скоро-

сти вращения Земли. Причем, на восточных границах кластеров отмечается прямая зависимость между изменением скорости и сейсмичностью с максимумом коэффициента ранговой корреляции. В западном направлении коэффициент ранговой корреляции уменьшается и на западной границе первого цикла стремится к -1, т.е. два процесса развиваются в противофазе с запаздыванием сейсмичности на 3 месяца.

Для землетрясений с магнитудами $2 \leq M < 4$ определена ранговая корреляция между динамикой сейсмичности северо-восточного сегмента Амурской плиты, его отдельных кластеров и изменением скорости вращения Земли. Максимальное значение коэффициента ранговой корреляции относится к восточным границам выделенных циклов и повторяется в среднем через 7.26° . Несовпадение динамики числа землетрясений в интервалах магнитуд $2 \leq M < 4$ и изменения модуля угловой скорости вращения Земли (рис. 2-11) означает, что изменение модуля скорости опережает изменение сейсмичности.

Для землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ определены пространственные циклы в виде кластеров «сжатия-расширения», сформированных в двух фазах изменения скорости вращения Земли и расположенных в виде последовательности протяженных зон, отстоящих друг от друга в среднем на $3.5-4^\circ$. Границы зон «сжатия-расширения» в целом совпадают с границами зон инверсии сейсмичности для землетрясений с магнитудами $2 \leq M < 4$.

Из результатов моделирования следует, что установленный характер группирования землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ в различные периоды изменения скорости вращения Земли не является случайным, а отражает воздействие на геологическую среду периодических деформационных процессов, инициированных неравномерным вращением Земли вокруг своей оси.

В пределах одного пространственного цикла запаздывание максимумов сейсмичности относительно максимумов модуля скорости вращения Земли можно объяснить последовательным колебанием и взаимодействием блоков земной коры. Однако,

синхронное увеличение сейсмичности на восточных границах кластеров означает, что блоки более высокого порядка (в границах выделенных кластеров) взаимодействуют попарно, что возможно при воздействии на геологическую среду периодического возмущения с пространственным периодом, равным протяженности кластера (360–420 км). Таким возмущением могут являться медленные длиннопериодные волны деформаций (см. раздел 2.3). Движение блоков, вызванное деформационной волной, приводит к изменению или перераспределению энергии упругих деформаций в ансамбле блоков и, как следствие, к изменениям характеристик (направленности, положения максимума активности) сейсмического процесса.

2.5. АКТУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СИХОТЭ-АЛИНЬСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Исследуемый регион расположен на стыке Тихоокеанского и Центрально-Азиатского сейсмоактивных поясов. Проведенные в последние годы палеосейсмологические исследования позволили оценить характер голоценовых смещений для некоторых основных структур региона. Задача по выявлению новых зон и периодов сейсмической активизации является актуальной для всего Приамурья.

Известно, что Приамурье – сейсмоактивный регион, однако сейсмический режим этого региона изучен слабо. Макросейсмические сведения о землетрясениях Приамурья имеются за последние 150 лет, а инструментальные сейсмологические наблюдения начаты в середине XX столетия, тогда как повторяемость сильных землетрясений может достигать нескольких сотен и тысяч лет. В исследовании сейсмичности Приамурья были достигнуты очевидные успехи [Имаева и др., 2015; Никифоров и др., 2006; Сейсмотектоника..., 1989; Оскорбин, 1997], но по-прежнему остаются неясными основные черты позднечетвертичного тек-

тонического развития региона, определяющие уровень сейсмической активности.

Палеосейсмологические исследования и сейсмическое моделирование определяют пороговую среднюю величину эндогенной опасности изучаемого региона во временных интервалах в сотни и тысячи лет. Одной из задач уточнения прогнозных оценок сейсмических воздействий в короткопериодных временных интервалах является исследование динамики сейсмического процесса под воздействием внешних периодических возмущений на геологическую среду, в частности, влияния деформационных волн и неравномерного вращения Земли на сейсмический процесс (см. разделы 2.3 и 2.4).

В ходе выполнения проекта проведен анализ результатов палеосейсмологических исследований активных разломов Приамурья, на основе новых данных о магнитудном потенциале сейсмогенерирующих структур, о магнитудах исторических и инструментальных землетрясений и оценки сейсмического воздействия сильных глубокофокусных землетрясений. Показано, что при оценке сейсмической опасности необходимо учитывать динамику сейсмического режима, обусловленную изменением глубины очага землетрясения. Установлено, что в различных фазах изменения скорости вращения Земли в течение года, эпицентры землетрясений с магнитудами $5 \leq M \leq 6$ образуют непересекающиеся сейсмические области. Совместно с сотрудниками ИФЗ РАН проведено моделирование сейсмической опасности на основе разрабатываемой пространственно-временной модели сейсмической активизации по инструментальным и историческим землетрясениям [Овсяченко и др., 2018].

2.5.1. Основные позднекайнозойские тектонические структуры и некоторые результаты палеосейсмологических исследований в зонах активных разломов Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий

Одной из основных задач современных геолого-геофизических и палеосейсмологи-

ческих исследований Приамурья является выявление и всестороннее изучение конкретных геологических структур, ответственных за возникновение землетрясений разной силы. К структурным образованиям позднекайнозойской тектоно-магматической активизации относятся орогенные сооружения (Сихотэ-Алиньское и Баджало-Буреинское), вулканические пояса (Западно- и Восточно-Сихотэ-Алиньский), а также протяженные цепи впадин, объединяемые в Уссурийско-Охотскую систему (рис. 2-13). Впадины наложены на Сихотэ-Алиньскую мезозойскую складчатую систему и Ханкайско-Буреинский кристаллический массив.

С сеймотектонической точки зрения изучены Баджало-Буреинское поднятие [Сеймотектоника..., 1989; Николаев и др., 2000], Сихотэ-Алинь в пределах Приморского края [Олейников, Олейников, 2009] и отчасти отрезок Уссурийско-Охотской системы впадин на территории Китая. Менее всего изучены новейшие и современные тектонические процессы в пределах Сихотэ-Алиньского поднятия и Уссурийско-Охотской системы впадин.

Сихотэ-Алиньское орогенное поднятие, расположенное к востоку и северо-востоку от Уссурийско-Охотской системы впадин, рассматривается как плечо (противоподнятие) сложной единой рифтовой системы Япономорской впадины и Татарского пролива [Уфимцев и др., 2009]. Как новейшее поднятие Сихотэ-Алиньский ороген оконтуривается субмеридиональным линейным ареалом вскрытых эрозией массивов олигоценых гранитоидов и вулкано-тектоническими структурами неогенового возраста [Салун, 1978]. На инструментальном этапе наблюдений землетрясения происходили в основном в прибрежных районах Сихотэ-Алиня [Леонов и др., 1977; Органова, 1982].

Баджало-Буреинское орогенное поднятие включает ряд горных хребтов и узких впадин, выполненных континентальными кайнозойскими отложениями. На южной окраине Верхнеамгуньской молодой тектонической впадины, в центральной части Баджало-Буреинского поднятия, произошло Баджальское землетрясение 29.08.1970 г. ($\varphi = 51.1^\circ \text{ N}$, $\lambda = 135.1^\circ \text{ E}$, $M = 5.5$, $h =$

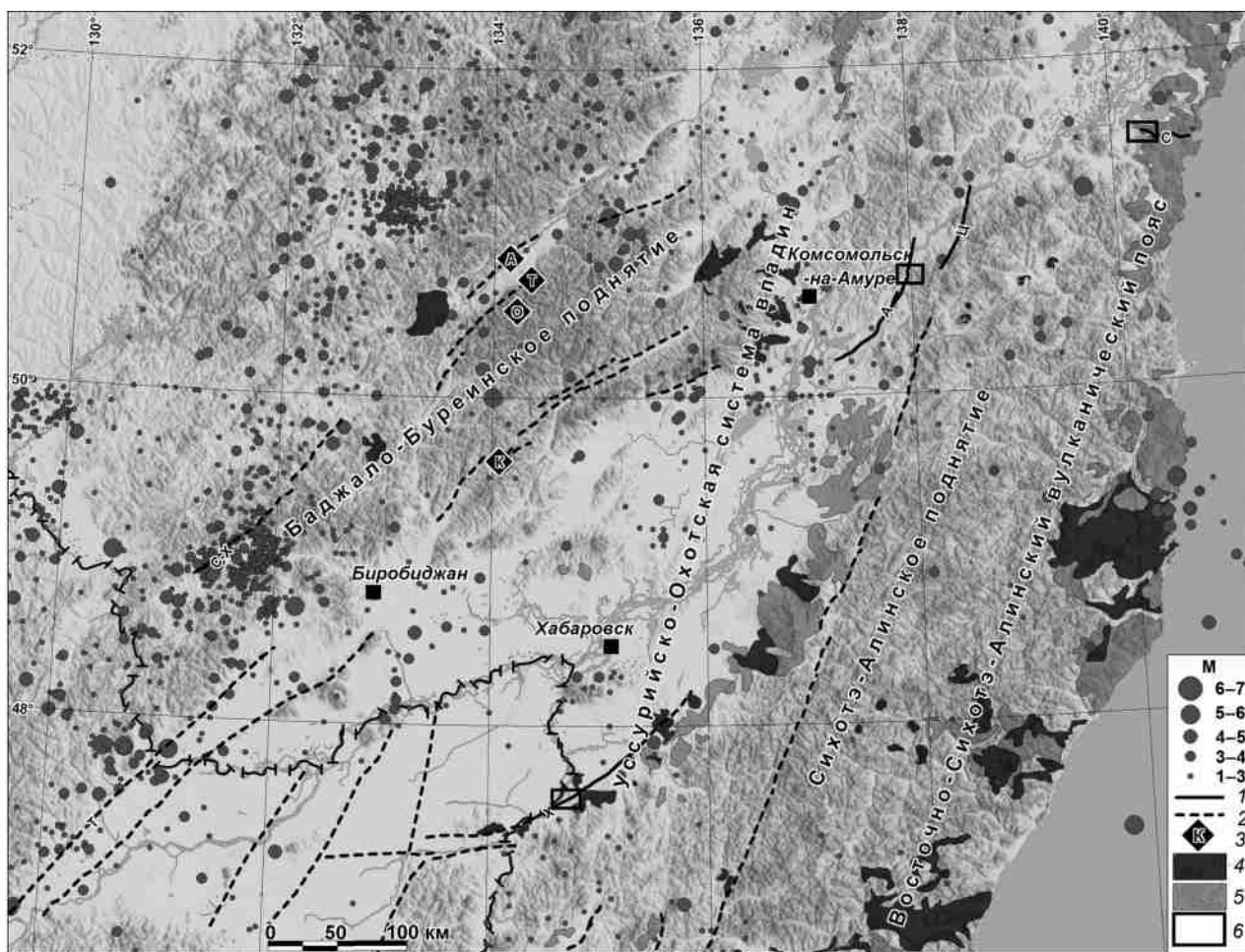


Рис. 2-13. Позднекайнозойские структуры и эпицентры землетрясений Приамурья

1, 2 – активные разломы по дистанционным и литературным [Забродин и др., 2015] данным; 3 – палеосейсмодислокации (А – Амгунь, Т – Талиджак, О – Омот, К – Кукан) [СейсмоTECTоника..., 1989]; 4, 5 – позднемиоцен-плиоценовые (4) и позднеплиоцен-четвертичные (5) вулканические поля [Сахно, 2008]; 6 – участки палеосейсмологических исследований.

20 км). Согласно решению механизма очага, обе нодальные плоскости имеют северо-восточную ориентировку и взбросо-сдвиговую кинематику смещений [СейсмоTECTоника..., 1989]. Сдвиговые смещения с компонентой взброса устанавливаются и по более поздним определениям механизмов очагов землетрясений в интервале магнитуд $4 \leq M \leq 5$ [Barth, Wenzel., 2010]. Южнее, активные структуры Баджало-Буреинского поднятия объединяются в зону разлома Тан-Лу, которая по решениям механизмов очагов землетрясений является правосдвиговой [Liu et al., 2007].

Крупнейшие активные структуры региона – зона разломов Тан-Лу (с ее севе-

ро-восточным продолжением), Уссурийско-Охотская система впадин и зона Центрально-Сихотэ-Алинского разлома [Забродин и др., 2015].

Центрально-Сихотэ-Алинский разлом является крупнейшей разрывной структурой Дальнего Востока. Основные горизонтальные перемещения величиной 60-200 км по разлому произошли в позднем мелу [Иванов, 1972]. Последующие вертикальные смещения от сотни метров до первых километров фиксируются деформациями верхнемеловых-палеогеновых отложений [Забродин и др., 2015]. Согласно [Уфимцев, 1984], на неотектоническом этапе смещения по разлому имели и левосдвиговую ки-

нематику. GPS-наблюдения в течение 2003–2006 гг., также показали левосторонние смещения со скоростью порядка 1.5 мм/год [Тимофеев и др., 2008]. В то же время, по данным структурного анализа для разлома предполагается правосдвиговая кинематика молодых смещений [Кожурин, 2013].

Палеосейсмологические исследования проводились на самом южном и северном флангах Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома. Ранее на южном отрезке (долина р. Киевка) был обнаружен и обследован активизированный в голоцене сегмент протяженностью около 20 км [Овсюченко и др., 2013]. На севере, в бассейне р. Гур, зона разлома расщепляется, образуя структуру типа «конского хвоста», характерную для замыканий крупных сдвигов. В долине р. Амур разлом сопровождается четким уступом на поверхности террас, внутреннее строение которого было изучено в долине небольшого правого притока р. Амур [Овсюченко, 2009]. По данным радиоуглеродного датирования пойменных отложений и почвы подвижка с вертикальной амплитудой 35–40 см произошла примерно 800–900 лет назад. Согласно установленному эмпирическому соотношению [Wells, Coppersmith, 1994] – подвижка по разрыву → магнитуда землетрясения – сила палеоземлетрясения была примерно 6.5 (M_w).

Система разломов Тан-Лу расщепляется в пределах региона на серию субпараллельных разломов (Куканский, Курский, Амгуньский, Хинганский), контролирующая местоположение небольших кайнозойских впадин [Стрельцов, Рождественский, 1995]. Разломы образуют две основные системы – Курскую и Хинганско-Амгуньскую.

Детально изучен Сутарский сегмент Амгуньского разлома [Овсюченко и др., 2013]. В районе пос. Известковый прослежен ярко выраженный уступ в разнородных и разновозрастных формах рельефа длиной около 12 км. Детальное изучение разреза в канаве, пройденной через уступ, показало, что он образовался в результате взбросовой подвижки амплитудой около 2 м, что примерно соответствует магнитуде землетрясения $M_w \sim 7.0$ [Wells, Coppersmith, 1994].

2.5.2. Структура и динамика современной и исторической сейсмичности Приамурья

Современная сейсмичность Приамурья в значительной мере определяется активностью системы разломов Тан-Лу северовосточного простираения [Забродин и др., 2013]. Вдоль этих разломов расположены эпицентры крупнейших землетрясений района, выявлены следы древних землетрясений (палеосейсмодислокации) с магнитудами в интервале $6.1 \leq M \leq 6.8$, протягиваются отчетливо выраженные в рельефе тектонические уступы [Сейсмогеология..., 1989].

На территории Китая правосторонние движения по разломам системы Тан-Лу проявились в серии катастрофических землетрясений. Среди них следует отметить события 13.06.1888 г. ($M = 7.5$), 18.07.1969 г. ($M = 7.4$), 4.02.1975 г. ($M = 7.3$) [Deng et al., 2003]. В северной части Китая и в России к разломам системы Тан-Лу приурочены землетрясения с магнитудами $5 \leq M \leq 6$. С Курским разломом связаны землетрясения 23.08.1888 г. ($M = 5.5$), 11.03.1924 г. ($M = 5.6$) и два очага в пограничном с Китаем районе: 04.10.1888 г. ($M = 5.0$) и 21.06.1963 г. ($M = 5.3$) [Сейсмогеология..., 1989]. На линиях Курского и Амгуньского разломов выявлены 4 палеосейсмодислокации, а также грандиозные обвалы.

Все сейсмические события Приамурья подразделяются на две принципиально различные группы – глубоководные (с глубиной очага от 100 до 600 км) на юге и юго-востоке, и мелкофокусные (коровые) по всей территории [Диденко и др., 2017; Левин и др., 2008] (рис. 2-14). Эти группы землетрясений по-разному проявляются на земной поверхности. Глубоководные землетрясения происходят относительно часто (табл. 2-2), однако, на земной поверхности они, в силу своей большой глубины, проявляются слабо.

Землетрясения с глубиной гипоцентров менее 10 км (мелкофокусные) составляют около 10 % от общего количества событий. Однако неглубокое землетрясение, даже при небольшой магнитуде (4–5), вызыва-

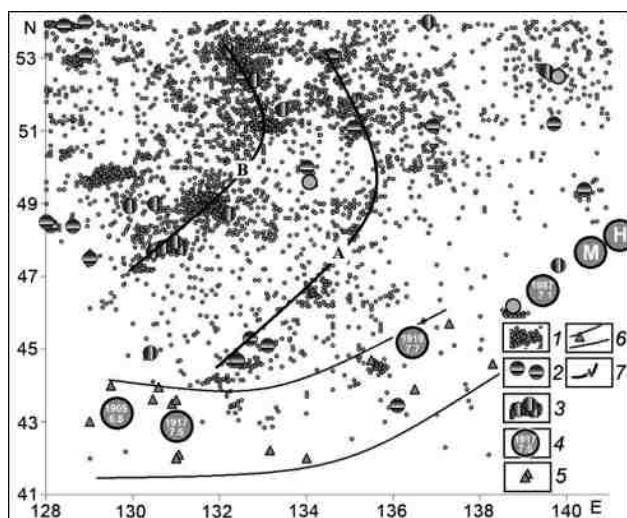


Рис. 2-14. Схема распределения эпицентров землетрясений Сихотэ-Алиньского и Баджало-Буреинского орогенов и обрамляющих территорий.

1 – эпицентры землетрясений с магнитудой $2 < M < 5$; 2 – эпицентры землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в фазе замедления вращения Земли в годовом цикле; 3 – эпицентры землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в фазе ускорения вращения Земли в годовом цикле; 4 – эпицентры землетрясений во всем интервале с магнитудами $M \geq 6$; 5 – глубокофокусные землетрясения; 6 – область глубокофокусных землетрясений; 7 – сейсмолинеаменты: А – фазы замедления вращения Земли; В – фазы ускорения вращения Земли.

Таблица 2.2.

Глубокофокусные землетрясения с магнитудой $M \geq 6.7$ южного и юго-восточного обрамления Сихотэ Алиньского орогена

год	месяц	день	час	минуты	долгота, гр.	широта, гр.	глубина, км	магнитуда (M)	расчетный балл, (I_0)
1905	3	17	18	45	142.00	42.00	100	7.2	6.2–7.0
1905	8	25	9	46	129.00	43.00	470	6.8	3.0–4.1
1908	4	19	7	58	134.00	42.00	480	7.0	3.3–4.4
1915	3	17	18	45	142.00	42.00	100	7.2	6.2–7.0
1917	7	31	3	23	131.00	42.50	460	7.5	4.1–5.2
1918	1	30	21	18	136.50	45.40	350	7.7	4.9–5.9
1918	4	10	2	3	130.90	43.50	550	7.2	3.4–4.5
1931	2	20	5	33	135.50	44.70	350	7.3	4.3–5.3
1932	9	23	14	22	138.30	44.60	305	7.2	4.4–5.4
1932	11	13	4	46	136.50	43.90	310	7.3	4.5–5.5
1937	4	29	20	18	137.30	45.70	380	6.7	3.2–4.3
1940	7	10	5	49	131.00	43.60	580	7.3	3.4–4.6
1942	3	5	19	48	141.70	44.40	250	7.0	4.4–5.3
1946	1	11	1	1	129.50	44.00	580	7.2	3.3–4.4
1957	1	3	12	48	130.60	43.95	570	7.4	3.6–4.7
1959	10	29	14	30	131.06	42.86	535	6.7	2.7–3.8
1969	4	10	14	54	131.06	42.10	560	6.8	2.8–3.9
1973	9	29	0	44	131.00	42.00	600	7.2	3.2–4.4
1973	9	29	0	44	131.00	42.00	600	7.9	4.3–5.4
1973	9	29	0	44	131.00	42.00	600	6.7	2.5–3.6
1981	5	8	23	34	139.20	42.60	225	7.0	4.6–5.5
1981	11	27	17	21	131.00	43.10	500	6.9	3.1–4.2
1987	5	7	3	5	139.43	46.69	451	7.1	3.6–4.6
1994	7	21	18	36	133.16	42.22	495	6.8	3.0–4.0
1999	4	8	13	10	130.46	43.62	570	6.7	2.6–3.7

ет сильный макросейсмический эффект (до 7–8 баллов в эпицентре) на очень небольшой территории радиуса.

Период 1970–1985 гг. выделения сейсмической энергии в верхнем сейсмоактивном слое земной коры Приамурья можно охарактеризовать как период наибольшей сейсмической опасности. Это означает, что в задачах прогноза сейсмических воздействий от сильных землетрясений необходимо учитывать параметр глубины землетрясений, точность определения которой существенно влияет на итоговые оценки. Наши построения показывают также, что на динамику сейсмического режима восточного Приамурья оказывают существенное влияние землетрясения, произошедшие в зонах Восточно-Сихотэ-Алиньского и Западно-Сахалинского разломов [Ломтев и др., 2007; Ломтев, 2010].

2.5.3. Оценка влияния периодических возмущений на сейсмичность Приамурья

На рис. 2-14 показано пространственное распределение эпицентров землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ в двух фазах: уменьшения скорости вращения Земли (растяжения земной коры и увеличения скорости вращения Земли (сжатия земной коры) земной коры. Расстояние между осевыми линиями этих зон (сейсмолинеаментов) – $L_{\text{seis}} \approx 3.5\text{--}4^\circ$ – сопоставимо с пространственными неоднородностями земной коры L_{geoph} , определенными по моделированию геофизических полей $L_{\text{geoph}} \approx L_{\text{seis}}$ [Трофименко, 2010; Трофименко, Быков, 2017]. Ранее установлено, что области активизации землетрясений в данном интервале магнитуд зависят от фазы скорости вращения Земли [Горькавый и др., 1994], фактически, от сжатия-расширения земной коры [Горькавый и др., 1994, б]. Группирование сейсмических событий в двух фазах вращения Земли позволило выделить пространственно чередующиеся вдоль широты сейсмические кластеры, также протяженностью по широте $L \approx L_{\text{geoph}}$, на основании которых построена тектоническая модель сейсмичности северо-восточного сегмента Амурской плиты в

двух фазах вращения Земли [Трофименко, 2016].

В период повышенной сейсмической активности два из 10-ти землетрясений с магнитудами $5 \leq M < 6$ зарегистрированы в интервале глубин $h < 10$ км: 12.06.1985, ($j = 52.4^\circ \text{ N}$, $l = 132.8^\circ \text{ E}$) и 05.05.1994, ($j = 51.6^\circ \text{ N}$, $l = 133.4^\circ \text{ E}$) в фазе сжатия земной коры. Средняя глубина гипоцентров до 1980 г. в фазе сжатия земной коры составляла 18 км, после 1980 г. – 13 км. Для фазы расширения земной коры данные величины равны 17 км и 12 км, соответственно. Это означает, что при долгосрочном прогнозировании сейсмической активизации области следует учитывать вероятность сейсмической активизации кластеров в течение года (рис. 2-15). Для областей сжатия земной коры сейсмическая активность увеличивается в периоды увеличения скорости вращения Земли, для областей растяжения – увеличение сейсмической активности происходит в периоды замедления вращения Земли. При этом, эпицентры землетрясений группируются в устойчивые кластеры по месяцам года [Овсюченко и др., 2018].

2.5.4. Основные выводы о потенциале сейсмогенерирующих структур Сихотэ-Алиньского орогенного пояса

Проведено моделирование сейсмической опасности на основе разрабатываемой пространственно-временной модели сейсмической активизации по инструментальным и историческим землетрясениям. На основе новых данных о магнитудном потенциале сейсмогенерирующих структур даны оценки сейсмического воздействия сильных глубоководных землетрясений и коэффициентов затухания с расчетом радиусов первых трех изосейст коровых землетрясений. Палеосейсмологическими исследованиями территории Нижнего Приамурья выделены три сейсмогенерирующие структуры с магнитудным потенциалом $M \sim 6.5\text{--}7$. Наиболее достоверно следы голоценовых землетрясений установлены для Хинганского, Амурского и Сомонского разломов (рис. 2-13). Менее уверенно они устанавливаются для разло-

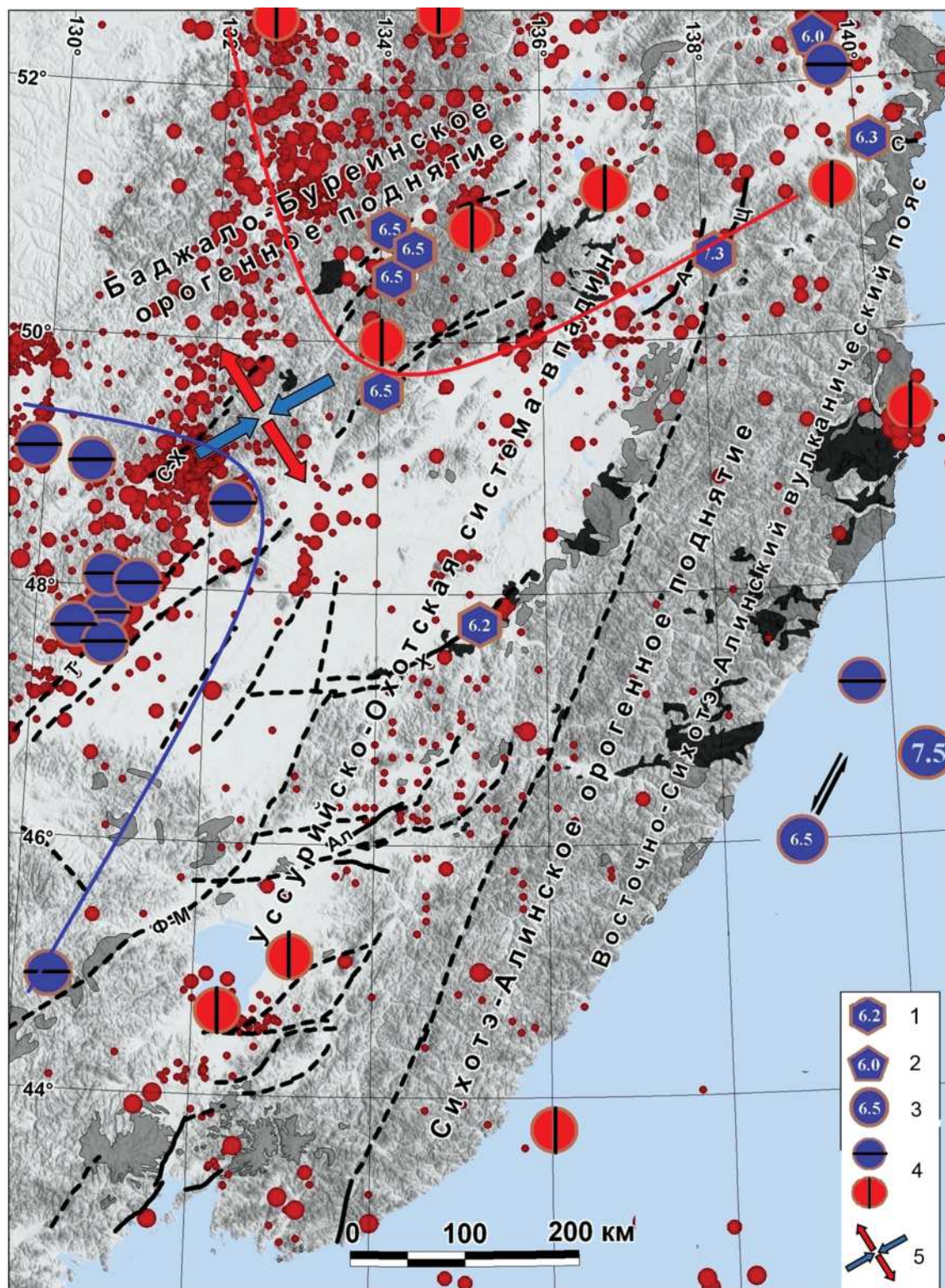


Рис. 2-15. Распределение очагов сильных землетрясений по палеосейсмологическим данным, историческим и инструментальным событиям

1 – очаги палеоземлетрясений с прогнозной магнитудой; 2 – исторические землетрясения с магнитудой $M \geq 6$; 3 – эпицентры инструментальных землетрясений $M \geq 6$; 4 – эпицентры землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$; а – в фазе замедления вращения Земли; б – в фазе ускорения вращения Земли; 5 – направление векторов сжатия-расширения по [Barth, Wenzel, 2010]. Обозначение разломов соответствует рис. 2-13.

мов Уссурийско-Охотской системы впадин и Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома. Очевидно, что известны далеко не все потенциальные очаги сильных землетрясений и остаются неясными основные тенденции позднечетвертичного геологического развития, ответственные за сейсмическую активность.

Результаты наших исследований и работы предшественников позволяют оценить сейсмический потенциал только для некоторых основных структур региона. При этом палеосейсмологические исследования проявлений сильных землетрясений Приамурья (рис. 2-15) являются базой для построения сейсмотектонических моделей.

Прогнозирование интенсивности сейсмического воздействия сильных землетрясений основано на статистических методах анализа сейсмичности за инструментальный период и на макросейсмических проявлениях сильных землетрясений. Наличие сейсмодислокаций (А – Амгунь, Т – Талиджак, О – Омот, К – Кукан, см. рис. 2-13) свидетельствует о том, что сильные землетрясения магнитудой $M \sim 6.5$ могут происходить в верхнем сейсмоактивном слое земной коры с глубиной залегания очага $h < 10$ км. Для Амурского разлома определена магнитуда $M \sim 7.0$. Землетрясение такой магнитуды при средней глубине гипоцентров $h = 15$ км вызовет 7-балльные сотрясения, а при уменьшении глубины до 10 км – 8-балльные. Это означает, что для прогнозирования сейсмических воздействий от сейсмогенерирующих структур необходим контроль динамики распределения гипоцентров землетрясений.

В дополнение к динамике эндогенной опасности, вызванной изменением глубины гипоцентров, установлено, что в различных фазах изменения скорости вращения Земли в течение года, эпицентры землетрясений с магнитудами $5 \leq M \leq 6$ образуют непересекающиеся сейсмические области (рис. 2-15).

Полученные новые данные о параметрах сильнейших палеоземлетрясений системы разломов Тан-Лу и Приамурья, пространственно-временное моделирование современной сейсмичности, в целом, будут способствовать уточнению имеющихся све-

дений о сейсмотектонике и реальной потенциальной сейсмической опасности Приамурья.

2.6. ТЕПЛОВАЯ СТРУКТУРА СИХОТЭ-АЛИНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ, СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

Современный этап геолого-геофизических исследований дальневосточных территорий России требует особого внимания к исследованию глубинного строения региона, что обусловлено необходимостью решения теоретических проблем геодинамики, прогноза землетрясений и скрытых на глубине полезных ископаемых. Такие работы, как правило, ведутся по профилям с применением сейсмического и магнитотеллурического зондирования, которые в идеале должны равномерно покрывать исследуемую территорию. Для изучаемой нами территории таких данных немного [Глубинное..., 2010], а проведение новых инструментальных работ в настоящее время по разным причинам весьма проблематично. Поэтому все большее применение находят специализированная обработка и интерпретация потенциальных геофизических полей с целью определения глубинной структуры земной коры [Бабаянц, Тарарухина, 2009].

В настоящем разделе представлены первые результаты по оценке глубины подошвы магнитоактивного слоя и величины геотермического градиента в земной коре Сихотэ-Алиня и соседних структур Центрально-Азиатского пояса. В их основе лежит метод определения глубины перехода основного магнитного минерала из ферромагнитного состояния в парамагнитное (температура Кюри) магнитоактивных масс в земной коре региона с помощью спектрального анализа аномального магнитного поля [Spector, Grant, 1970; Tanaka et al., 1999; Maden et al., 2009]. Настоящие исследования важны еще по причине недостаточности прямых данных по тепловому потоку региона для адекватного картирования региональных тепловых структур [Горнов, 2010; Дучков и др., 2015].

2.6.1. Методика и данные расчета глубины подошвы магнитоактивного слоя Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий

При создании геологических карт третьего поколения масштаба 1:1 000 000 [Петров и др., 2016] широко используются сводные цифровые карты гравитационного и магнитного полей, которые служат исходным базисом создания прогнозно-геофизических карт для основных минерагенических зон России, решения задач глубинного строения. Для расчетов в настоящей работе использовалась цифровая модель магнитного поля континентальной части Дальнего Востока, подготовленная сотрудниками ВСЕГЕИ по заказу ИТиГ ДВО РАН (модель нормального поля ВСЕГЕИ-1965).

На рис. 2-16 видно, что магнитное поле региона дифференцировано как по интенсивности магнитных аномалий, так и по его структурным особенностям. Амплитуда аномалий в большинстве случаев укладывается в интервал до тысячи нТл, в отдельных случаях достигая десяти тысяч нТл (массивы гипербазитов). Структура магнитного поля в целом определяется степенью насыщенности в верхней части земной коры магматическими телами мезо-кайнозойского возраста. Территория характеризуется наличием крупных изометричных по форме областей и линейных зон. Над последними наблюдаются локальные магнитные аномалии высокой интенсивности, связанные с магматическими телами, что в целом повышает здесь величину и дифференцированность магнитного поля. Обширные участки пониженного и слабодифференцированного поля отвечают «осадочным» террейнам Сихотэ-Алиньского и Монголо-Охотского поясов, кайнозойским осадочным бассейнам. Более дифференцированно магнитное поле над древними кристаллическими блоками, где наблюдаются крупные положительные аномалии, связанные с интрузиями и вулканогенными постройками.

Цифровой массив данных аномального магнитного поля региона разбивался на отдельные листы (окна) размером 100×100 км

(рис. 2-17А), которые представлялись в виде сетки (грида) с размером ячейки 1 км. Опытным путем было установлено, что меньший размер «окна» не целесообразен, так как есть опасность «потерять» длинноволновую составляющую.

Последующие действия для каждого листа выполнялись отдельно и включали в себя следующие операции:

1) так как исследованная территория располагается между 42.5-54.5° северной широты, что соответствует крайним значениям наклона магнитного поля 57.4 и 68.9°, выполнялась редукция аномального магнитного поля к полюсу (рис. 2-17Б) для расчета спектральных характеристик вертикально намагниченных призм (аналог расчета эффективной намагниченности);

2) расчет среднего кругового энергетического спектра для каждого листа выполнялся на основе реализации быстрого преобразования Фурье [Lowrie, 2007];

3) вычисление спектров для оценки глубин центра и кровли магнитного тела, согласно [Spector, Grant, 1970; Tanaka, Okubo, 1999], проводилось по формулам:

$$\ln \left[\frac{1}{|S|} \right] = \ln A - 2\pi|s|Z_0 \quad \text{и} \quad \ln P^{\frac{1}{2}} = \ln B - 2\pi|s|Z_t,$$

где Z_0 , Z_t – центр и верхняя кромка тела, соответственно, P – спектр, S – циклическая частота, A и B – постоянные зависящие от намагниченности;

4) поскольку P и S известны по ранее вычисленному спектру, рассчитываются Z_0 и Z_t а затем и глубина подошвы магнитного тела – $Z_{\text{bottom}} = 2Z_{\text{center}} - Z_{\text{top}}$.

Рассчитанная глубина подошвы магнитного слоя проецировалась на географический центр каждого листа (всего 108). Затем в программной среде ArcGis 10.4 строилась карта изолиний глубины его подошвы (рис. 2-18), которая отождествлялась нами с изотермой 578° С (температура точки Кюри магнетита). Карта поверхности изотермы Кюри (CPD) имеет сложный характер с размахом глубин от 13.1 до 29.9 км (среднее арифм. = 21.7 ± 3.4, среднее геом. = 21.4 ± 1.4).

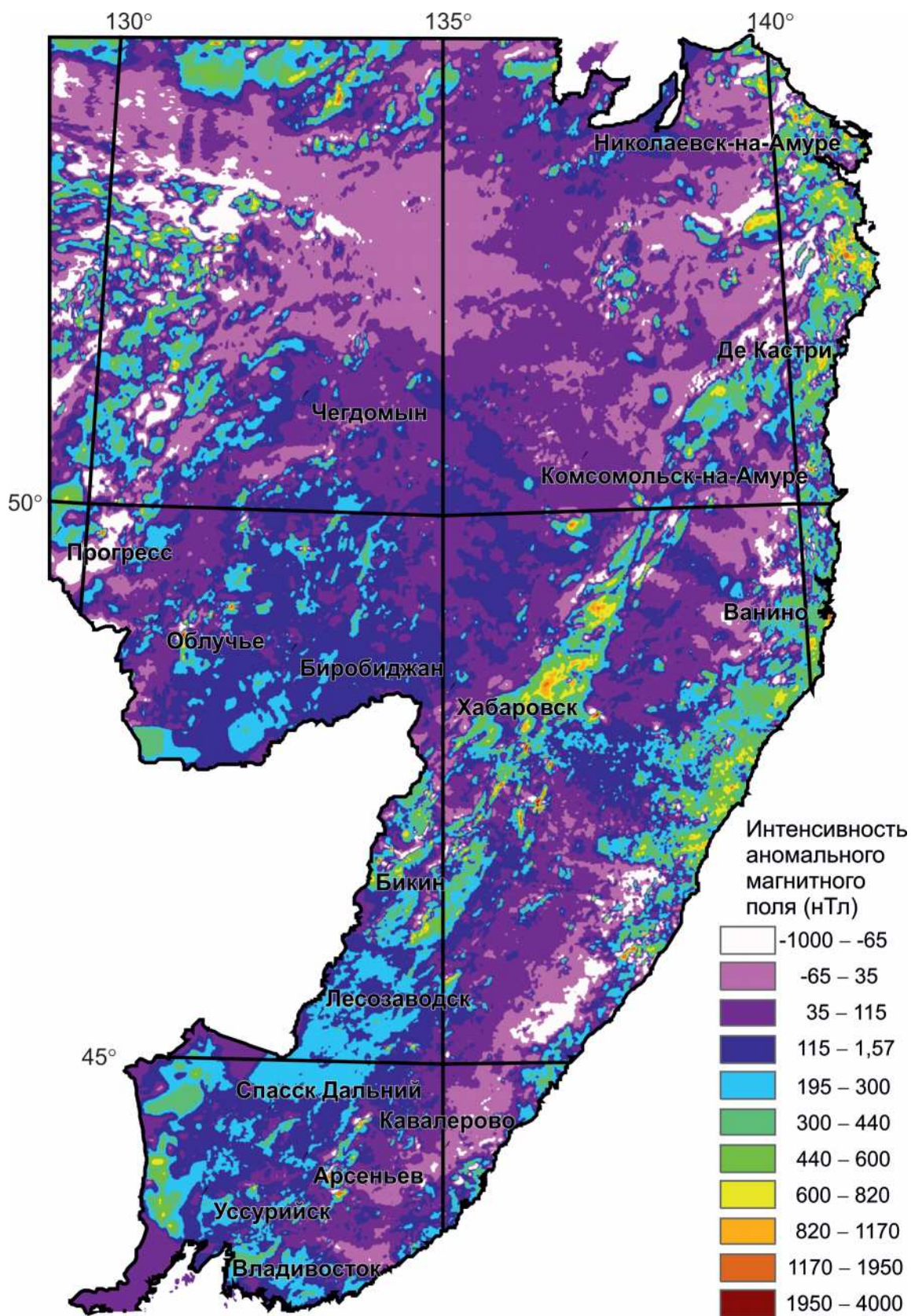


Рис. 2-16. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий Центрально-Азиатского складчатого пояса. Исходный масштаб 1:1 000 000

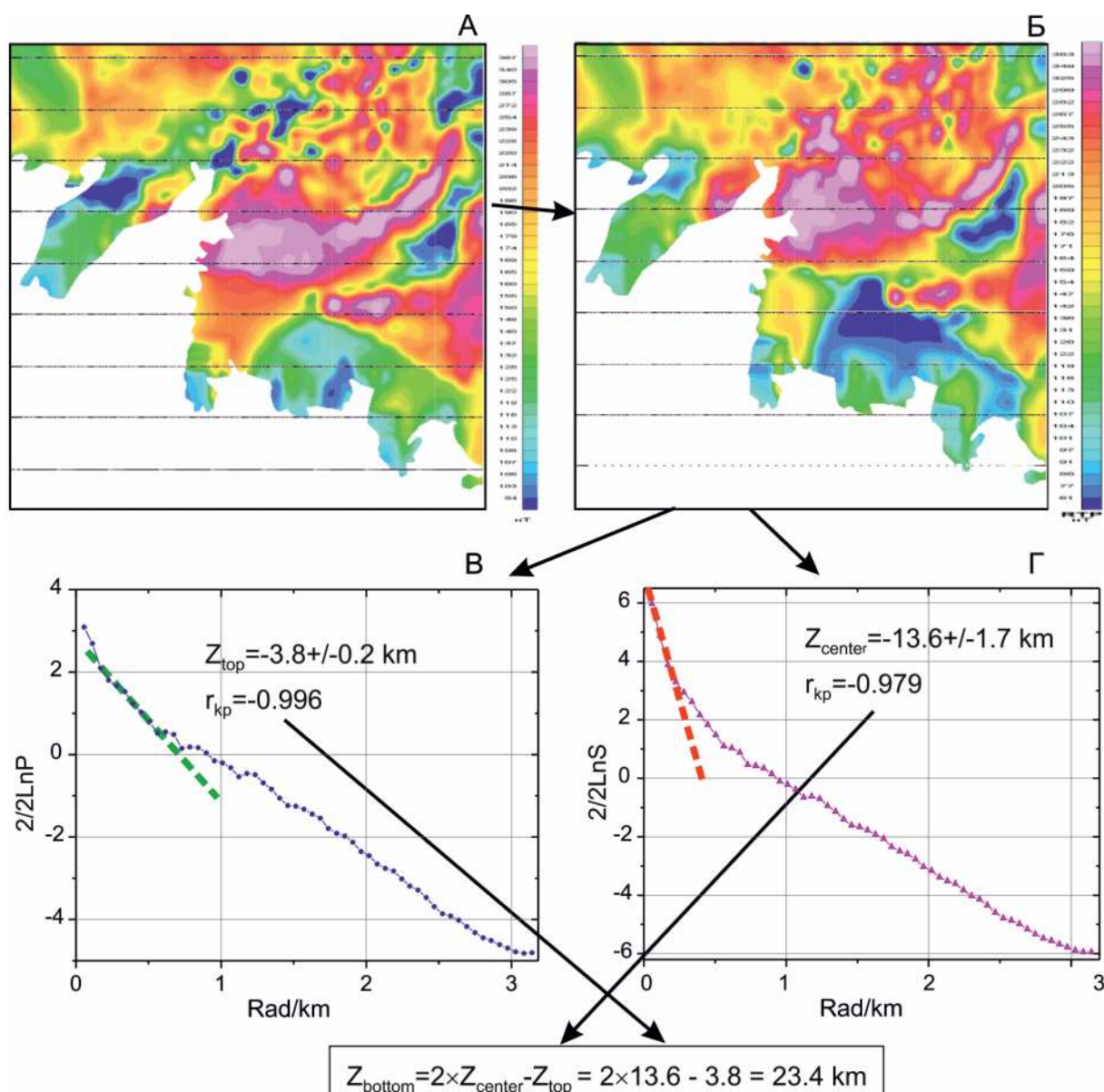


Рис. 2-17. Пример расчета глубины кровли и подошвы магнитоактивного слоя по данным спектрального анализа аномального магнитного поля согласно [Spector, Grant, 1970; Tanaka et al., 1999] А – исходная карта аномального магнитного поля 100×100 км (р-н г. Владивосток). Б – та же карта после редукция аномального магнитного поля к полюсу. В – расчет глубины кровли магнитоактивного слоя. Г – расчет глубины подошвы магнитоактивного слоя.

2.6.2. Расчетный глубинный тепловой поток Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий

Структура поверхностного теплового потока в континентальных областях определяется тремя основными источниками: коровым радиогенным теплом, нестационарным «орогенным теплом» и мантийным [Ху-

торской, Поляк, 2016]. Средняя плотность поверхностного теплового потока для Сихотэ-Алиня составляет 51 мВт/м² [Глубинное строение..., 2010]. С большой долей уверенности можно предположить, что величина «орогенного тепла» на изученной площади мезозойского орогенного пояса варьируется незначительно, и в нашем случае ее можно принять за константу. Вкладом радиогенно-

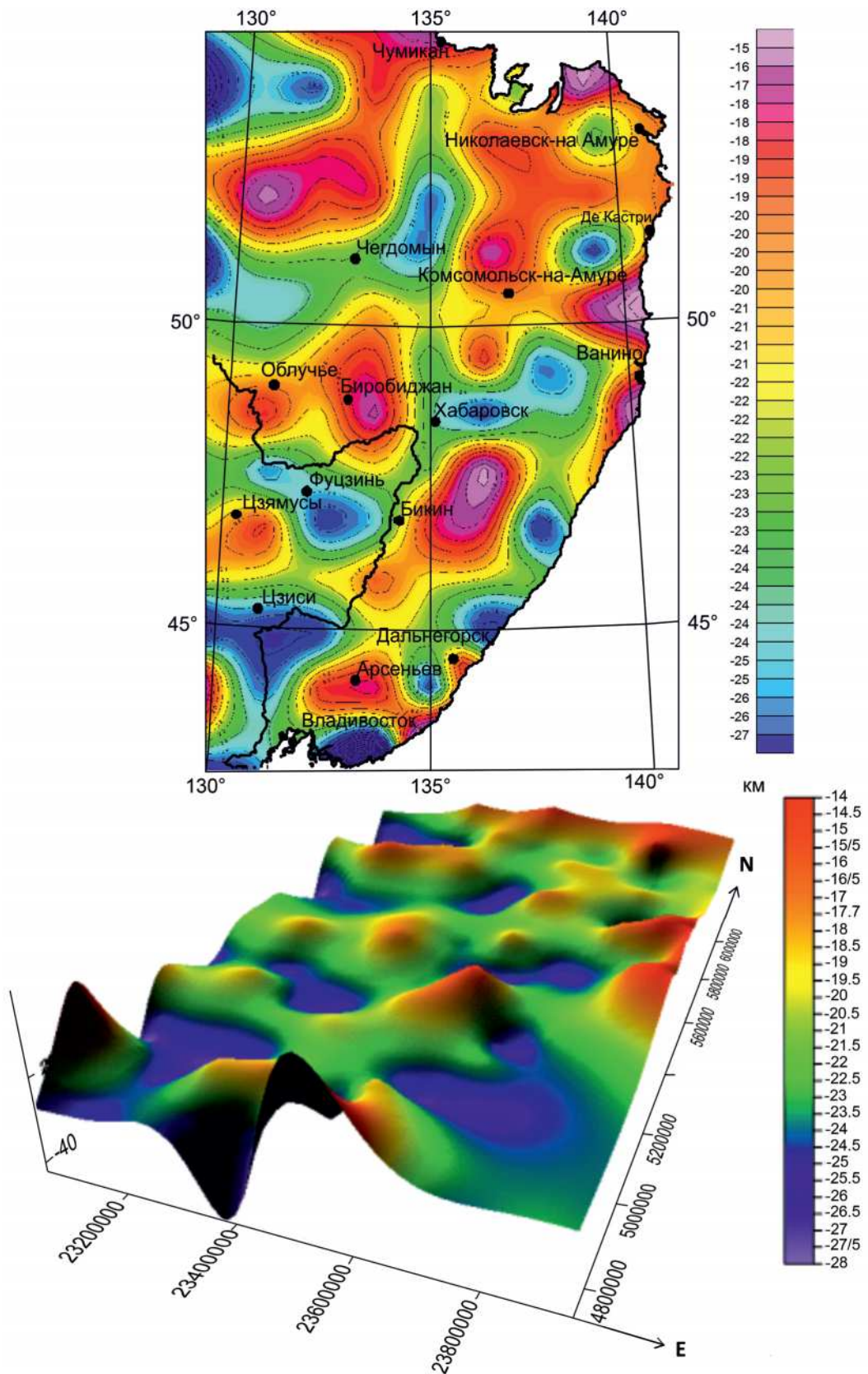


Рис. 2-18. Карта глубины подошвы магнитоактивного слоя Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий

го тепла на рассматриваемых глубинах (13–30 км) также можно пренебречь, так как радиогенная теплогенерация с глубиной резко убывает, и на уровне 21 км (средняя глубина CPD) радиогенный компонент меньше более чем на порядок по отношению к полному поверхностному тепловому потоку [Хуторской, Поляк, 2016]. Согласно прямым расчетам по экспериментальным данным П.Ю. Горнова [Глубинное строение..., 2010], плотность поверхностного радиогенного теплового потока для Сихотэ-Алиньского орогена составляет 29 мВт/м², следовательно на глубине 21 км она будет составлять всего лишь 2–3 мВт/м².

Для демонстрации полученного результата и дальнейшего анализа тепловой структуры региона карта глубин изотермы Кюри (рис. 2-18) была пересчитана в карту геотермического градиента ($\Delta T/\Delta h = 578^\circ/\text{CPD}$, рис. 2-19).

Полагаем, что наблюдаемые различия в глубине CPD на исследуемой территории связаны, в основном, с третьим компонентом (мантийным) – проявлением глубинных высокоэнергетических процессов, в том числе и на ранних стадиях становления Сихотэ-Алиньского орогенного пояса (субдукция, эклогитизация, подъем мантийных диапиров, глубинные разломы и пр.).

Размах величины геотермического градиента на исследуемой территории весьма существенен: минимальное значение составляет 19.3 °/км, максимальное – 44.1 °/км (среднее арифм. = 27.4±4.7 и среднее геом. = 27.0 ± 1.2 °/км).

Максимальный геотермический градиент на изученной территории наблюдается в 6-ти областях, и все они, за исключением одной, по географическому

положению совпадают с площадями максимального выделения энергии при землетрясениях, зафиксированных здесь с 1886 по 2013 год. [Диденко и др., 2017]. Первая – располагается немного севернее г. Владивосток (рис. 2-19) и связана она, вероятнее всего, с выделяемой энергией при глубокофокусных землетрясениях, причиной которых является субдукция Тихоокеанской океанической плиты под Амурскую континентальную. Остальные 4 зоны (рис. 2-19) связаны с областями максимумов выделения энергии при коровых землетрясениях. Одна – располагается на побережье Татарского пролива в районе гг. Ванино и Советской Гавани, три другие области связаны с наиболее активными участками земной коры в Харпийско-Курско-Приамурской зоне северо-восточного простирания, являющейся северным сегментом трансрегиональной разломной системы Тан-Лу.

Выделяется и шестая область максимального геотермического градиента, в центре которой его значение достигает 40 °/км, в зоне действия Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома юго-восточнее г. Хабаровск (рис. 2-19). За последние 130 лет значительных сейсмических событий здесь не зафиксировано [Диденко и др., 2017], но как свидетельствуют палеосейсмологические исследования (см. 2.5), случались сейсмические события магнитудой более 6.

Впервые для Сихотэ-Алиня и граничных территорий Центрально-Азиатского пояса построена детальная карта геотермического градиента, анализ которой показал, что области с повышенным геотермическим градиентом географически близки областям с повышенной сейсмичностью.

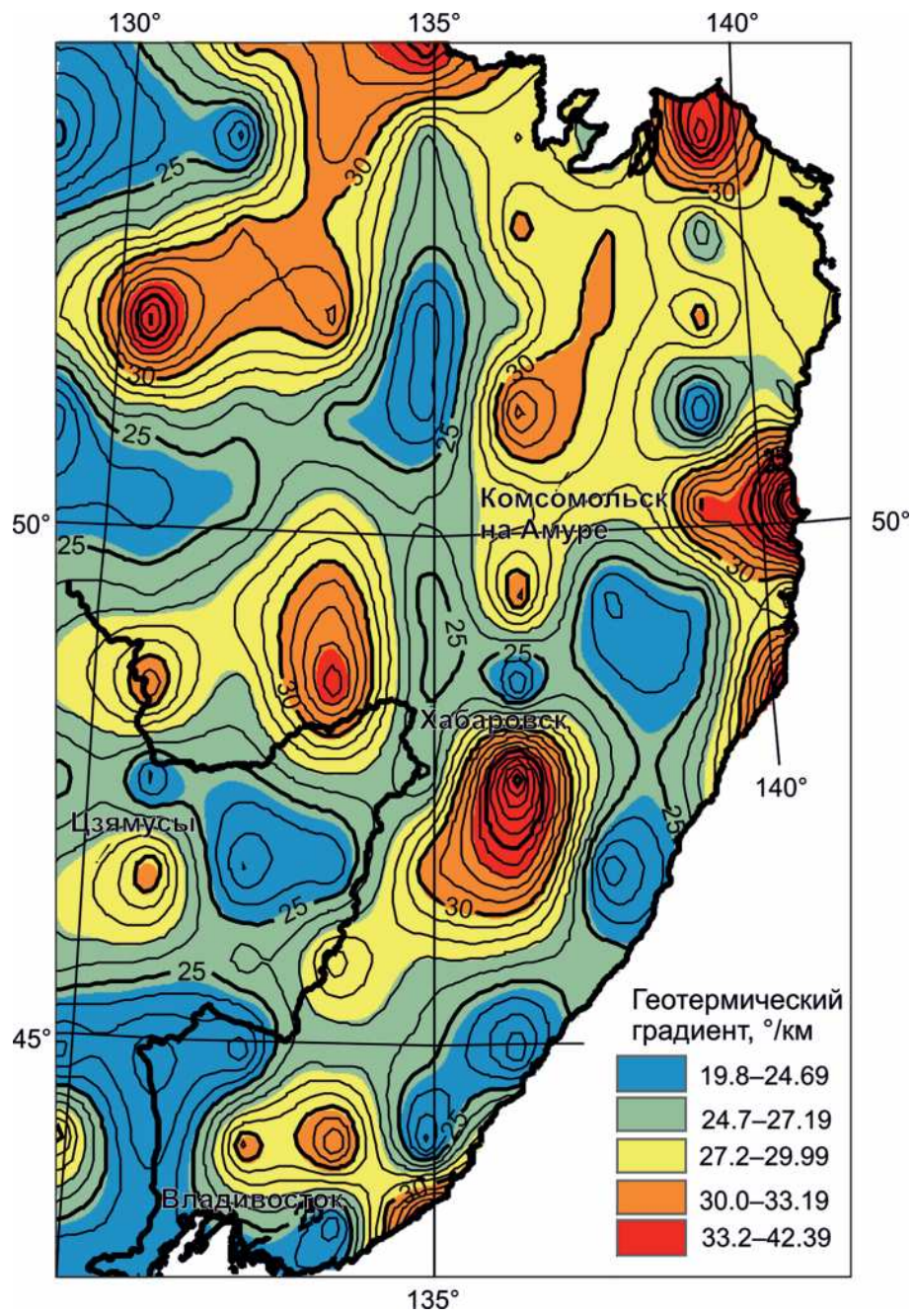


Рис. 2-19. Карта расчетного геотермического градиента ($\Delta T/\Delta h$, °/км) Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучению сейсмичности посвящены сотни книг, десятки тысяч статей, зарегистрированы тысячи патентов для прогноза землетрясений, в том числе и краткосрочного. Но задача так и остается не решенной. Об этом свидетельствуют данные Международного центра катастроф, приведенные в начале настоящей работы.

В первой части работы в разделе 1.7 «Прогноз землетрясений» представлены две точки зрения на прогноз землетрясений, согласно одной из них научно обоснованный краткосрочный прогноз землетрясений невозможен [Короновский, Наймарк, 2012]. Согласно другой - «Есть примеры удовлетворительного прогноза, но пока общей теории геолого-структурного и сейсмологического обоснования закономерности течения сейсмического процесса в литосфере Земли нет... Без сомнения можно утверждать, что недостатки в изучении сейсмического процесса и его прогноза объясняются природной многофакторностью причин, воздействующих на нестабильное состояние разломно-блоковой среды литосферы в ее активную стадию» [Шерман, 2014]. Авторам настоящей работы близка последняя точка зрения, тем более, что в последнее время появляются новые методы наблюдений за современной геодинамической активностью внешних оболочек Земли (земная кора, литосфера). Например, космическая миссия двух спутников «GRACE», которые были запущены 17 марта 2002 года с космодрома Плесецк с целью сверхточного измерения гравитационного поля Земли. Проведенный в ИТиГ ДВО РАН ретроспективный анализ поведения гравитационного поля перед сильными землетрясениями в отдельных регионах (неопубликованные

данные) показывает перспективность таких исследований.

Будет ли осуществлена возможность точного краткосрочного прогноза в будущем или нет, одной из основных задач является определение возможного места (зоны) и возможной максимальной интенсивности будущих землетрясений – двух обязательных составляющих сейсмического прогноза. Именно этому и была посвящена вторая часть настоящей работы применительно к континентальной части юга Дальнего Востока России.

Сейсмический потенциал Сихотэ-Алиньского орогена и сопредельных территорий до сих пор изучен слабо. Макросейсмические сведения о землетрясениях имеются только за последние 150 лет. Период представительных инструментальных сейсмологических наблюдений составляет около 40 лет, в то время как повторяемость сильных землетрясений может составлять сотни и тысячи лет. В связи с этим большая часть территории считалась практически асейсмичной, так как здесь не происходили сильные землетрясения. Привлечение палеосейсмологических данных значительно меняет представление о сейсмической опасности. Полученные в последнее время данные свидетельствуют о возможности сильных землетрясений с магнитудой до 7 в регионе.

Установлено, что максимальный мантийный тепловой поток на изученной территории наблюдается в 6-ти областях. Пять из них по географическому положению совпадают с площадями максимального выделения энергии при землетрясениях, зафиксированных здесь с 1886 по 2013 год. В шестой области максимального геотермического градиента, которая находится

юго-восточнее г. Хабаровск в зоне действия Центрально-Сихотэ-Алиньского разлома, инструментальными наблюдениями значительных сейсмических событий не зафиксировано, но имеются палеосейсмологические данные, свидетельствующие о значительных сейсмических событиях на этой территории около 1 тыс. лет назад.

Вопросы сейсмобезопасности региона требуют дальнейших исследований по геодинамике и сеймотектонике. Развитие представлений об уровне сейсмической опасности – решаемая задача при ком-

плексном анализе геолого-геофизических, сейсмологических и тектонофизических данных, полученных современными методами исследований. Необходимо разрабатывать пространственно-временные модели современной сейсмичности с привлечением GPS/ГЛОНАСС-данных, продолжать палеосейсмологические исследования активных разломов и установление их сейсмического потенциала. Глубокого анализа требуют вопросы влияния процессов в Тихоокеанской зоне субдукции на сейсмичность региона.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ЗА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ПО ТЕМЕ ПРОЕКТА РНФ № 16-17-00015

Статьи

1. Диденко А.Н., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В., Архипов М.В. Формализованный анализ коровой сейсмичности Сихотэ-Алинского орогена и прилегающих территорий // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 6, №2. С. 58–69.
2. Trofimenko S.V., Bykov V.G., Merkulova T.V. Space-time model for migration of weak earthquakes along the northern boundary of the Amurian microplate // Journal of Seismology. 2017. V. 21, N 2. P. 277–28.
3. Диденко А.Н., Носырев М.Ю., Шевченко Б.Ф., Гильманова Г.З. Тепловая структура Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий по данным спектрального анализа аномального магнитного поля // ДАН. 2017. Т. 477, № 3. С. 352–356.
4. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Горнов П.Ю., Тимофеев А.В., Валитов М.Г., Бойко Е.В.. Современные движения континентальной окраины Дальнего Востока России по результатам GPS наблюдений. // Вестник СГТУ. 2017. Т. 22, № 2. С. 88–102.
5. Трофименко С.В., Быков В.Г. Пространственно-временные распределения землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения модуля скорости вращения Земли // Вулканонология и сейсмология. 2017. № 2. С. 45–58.
6. Каплун В.Б., Бронников А.К. Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии Северного Сихотэ-Алиня по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, № 4. С. 18–37.
7. Диденко А.Н., Песков А.Ю., Кудымов А.В., Войнова И.П., Тихомирова А.И., Архипов М.В. Палеомагнетизм и аккреционная тектоника северного Сихотэ-Алиня // Физика Земли. 2017. № 5. С. 121–138.
8. Трофименко С.В., Гильманова Г.З., Никитин В.М., Колодезников И.И. Линеamentный анализ пространственного поля сейсмичности северного сегмента Амурской микроплиты // Наука и образование. 2016. №1 (81). С.7–13.
9. Тусикова С.А. Линейные индикаторы аномалий геомагнитного поля восточной части Алданского щита и Становой складчатой области. Пространственная структура и сейсмичность // Успехи современного естествознания. 2017. № 8. С. 117–121.
10. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Новиков С.С., Диденко А.Н., Имаев В.С. Задачи прогноза сейсмической опасности территории Нижнего Приамурья: палеосейсмологический и сейсмологический аспекты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37, № 2. С. 59–75.
11. Степашко А.А., Меркулова Т.В., Диденко А.Н. Геодинамика и закономерности сейсмичности восточного сегмента буферной зоны Амурской плиты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37. №4. С. 28–43.
12. Рыбас О.В., Г.З. Гильманова. Статистическая связь данных системы GRACE с количеством солнечной энергии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т 15, № 2. С. 191–194.

Объекты интеллектуальной собственности

1. Диденко.А.Н., Гильманова Г.З., Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Меркулова Т.В., Носырев М.Ю., Шевченко Б.Ф. База данных "Электронный геолого-геофизический атлас Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий" Свидетельство о государственной регистрации № 2017620640 от 09.06.2017 г. Правообладатель ИТИГ ДВО РАН.

Тезисы и материалы докладов

1. Didenko A.N., Gilmanova G.Z., Zabrodin V.Yu., Rybas O.V., Merculova T.V., Nosyrev M.Yu, Shevchenko B.F. Electronic geological and geophysical atlas of the Sikhote-Alin Orogenic Belt and adjacent areas // 14th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS). Singapore. 07 to 11 AUG, 2017. Singapore: AOGS, 2017. <https://www.meetmatt-svr3.net/aogs/aogs2017/mars2/pubViewAbs.asp?sMode=poster§ionIdP=1&submit=Bro>.
2. Didenko A. N., Shevchenko B. F. Nisyrev M. Yu., Gilmanova G.Z. Crustal Structure of the Sikhote-Alin Orogenic Belt from Spectral Analysis of Magnetic and Gravity Data // 14th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS). Singapore. 07 to 11 AUG, 2017. Singapore: AOGS, 2017. <https://www.meetmatt-svr3.net/aogs/aogs2017/mars2/pubViewAbs.asp?sMode=poster§ionIdP=1&submit=Bro>.
3. Gilmanova G.Z., Zakharov V.S., Merculova T.V., Arkhipov M.V., Peskov A.Yu., Andronchik V.V., Didenko A.N. Development of GIS-Project "Geodynamic model of the SikhoteAlin orogenic belt and adjacent areas as a basis studying, monitoring and forecasting natural disasters in the south of the Russian Far East" // Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН. М.: ФГУ Геофизический центр РАН, 2016. С. 65.
4. Горошко М.В., Гильманова Г.З. Применение обработанных данных SRTM03 в геологических исследованиях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Материалы 14 Всероссийской открытой конференции (14-18 ноября 2016 г., г. Москва). Москва, 2016. С. 311. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5586.
5. Диденко А.Н., Забродин В.Ю., Носырев М.Ю., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В. Структура земной коры Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий по данным геофизических и дистанционных методов, связь с тектоникой и современной геодинамикой // Геология и минерагения Северной Евразии, материалы совещания, приуроченного к 60-летию Института геологии и геофизики СО АН СССР. 3-5 окт. 2017 г. Новосибирск, Россия. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2017. С. 67–68.
6. Диденко А.Н., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В., Архипов М.В. Формализованный анализ сейсмичности Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий за последние 150 лет // Тектоника, глубинное строение и минерагении Востока Азии: IX Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции, 13-15 сентября 2016, г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2016. С. 241–244.
7. Didenko, A.N., Kudymov, A.V., Peskov A. Yu., Andronchik V.V. The geodynamics of northern part of Sikhote-Alin orogen // 35-th international geological congress. 27 august - 2 september 2016. Cape Town, South Africa. Abstrakt book. Cape Town. 2016. P. 1762. <https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/igc/1762.pdf>.
8. Диденко А.Н., Носырев М.Ю., Шевченко Б.Ф., Гильманова Г.З., Козлова О.В. Структура магнитоактивного слоя земной коры Сихотэ-Алиньского орогена и прилегающих территорий: тектонические следствия // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 14. - Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. С. 77–79.
9. Каплун В.Б., Бронников А.К. Глубинное строение Самаргино-Совгаванской зоны Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканоплутонического пояса по данным магнитотеллурических зондирований // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы Третьей Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток, 20-23 сентября 2016 г. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 42–45.
10. Каплун В.Б., Бронников А.К. Глубинное строение области перехода от Азиатского континента к Тихому океану северной части Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и модель её развития / Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Том 1. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвящённого 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. С. 159–163.
11. Каплун В.Б., Бронников А.К. Изучение влияния берегового эффекта на результаты магнитотеллурических зондирований в северной части Сихотэ-Алиньского орогенного пояса // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 23 - 27 января 2017 г. М.: ИФЗ РАН, 2017. С. 146–149.
12. Лунева М.Н., Пупатенко В.В. Сейсмическая анизотропия Северо-Востока Азии по данным расщепленных S и ScS волн от сильных землетрясений // Тектоника, глубинное строение и минерагении Востока Азии: IX Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции, 13-15 сентября 2016, г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2016. С.263–266.
13. Манилов Ю.Ф., Каплун В.Б. Глубинные разломы Северного Сихотэ-Алиня по геофизическим данным // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Том 2. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвящённого 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. С. 3–7.
14. Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Использование данных спутника GRACE для исследования современной геодинамики // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Тезисы Ежегодной открытой конференции 13-17 декабря 2017г., Москва, ИКИ. 2017. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/mythesis.aspx?thesis=6118.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева М.Ю., Сасорова Е.В., Левин Б.В. Особенности внутригодового распределения землетрясений Курильского региона // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 5. С. 85–95.
2. Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 2. С. 299–311.
3. Бабаянц П.С., Тарарухина Н.М. Особенности технологии интерпретации комплексных аэрогеофизических данных в условиях широкого развития пород траппового комплекса // Современные аэрогеофизические методы и технологии. 2009. Вып. 1. Т. 1. С. 71–110.
4. Бормотов В.А., Войтенко А.А. Закономерности миграции землетрясений Приамурья // Тихоокеанская геология. 1998. Т.17, № 2. С. 51–60.
5. Бормотов В.А., Меркулова Т.В. Кайнозойский этап развития северной ветви Тан-Лу-Охотской рифтовой системы: глубинное строение и сейсмогеодинамика // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 26–41.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
7. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2 500 000/ Ред.З. Л.И. Красный, Пэн Юнбяо. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
8. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. Под ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышева, Б.Г. Саксина. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
9. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 231с.
10. Горнов П.Ю. Тепловое поле области сопряжения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского складчатых поясов и смежных окраин Сибирской и Северо-Китайской платформ. Автореф. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИНГИГ СО РАН, 2010. 17 с.
11. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.Н. и др. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды // Физика Земли. 1994 б. № 10. С. 33–38.
12. Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли // ДАН. 1994. Т. 338, № 4. С. 525–527.
13. Диденко А.Н., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Меркулова Т.В., Архипов М.В. Формализованный анализ коровой сейсмичности Сихотэ-Алинского орогена и прилегающих территорий за последние 150 лет // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, № 2. С. 58–69.
14. Диденко А.Н., Ханчук А.И., Тихомирова А.И., Войнова И.П. Восточный сегмент Киселевско-Маноминского террейна (северный Сихотэ-Алинь): палеомагнетизм и геодинамические следствия // Тихоокеанская геология. 2014. Т.33, №1. С. 20–40.
15. Дучков А.Д., Железняк М.Н., Аюнов Д.Е., Веселов О.В., Соколова Л.С., Казанцев С.А., Горнов П.Ю., Добрецов Н.Н., Болдырев И.И., Пчельников Д.В., Добрецов А.Н. Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока (2009-2015). 2015. <http://maps.nrcgig.ru/geoterm>.
16. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. Элементарное введение в планетарную и спутниковую геофизику. М.: ООО «Наука и образование», 2013. 414 с.
17. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.
18. Захаров В.С. Анализ характеристик самоподобия сейсмичности и систем активных разломов Евразии // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2011. № 6. С. 10–17.
19. Землетрясения России в 2004-2008 гг. Обнинск: ГС РАН, 2007–2010.
20. Землетрясения Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН, 1997–2004.
21. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
22. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: Дальневост. книж. изд-во, 1972. 110 с.
23. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Олекмо-Становой сейсмической зоны (Южная Якутия) // Литосфера. 2005. № 2. С. 21–40.
24. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.
25. Имаева Л.П., Имаев В.С., Смекалин О.П., Козьмин Б.М., Гриб Н.Н., Чипизубов А.В. Карта сейсмотектоники Восточной Сибири. Нерюнгри: ТИ (ф) СВФУ, 2015. 128 с.

26. Каплун В.Б. Предварительные результаты глубинных магнитотеллурических зондирований по профилю п. Облучье–оз. Гасси (Хабаровский край) // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 122–135.
27. Каплун В.Б. Результаты магнитотеллурических зондирований в пределах западной части Сихотэ-Алинской складчатой системы // Тихоокеанская геология. 1994. № 5. С. 141–153.
28. Карта современных вертикальных движений по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК) / Под ред. Кашина Л.А. М.: ГУГК, 1989. 4 л.
29. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
30. Каталог землетрясений Геологической службы США. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
31. Кожурин А.И. Активная геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов): Автореф. дис. док. геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 2013. 46 с.
32. Короновский Н.В., Наймарк А.А. Непредсказуемость землетрясений как фундаментальное следствие нелинейности геодинамических систем // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2012. № 6. С. 3–10.
33. Кузнецов И.В., Кейлис-Борок В.И. Взаимосвязь землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса // ДАН. 1997. Т. 355, № 3. С. 389–393.
34. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В. Сейсмичность Приморья и Приамурья в 1888–2008 гг. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 6. С. 16–22.
35. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Динамика сейсмической активности Земли за 120 лет // ДАН. 2015. Т. 461, № 1. С. 82–87.
36. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Борисов С.А., Борисов А.С. Оценка параметров слабых землетрясений и их сигналов // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 60–70.
37. Леонов Н.Н., Берсенев И.И., Гришкян Р.И., Гнибиденко Г.С., Мастюлин А.А., Органов М.Г., Парфенов Л.И., Уфимцев Г.Ф., Чермных Г.П. Сейсмическое районирование Приморья и Приамурья // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приамурья и Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 143–155.
38. Логачев Н.А., Врублевский А.А., Николаев В.В., Семенов Р.М. Сейсмоструктура востока России и сейсмичность Приамурья // Вестник ДВО РАН. 1999. № 3. С. 113–125.
39. Ломтев В.Л. Деформации Невельского (02.08.2007 г., $M \sim 6,1$) шельфового землетрясения (ЮЗ Сахалин) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2. С. 35–47.
40. Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Чун Ун Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник ДВО РАН. 2007. № 4. С. 64–71.
41. Лукк А.А., Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 210 с.
42. Лыскова Е.Л. Глубокофокусные землетрясения // Вопросы геофизики. Вып. 47. (Ученые записки СПбГУ; №447) / Под ред. В.Н. Трояна, Н.И. Успенского, А.К. Сараева. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2014. С. 62–74.
43. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.
44. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с.
45. Мониторинг сейсмоактивных зон Хабаровского края / Корчагин Ф.Г., Бормотов В.А., Быков В.Г., Горнов П.Ю., Каплун В.Б., Кузнецов В.Е., Лунева М.Н., Меркулова Т.В., Онухов Ф.С., Тимофеев В.Ю. Владивосток: Дальнаука, 2002. 240 с.
46. Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмическая обстановка региона Приморья и Приамурья за 1865–2009гг. // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симп., 1-4 июня 2010 г. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН им.Ю.А. Косыгина, 2010. С. 154–157.
47. Никифоров В.М., Дмитриев И.В., Старжинский С.С. Глубинная геоэлектрическая структура и сейсмичность Приморья (Дальний Восток) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 18–25.
48. Николаев В.В. Танлу-Курский разлом: структура фундамента и сейсмичность // Проблемы тектоники, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики. Хабаровск: Приамурский филиал Географического общества СССР ДВО АН СССР, 1992. С. 81–92.
49. Николаев В.В., Врублевский А.А., Ахмадулин В.А., Кузнецов В.Е. Геодинамика и сейсмическое районирование материковой части Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 2000. 90 с.
50. Овсяченко А.Н., Калинина А.В., Аммосов С.М., Вакарчук Р.Н., Новиков С.С., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Использование сейсморазведки методом MASW в сейсмостектонических исследованиях (на примере Дальнего Востока России) // Инженерные изыскания. 2013. № 2. С. 38–48.
51. Овсяченко А.Н., Новиков С.С., Мараханов А.В. Новые данные об активных разломах нижнего Приамурья // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания (г. Иркутск, 18–21 августа 2009 г.). – В 2-х т. Иркутск: ИЗК СО

- РАН, 2009. Т. 1. С. 183–185.
52. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Новиков С.С., Диденко А.Н., Имаев В.С. Задачи прогноза сейсмической опасности территории Нижнего Приамурья: палеосейсмологический и сейсмологический аспекты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37, № 2. С. 59–75.
 53. Олейников А.В., Олейников Н.А. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмогеология Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2001. 185 с.
 54. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмогеология. Владивосток: Дальнаука, 2009. 164 с.
 55. Органова Н.М. Сейсмическое проявление современных движений юга Дальнего Востока и сопредельных территорий // Современные движения земной коры. М.: Радио и связь, 1982. С. 103–108.
 56. Осипов В.И. Биосфера и экологическая безопасность: юбилейная лекция. М.: РУДН. 2017. 136 с.
 57. Оскорбин Л.С. Районирование юга Дальнего Востока по сейсмогенным зонам / Геодинамика тектоноферры зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 111–153.
 58. Петров О.В., Зубова Т.Н., Вербицкий В.Р. (ВСЕГЕИ). Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 // Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 19–33.
 59. Пояснительная записка к комплекту карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016 и список населенных пунктов расположенных в сейсмоактивных зонах // Инженерные изыскания. 2016. №7. С. 49–121.
 60. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 75–114.
 61. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005. Южно-Сахалинск: ИМиГ ДВО РАН. 1960. С.75–114.
 62. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
 63. Салун С.А. Тектоника и история развития Сихотэ-Алиньской геосинклинальной складчатой системы. М.: Недра, 1978. 183 с.
 64. Сапрыгин С.М., Василенко Н.Ф., Соловьев В.Н. Распространение волны тектонических напряжений по Евразийской плите в 1978–1983 гг. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 3. С. 701–709.
 65. Сахро В.Г. Новейший и современный вулканизм Юга Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 128 с.
 66. Сейсмоструктура и сейсмическое районирование Приамурья / Николаев В.В., Семенов Р.М., Оскорбин Л.С., Карсаков Л.П., Малышев Ю.Ф., Онухов Ф.С., Ставров В.Н. Новосибирск: Наука, 1989. 128 с.
 67. Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли // Вестник РАН. 2004. Т. 74, № 8. С. 701–715.
 68. Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов: Дис. кан. физ.-мат. наук. М: МИФИ, 2005. 119 с.
 69. Степашко А.А. Глубинные основы сейсмоструктуры Дальнего Востока: Приамурская и Приморская зоны // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 3–15.
 70. Степашко А.А. Глубинные основы сейсмоструктуры Дальнего Востока: Сахалинская зона // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 3. С. 50–63.
 71. Степашко А.А. Структура литосферной мантии Сибирского кратона и сейсμοдинамика деформационных волн в Байкальской сейсмической зоне // Геодинамика и тектонофизика. 2013. Т. 4, № 4. С. 387–415.
 72. Степашко А.А., Меркулова Т.В. Глубинная структура, генезис и сейсмическая активизация Буреинского орогена, Дальний Восток России // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, № 4. С. 3–17.
 73. Степашко А.А., Меркулова Т.В., Диденко А.Н. Геодинамика и закономерности сейсмичности восточного сегмента буферной зоны Амурской плиты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37, № 4. С. 28–43.
 74. Стрельцов М.И., Рождественский В.С. Активные разломы Курило-Охотского региона, Сахалина, Приморья и Приамурья // Сейсмичность и сейсмическое районирование северной Евразии. М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2–3. С. 387–407.
 75. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Соловьев В.М., Шибяев С.В., Петров А.Ф., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В. Межплитные границы дальневосточного региона России по результатам GPS измерений, сейсморазведочных и сейсмологических данных // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 4. С. 489–507.
 76. Тимофеев В.Ю., Горнов П.Ю., Ардюков Д.Г. и др. Результаты анализа данных GPS измерений (2003–2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихотэ-Алиньской сети // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 4. С. 39–49.
 77. Тимофеев В.Ю., Казанский А.Ю., Ардюков Д.Г., Метелкин Д.В., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В., Гильманова Г.З. О параметрах вращения Сибирского домена и его восточного обрамления в различные геологические эпохи // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30, № 4. С. 21–31.
 78. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 3, С. 64–77.
 79. Трофименко С.В. Тектоническая модель сейсмичности северо-восточного сегмента Амурской плиты в

- двух фазах вращения Земли // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35, № 6. С. 38–45.
80. Трофименко С.В., Быков В.Г. Пространственно-временные распределения землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения модуля скорости вращения Земли // Вулканонология и сейсмология. 2017. № 2. С. 62–73.
 81. Уломов В.И. Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физика Земли. 1993. № 4. С. 43–53.
 82. Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации // Физика Земли. 1998. № 9. С. 20–38.
 83. Уфимцев Г.Ф. Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск: Наука, 1984. 183 с.
 84. Уфимцев Г.Ф., Алексеенко С.Н., Онухов Ф.С. Морфотектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 6. С. 81–93.
 85. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с.
 86. Фридман А.М., Клименко А.В., Поляченко Е.В. и др. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения // Вулканонология и сейсмология. 2005. № 1. С. 67–74.
 87. Хуторской М.Д., Поляк Б.Г. Роль радиогенной генерации в формировании поверхностного теплового потока // Геотектоника. 2016. № 2. С. 43–61.
 88. Шерман С.И. Новые данные о закономерностях активизации разломов в Байкальской рифтовой системе и на сопредельной территории // ДАН. 2007. Т. 415, № 1. С. 110–114.
 89. Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Новосибирск: ГЕО, 2014. 359 с.
 90. Шерман С.И., Сорокин А.П., Сорокина А.Т., Горбунова Е.А., Бормотов В.А. Новые данные об активных разломах и зонах современной деструкции литосферы Приамурья // ДАН. 2011. Т. 439, № 5. С. 685–691.
 91. Эйби Дж.А. Землетрясения. М.: Недра, 1982. 264 с.
 92. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмоструктурных деформаций. М.: Наука, 1990. 191 с.
 93. Argus D. F., Gordon R.G., DeMets. Geologically current motion of 56 plates relative to the no-net-rotation reference frame // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2011. V.12, N. 11. P. 1–13.
 94. AutoSignal – pioneering automated signal analysis and advanced filtering. User Guide. SeaSolve Software Inc. 2003. [http:// www. seasolve.com](http://www.seasolve.com).
 95. Barth A., Wenzel F. New constraints on the intraplate stress field of the Amurian plate deduced from light earthquake focal mechanisms // *Tectonophysics*. 2010. V. 482. P. 160–169.
 96. Bella F., Biagi P.F., Caputo M., Della Monica G., Ermini A., Manjgaladze P., Sgrigna V., Zilpimian D. Very slow-moving crustal strain disturbances // *Tectonophysics*. 1990. V. 179. P. 131–139.
 97. Chen D., Zhang F., Chen H., Dilek Y., Yang S., Meng Q., Yang C. Structural architecture and tectonic evolution of the Fangzheng sedimentary basin (NE China), and implications for the kinematics of the Tan-Lu fault zone // *J. Asian Earth Sci.* 2015. V. 106. P. 34–48.
 98. Deng Q., Zhang P., Ran Y. et al. Basic characteristics of active tectonics of China // *Science in China Series D-Earth Sciences*. 2003. V. 46, N. 4. P. 356–372.
 99. Frohlich C. *Deep Earthquakes*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. 574 p.
 100. Harada M., Furuzawa T., Teraishi M., Ohya F. Temporal and spatial correlations of the strain field in tectonic active region, southern Kyusyu, Japan // *Journal of Geodynamics*. 2003. V. 35. P. 471–481.
 101. Ishii H., Sato T., Takagi A. Characteristics of strain migration in the northeastern Japanese Arc(I) – Propagation characteristics // *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5. Geophysics*. 1978. V. 25. P. 83–90.
 102. Kasahara K. Migration of crustal deformation // *Tectonophysics*. 1979. V. 52. P. 329–341.
 103. Khanchuk A.I., Kemkin I.V. Jurassic geodynamic history of the Sikhote-Alin-Priamurye region / Late Jurassic margin of Laurasia: a record of faulting accommodating plate rotation / Ed. T.N. Anderson et. al. Boulder, Colorado: Geol. Soci. Amer., 2015. P. 509–525.
 104. Kirby S.H. Localized polymorphic phase-transformation in high-pressure faults and applications to the physical-mechanism of deep earthquakes // *J. Geophys. Res. B, Solid Earth Planets*. 1987. V. 92. P. 13789–13800.
 105. Kirby S.H., Stein S., Okal E.A., Rubie D.C. Metastable mantle phase transformations and deep earthquakes in subducting oceanic lithosphere // *Rev. Geophys.* 1996. V. 34. P. 261–306.
 106. Liu K.H., Gao S.S., Gao Y. and Wu J. Shear wave splitting and mantle flow associated with the deflected Pacific slab beneath northeast Asia // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. P. 1–15.
 107. Liu M., Yang Y., Shen Zh. et al. Active tectonics and intracontinental earthquakes in China: The kinematics and geodynamics // *The Geological Society of America Special Paper*. 2007. V. 425. P. 299–318.
 108. Lowrie W. *Fundamentals of Geophysics*. 2nd Edition. Cambridge: University Press, 2007. 374 p.
 109. Maden N., Gelisli K., Eyuboglu Ye., Bektas O. Determination of Tectonic and Crustal Structure of the Eastern Pontide Orogenic Belt (NE Turkey) Using Gravity and Magnetic Data // *Pure and Applied Geophysics*. 2009. V. 166. P. 1987–2006.

110. Mogi K. Global variation of seismic activity // *Tectonophysics*. 1979. V. 57. P. 43–50.
111. Ogawa M. Shear instability in a viscoelastic material as the cause of deepfocus earthquakes // *J. Geophys. Res. B, Solid Earth Planets*. 1987. V. 92. P. 13801–13810.
112. Seton M., Muller R.D., Zahirovic S., et al. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma // *Earth-science Reviews*. 2012. V. 113. P. 212–270.
113. Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Takahashi H., Kasahara M., Bormotov V.A., Bykov V.G., Kolomiets A.G., Gerasimov G.N., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Kato T. Present tectonics of the southeast of Russia as seen from GPS observations // *Geophys. J. Int.* 2011. V. 184. P. 529–540.
114. Spector A., Grant F.S. A Statistical models for interpreting aeromagnetic data // *Geophysics*. 1970. V. 35, N. 2. P. 293–302.
115. Tanaka A., Okubo Y., Matsubayashi O. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia // *Tectonophysics*. 1999. V. 306. P. 461–470.
116. The International Disaster Data: <http://emdat.be/>.
117. Trofimenko S.V., Bykov V.G., Merkulova T.V. Space-time model for migration of weak earthquakes along the northern boundary of the Amurian microplate // *Journal of Seismology*. 2017. V. 21, № 2. P. 277–286.
118. Turcotte D.L. *Fractals and chaos in geology and geophysics*. 2nd edn. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1977. 398 p.
119. Wang S., Zhang Z. () Plastic-flow waves (“slow waves”) and seismic activity in Central-Eastern Asia // *Earthquake Research in China*. 2005. V. 1. P. 74–85.
120. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // *Bull. Seis. Soc. Am.* 1994. V. 84, № 4. P. 974–1002.
121. Xu J.W., Zhu G., Tong W., Cui K., Liu Q. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean // *Tectonophysics*. 1987. V. 134. P. 273–310.

ПРИЛОЖЕНИЕ

по [Пояснительная записка ..., 2016]

Список населенных пунктов Амурской области, Еврейской автономной области, Приморского края и Хабаровского края, расположенных в сейсмоактивных зонах, характеризующихся сейсмической интенсивностью 6 и более баллов по шкале MSK-64 для средних грунтовых условий и трех уровней сейсмической опасности (вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет, равных 10, 5, 1 % для карт ОСП-2016-А, ОСП-2016-В, ОСП-2016-С, соответственно).

Населенный пункт	Карты ОСП-2016			Населенный пункт	Карты ОСП-2016			Населенный пункт	Карты ОСП-2016		
	А	В	С		А	В	С		А	В	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ											
Албазинка		-	6	Калиновка	-	-	6	Преображеновка	-	6	6
Албазино	7	7	8	Касаткино	7	7	8	Пригородное	-	-	6
Алгач	7	8	8	Каховка	-	-	6	Придорожное	-	-	6
Алексеевка	6	6	7	Кивда-Тюкан	6	6	7	Прогресс	6	6	7
Амаранка	-	-	6	Климоуцы	-	-	6	Раздольное	-	-	6
Амуру-Балтийск	7	8	8	Ключи	-	-	6	Райчихинск	-	6	7*
Амурское	-	-	6	Коболдо	7	7	8	Рогозовка	-	-	6
Андреевка	-	-	6	Коврижка			6	Родионовка	6	6	7
Анновка	-	-	6	Козьмодемьяновка			6	Романовка	-	-	6
Аносовский	7	8	8	Константиновка	-		6	Ромны	-	-	6
Антоновка (Архаринский р-н)	7	7	8	Короли	-		6	Садовое	-	-	6
Антоновка (Завитинский р-н)	-	6	6	Коршуновка	-		6	Саскаль	-	-	6
Апрельский	7	8	8	Красное	-		6	Свободный	-	-	6
Арга	-	-	6	Красноярково	-		6	Святоруссовка	-	-	6
Аркадьевка	7	7	8	Крестовоздвиженка	-		6	Северное	6	6	7
Арсентьевка	-	-	6	Кувькта	7	8	8	Селеткан	-	-	6
Архара	7	7	8	Кузнецово	6	6	7	Семеновка	-	-	6
Безозерное	-	-	6	Кундур	7	7	8	Семидомка	-	-	6
Белогорск	-	-	6	Куприяновка			6	Серебрянка	-	-	6
Белогорье	-	-	6*	Куприяново		6	6	Серышево	-	-	6*
Белоцерковка	-	-	6	Куропатино			6	Сиваки	6	6	7
Белый Яр	-	-	6	Лазаревка	-		6	Симоново	-	-	6
Береговой	7	8	8	Ларба	7	8	9	Сковородино	7	8	8
Берея	-	-	6	Ленинское	7	7	8	Снежногорский	7	8	8
Благовещенск	-	-	6*	Лермонтовка	-		6	Солнечный	7	8	9
Болдыревка	-	-	6	Лермонтово	-		6	Соловьевск	7	8	9
Бомнак	7	7	8	Лиманное	-		6	Сосновый Бор	7	8	9
Борисоглебка	-	-	6	Магдагачи	7	7	8	Среднеполтавка	-	-	6
Буря	6	6	7	Майский	6	6	7	Среднерейновский	7	8	8
Варваровка	-	-	6	Максимовка			6	Стойба	7	7	8
Васильевка	-	-	6	Мал. Сазанка			6	Талакан	6	7	8*
Верх. Уртуй	-	-	6	Малиновка	6	6	7	Талали	-	-	6
Верхнезейск	7	7	8	Маркучи			6	Талдан	7	8*	8
Верхнеильиновка	-	6	6	Михайловка	-		6	Тамбовка	-	-	6
Верхнеполтавка	-	-	6	Могилевка	7	7	8	Тахтамыгда	7	8	9
Винниково	-	6	7	Могот	7	7	8	Токур	7	7	8
Виноградовка	-	6	7	Мухино	-	6	6	Толбузино	7	7	8
Водораздельное	-	-	6	Мухинский	-		6	Толстовка	-	-	6
Возжаевка	-	-	6	Невер	7	8		Томское	-	-	6
Войково	-	-	6	Некрасовка			6	Трудовой	-	-	6
Волково	-	-	6	Ниж. Бузули			6	Тыгда	7	7	8
Вольное	7	7	8	Ниж. Ильиновка			6	Тында	7	8	8
Воскресеновка	-	-	6	Ниж. Полтавка			6	Углегорск			6
Восточный (Октябрьский р-н)	-	-	6	Николаевка			6	Украинка			6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Восточный (Тындинский р-н)	7	8*	8	Николо-Александровка			6	Умлекан	7	7	8
Гильчин	-	-	6	Новоалександровка	-		6	Ураловка	6	6	7
Глухари	-	-	6	Новоалексеевка (Ивановский р-н)	-		6	Урил	7	7	8
Голубое	-	-	6	Новоалексеевка (Октябрьский р-н)			6	Уркан	7	8	9
Гонжа	7	7	8	Новобурейский	6	7*	7	Уруша	7	8	9
Горный	7	7	8	Нововоскресенка	-	6	6	Успеновка(Бурепский р-н)		6	6
Грибовка	7	7	8	Новогеоргиевка			6	Успеновка (Завитинский р-н)		-	6
Грибское	-	-	6	Новое			6	Усть-Ивановка			6
Гудачи	7	8	8	Новоивановка			6	Усть-Кивда	6	6	7
Дактуй	7	7	8	Новокиевский Увал			6	Усть-Нюкжа	8	9	>9
Дальневосточный	-	-	6	Новопетровка			6	Усть-Уркима	7	8	8
Джалинда	7	7	8	Новорайчихинск	6	6	7	Ушаково			6
Дим	-	-	6	Новосергеевка	7	7	8	Ушумун	6	7	8
Дипкун	7	7	8	Новоспасск	6	6	7	Февральск	7*	7	8
Дмитриевка (Ивановский р-н)	-	-	6	Новостепановка	-		6	Фроловка		-	6
Дмитриевка (Свободненский р-н)	-	-	6	Новотроицкое	-	-	6	Хвойный	7	7	8
Дубовое	-	-	6	Новочесноково	-	6	6	Хорогочи	7	8	8
Дугда	7	8	9	Овсянка	7	8	8	Чагоян			6
Дюгабуль	8	8	9	Огоджа	7	7	8	Чалбачи	7	8	8
Екатеринославка	-	-	6	Огорон	7	8	9	Черемхово			6
Ерковцы	-	-	6	Озерное		-	6	Черниговка (Архаринский р-н)	6	7	8
Ерофей Павлович	7	8	8	Октябрьский	7	7	8	Черниговка (Свободненский р-н)			6
Жариково	-	-	6	Олекма	8	9	>9	Чернясво	6	7	8
Желтоярово	-	-	6	Орловка			6	Чесноково			6
Завитинск	-	6*	6	Отважное	7	7	8	Чеугда	6	7	8
Зеленый Бор	-	-	6	Панино			6	Чигири			6
Зельвино	-	6	7	Первомайское	7	8	8	Чильчи	7	8	9
Зeya	7	8	9	Переясловка	-	-	6	Шимановск	-	-	6
Златоустовск	7	7	8	Петропавловка	-	-	6	Широкий	-	6	7
Знаменка	-	-	6	Петруши	-	-	6	Широкий Лог	-	-	6
Золотая Гора	7	8	9	Плодопитомник	-	-	6	Экимчан	7	7	8
Ивановка	-	-	6	Поздеевка	-	-	6	Юбилейный	7	7	8
Ивановское	7	7	8	Поляковский	7	7	8	Юктали	8	9	>9
Игнашино	7	7	8	Поляна	-	-	6				
Ильиновка	-	-	6	Поярково	-	-	6				
Калинино	-	6	7	Правовосточное	-	-	6				
ЕВРЕЙСКАЯ АВТОНОМНАЯ ОБЛАСТЬ											
Аур	7	7	8	Желтый Яр	7	7	8	Облучье	7	7	8
Бабстово	7	7	8	Известковый	7	7	8	Партизанское	7	7	8
Башмак	7	7	8	Им. Тельмана (Смидовичский р-н) 6	7	7	Пашк ово	7	7	8	
Башурово	7	7	8	Им. Тельмана (Ленинский р-н)	6	7	8*	Песчаное	7	7	8
Биджан	7	7	8	Калинино	7	7	8	Полевое	7	7	8
Бира	7	7	8	Камышовка	6	7	8	Преображеновка	7	7	8
Биракан	7	7	8	Кимкан	7	7	8	Приамурский	6	7	8*
Биробиджан	7	7	8	Кирга	7	7	8	Птичник	7	7	8
Бирофельд	7	7	8	Кирово	7	7	8	Пузино	7	7	8
Благословенное	7	7	8	Красивое	7	7	8	Радде	7	7	8
Будукан	7	7	8	Кукелево	7	7	8	Ручейки	7	7	8
Валдгейм	7	7	8	Кульдур	7	7	8	Самара	7	7	8
Венцелево	7	7	8	Лазарево	7	7	8	Смидович	7	7	8
Волочаевка-1	7	7	8	Ленинское	7	7	8	Степное	7	7	8
Волочаевка-2	7*	7	8	Лондоко	7	7	8	Столбовое	7	7	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Воскресеновка	7	7	8	Нагибово	7	7	8	Теплоозерск	7	7	8
Даниловка	7	7	8	Надеждинское	7	7	8	Хинганск	7	7	8
Двуречье	7	7	8	Найфельд	7	7	8	Чурки	7	7	8
Дежнево	7	7	8	Николаевка	6	7	8				
Дубовое	7	7	8	Новое	7	7	8				
ПРИМОРСКИЙ КРАЙ											
Абрамовка	6	6	7	Кировский	6	6	7	Прилуки	6	6	7
Авангард	6	6	8	Кневичи	6	6	7	Приморский	6	6	7
Авдеевка	6	6	7	Кокшаровка	6	7	8	Прохладное	6	6	7
Агзу	6	6	7	Комаровка	6	6	7	Прохоры	6	6	7
Александрова	6	6	7	Комиссарове	6	6	7	Путятин	6	6	7
Алтыновка	6	6	7	Корсаковка	6	6	7	Пшеницыно	6	7	8
Амгу	7	7	8	Краскино	6	6	7	Раздольное	6	6	7
Андреевка	6	6	7	Краснореченский	6	7	8	Ракитное	6	7	7
Анна	6	6	7	Красный Кут	6	6	7	Раковка	6	6	7
Антоновка (Кировский р-н)	6	6	7	Красный Яр	6	7	8	Реттиховка	6	6	7
Антоновка (Чугуевский р-н)	6	7	8	Кремове	6	6	7	Рождественка	6	6	7
Анучино	6	6	7	Кролевцы	6	6	7	Романовка	6	6	7
Ариадное	6	7	8	Кронштадка	6	6	7	Рошино	6	7	8
Арсеньев	6	7*	7	Крыловка	6	7	7	Рудная Пристань	7	7	8
Артем	6	6	7	Курское	6	6	7	Рудный	6	7	8
Артемовский	6	6	7	Лазо (Дальнереченский гор. округ)	6	6	7	Ружино	6	6	7
Астраханка	6	6	7	Лазо (Лазовский р-н)	6	7	8	Руновка	6	6	7
Барабаш	6	6	7	Лесозаводск	6	6	7	Русский	6	6	7
Барабаш- Левада	6	6	7	Летно-Хвалынское	6	6	7	Сальское	6	6	7
Барано-Оренбургское	6	6	7	Ливадия	6	6	7	Самарга	6	7	8
Беневское	6	7	8	Липовцы	6	6	7	Самарка	6	7	8
Березовка	6	7	8	Лукьяновка	6	7	7	Саратовка	6	7	8
Благодатное	6	6	7	Лучегорск	6	6	7	Светлая	7	7	8
Боголюбовка	6	7	8	Лучки	6	6	7	Светлогорье	6	6	7
Богуславка	6	6	7	Любитовка	6	7	8	Свягино	6	6	7
Большой Камень	6	6	7	Ляличи	6	6	7	Серафимовка	6	7	7
Борисовка	6	6	7	Максимовка	7	7	8	Сергеевка (Партизанский р-н)	6	6	8
Бровничи	6	6	7	Мал. Кема	7	7	8	Сергеевка (Пограничный р-н)	6	6	7
Булыга-Фадеево	6	7	8	Малиново	6	7	8	Сержантово	7	7	8
Буссеевка	6	6	7	Маргаритово	6	7	7	Сибирцево	6	6	7
Вадимовка	6	6	7	Марково	6	6	7	Сиваковка	6	6	7
Валентин	6	7	7	Мартынова Поляна	6	7	8	Синий Гай	6	6	7
Варфоломеевка	6	7	7	Марьяновка	6	7	7	Славянка	6	6	7
Васильковка	6	6	7	Междуречье	6	7	7	Смоляниново	6	6	7
Вассиановка	6	6	7	Мельники	6	6	7	Соболиный	6	7	8
Веденка	6	6	7	Мельничное	6	7	8	Соколовка	6	7	8
Верх. Бреевка	6	7	8	Меркушевка	6	6	7	Спасск-Дальний	6	6	7
Верх. Перевал	6	7	7	Милоградово	6	7	7	Спасское	6	6	7
Веселый Яр	6	7	8	Михайловка	6	6	7	Стар. Ключ	6	6	7
Вишневка	6	6	7	Многоудобное	6	6	7	Староварваровка	6	6	7
Владивосток	6	6	7	Молчановка	6	6	8	Старосысоевка	6	6	7
Владими́ро-Александровское	6	6	8	Монастырище	6	6	7	Степное	6	6	7
Владимировка	6	6	7	Моряк-Рыболов	6	7	7	Стретенка	6	6	7
Владими́ро-Петровка	6	6	7	Муравейка	6	6	7	Суражевка	6	6	7
Воздвиженка	6	6	7	Нагорное	6	6	7	Тавричанка	6	6	7
Вознесенка	6	6	7	Находка	6	6	8*	Таежное	6	7	8
Волчанец	6	6	7	Невское	6	6	7	Терней	7	7	8
Вольно-Надеждинское	6	6	7	Нежино	6	6	7	Тигровой	6	6	7
Воскресенка	6	6	7	Нестеровка	6	6	7	Тимирязевский	6	6	7
Восток	6	7	8	Николаевка	6	6	8	Тимофеевка	7	7	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вострецово	6	7	8	Новицкое	6	6	8	Тихменево	6	6	7
Врангель	6	6	8	Нововладимировка	6	6	7	Троицкое	6	6	7
Высокогорск	6	7	8	Новогеоргиевка	6	6	7	Трудовое	6	6	7
Гайворон	6	6	7	Новодевица	6	6	7	Турий Рог	6	6	7
Галенки	6	6	7	Новокачалинск	6	6	7	Уборка	6	7	8
Глубинное	6	7	8	Новокрещенка	6	7	8	Увальное	6	6	7
Гоголевка	6	6	7	Новомихайловка	6	7	8	Углекаменск	6	6	8
Горбатка	6	6	7	Новонежино	6	6	7	Угловое	6	6	7
Горное	6	6	7	Новоникольск	6	6	7	Уссурийск	6	6	7
Горнореченский	6	7	8	Новопокровка	6	7	8	Уссурка	6	6	7
Горные Ключи	6	6	7	Новороссия	6	6	7	Установка	6	7	7
Горный	6	7	8	Новоселище	6	6	7	Усть-Соболевка	7	7	8
Гражданка	6	6	7	Новосельское	6	6	7	Федосьевка	6	6	7
Григорьевка	6	6	7	Новостройка	6	6	7	Фокино	6	6	7
Дальнегорск	7*	7	8	Новосысоевка	6	7	7	Фроловка	6	6	8
Дальнереченск	6	6	7	Новошахтинский	6	6	7	Хасан	-	6	7
Дальний Кут	6	7	8	Новый	6	6	7	Хвалынка	6	6	7
Дмитриевка	6	6	7	Октябрьское	6	6	7	Хвищанка	6	7	7
Дубовское	6	6	7	Олений	6	6	7	Хмыловка	6	6	8
Дунай	6	6	7	Ольга	6	7	8*	Хороль	6	6	7
Духовское	6	6	7	Орехово	6	7	8	Хрустальный	6	7	8
Екатериновка	6	6	8*	Осиновка	6	6	7	Центральное	6	6	7
Жариково	6	6	7	Павло-Федоровка	6	6	7	Черниговка	6	6	7
Заветное	6	7	8	Пантелеймоновка	6	6	7	Черноручье	6	7	8
Заводской	6	6	7	Партизанск	6	6	8*	Чернышевка	6	6	7
Загорное	6	7	7	Первомайское	6	6	7	Чистоводное	6	7	8
Занадворовка	6	6	7	Перетычиха	6	7	7	Чкаловское	6	6	7
Зарубино	6	6	7	Пермское	6	7	7	Чугуевка	6	7	8
Зеленовка	6	6	7	Петровка	6	6	7	Ширяевка	6	6	7
Зеркальное	7	7	8	Пластун	7	7	8	Шкотово	6	6	7
Золотая Долина	6	6	8	Пограничный	6	6	7	Штыково	6	6	7
Ивановка	6	6	7	Подъяпольское	6	6	7	Шумный	6	7	8
Игнатьевка	6	6	7	Пожарское	6	6	7	Щербаковка	6	7	7
Измайлиха	6	7	8	Покровка	6	6	7	Яблоновка	6	7	7
Ильинка	6	6	7	Попова	6	6	7	Яковлевка	6	7	7
Кавалерово	6	7	8	Поповка	6	6	7	Ярославский	6	6	7
Каменка	7	7	8	Поречье	6	6	7				
Камень-Рыболов	6	6	7	Посьет	6	6	7				
Киевка	6	7	8	Преображение	6	7	8				
Кипарисово	6	6	7	Преображенка	6	6	7				
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ											
Амурск	7*	7	8	Заозерное	6	7	7	Пивань	6	7	8
Анастасьевка	6	6	7	Известковый	7	7	8	Полетное	6	6	7
Аян	7	7	8	Ильинка	6	6	7	Ракитное	6	6	7
Березовый	7	7	8	Иннокентьевка	6	7	7	Санболи	7	7	8
Бикин	6	6	7	Калинка	6	6	7	Селихино	6	7	8
Бичевая	6	6	7	Князе-Волконское	6	6	7	Сергеевка	6	6	7
Богородское	7	7	8	Комсомольск-на-Амуре	7*	7	8	Сита	6	6	7
Болонь	7	7	8	Корфовский	6	6	7	Снежный	7	7	8
Большая Картель	6	7	8	Краснореченское	6	6	7	Советская Гавань	7	7	8
Бриакан	7	7	8	Лазарев	8	8	9	Согда	7	7	8
Булава	7	7	8	Лермонтовка	6	6	7	Солнечный	7	7	8
Бычиха	6	7	7	Лесопильное	6	6	7	Сосновка	6	6	7
Ванино	7	7	8	Лидога	6	6	7	Софийск	7	7	8
Вознесенское	6	7	8	Литовко	7	7	8	Средний Ургал	7	7	8
Восточное	6	7*	7	Литовко	7	7	8	Сукпай	6	6	8
Высокогорный	7	7	8	Лососина	7	7	8	Таежное	6	6	7
Вяземский	6	6	7	Маго	7	7	8	Токи	7	7	8
Вятское	6	6	7	Майский	7	7	8	Тополево	6	7	7
Гайтер	6	7	8	Матвеевка	6	7	7	Троицкое	6	6	7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Галкино	6	7*	7	Маяк	6	6	7	Тырма	7	7	8
Гаровка-1	6	6	7	Мирное	6	7	7	Уктур	7	7	8
Гаровка-2	6	6	7	Мичуринское	6	7	8*	Хабаровск	6	7*	8*
Георгиевка	6	6	7	Многовершинный	7	7	8	Хор	6	6	7
Горин	7	7	8	Могилевка	6	6	7	Хурба	7*	7	8
Горный	7	7	8	Молодежный	6	7	8	Хурмули	7	7	8
Гродеково	6	6	7	Монгохто	7	7	8	Циммермановка	7	7	8
Гурское	7	7	8	Мухен	6	6	7	Чегдомын	7	7	8
Де-Кастри	7	8	8	Некрасовка	6	6	7	Черная Речка	6	6	7
Джонка	6	7	7	Николаевск-на-Амуре	7	8*	8	Черняево	6	6	7
Дормидонтовка	6	6	7	Нов. Мир	6	7	8	Эворон	7	7	8
Дружба	6	6	7	Нов. Ургал	7	7	8	Эльбан	7	7	8
Дубовый Мыс	6	6	7	Октябрьский	7	7	8	Ягодный	7	7	8
Дуки	7	7	8	Осиновая Речка	6	7*	7				
Заветы Ильича		7	8	Охотск	7	7	8				
Им. Полины Осипенко		7	8	Переяславка	6	6	7				

Звездочкой помечены населенные пункты, где проходит граница разной балльности, отнесенны к более сейсмоопасным зонам.

*А.Н. Диденко, С.В. Трофименко[†], В.Г. Быков,
Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова*

**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА
ТЕРРИТОРИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ
ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ**

*Ответственный редактор
А.Н. Диденко*

Оригинал-макет изготовлен редакционно-издательской группой
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина
680000 г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина
680000 г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

Подписано в печать
Формат 60x88/8. Печать офсетная.
Усл. п. л. Тираж 400 экз.

А.Н. Диденко, С.В. Трофименко¹, В.Г. Быков, Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова

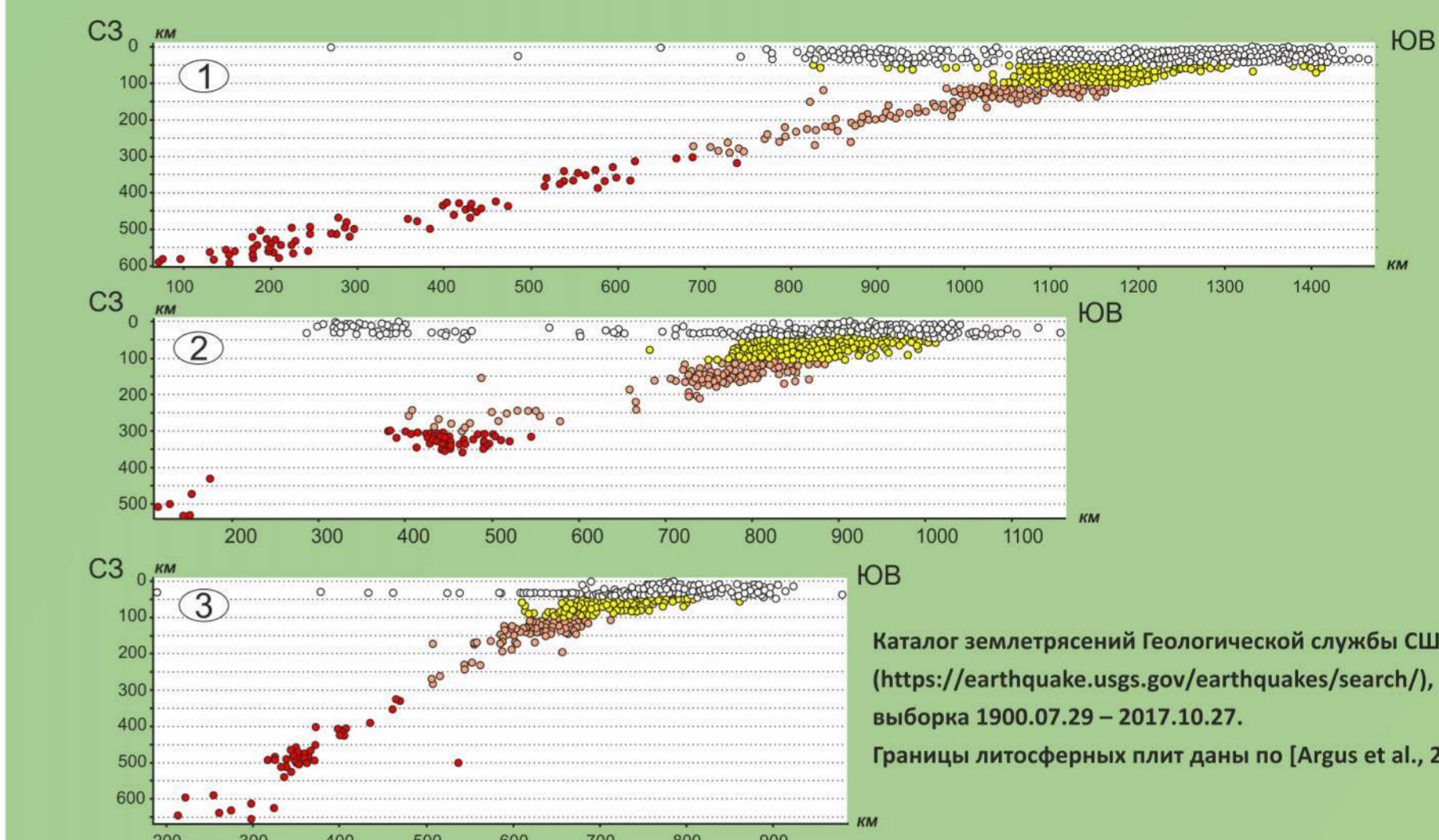
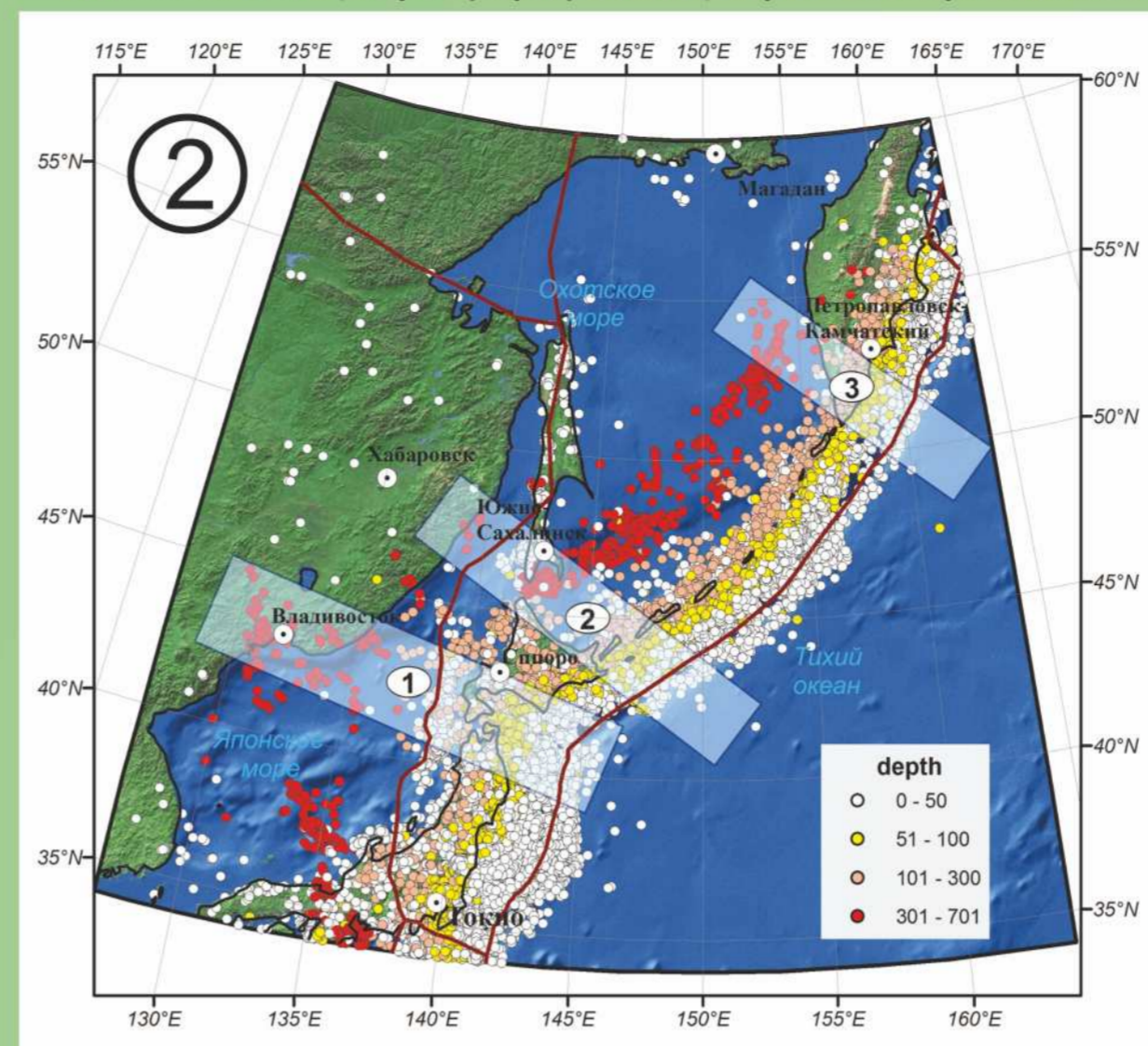
Оценка сейсмического риска территории континентальной части юга Дальнего Востока России.

Научно-популярное издание ИТИГ ДВО РАН посвящено одному из стихийных природных явлений - сейсмичности, которому в разной степени подвержен сам Сихотэ-Алиньский ороген и обрамляющая его территория. Рассмотрены базовые понятия сейсмической опасности и сейсмического риска, вопросы предотвращения катастрофических последствий и неоправданных жертв во время землетрясения. Рассчитано на широкий круг читателей: преподавателей и студентов, учителей и учеников, рабочих и служащих - на всех, кого интересуют вопросы, связанные с причинами землетрясений, развитием взглядов на природу данного явления и возможностей его предсказания, а также проблемами личной и коллективной безопасности при стихийных бедствиях, вызванных землетрясениями.

Карта землетрясений и активных тектонических структур Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий

2018 год

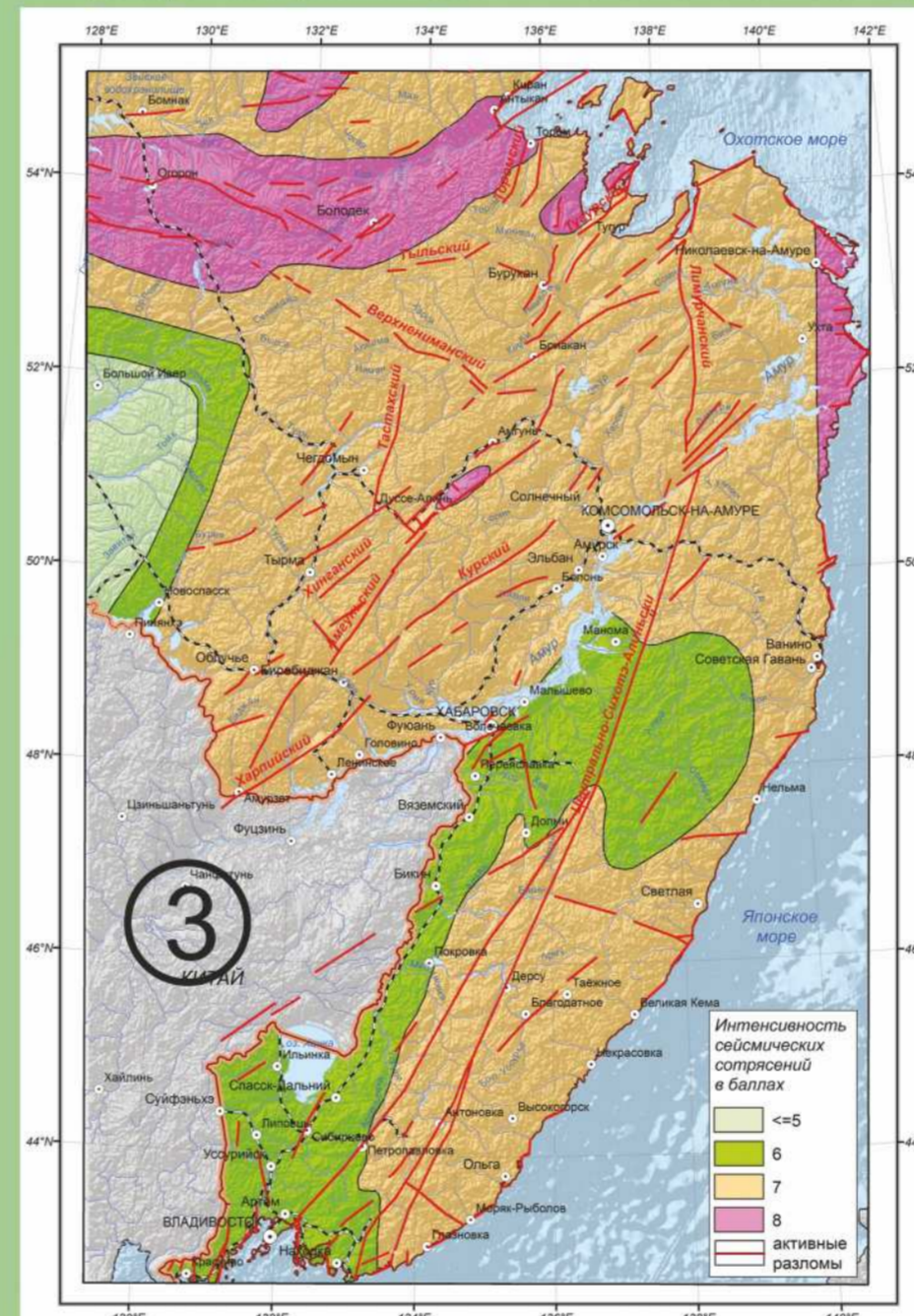
Положение эпицентров (карта) и гипоцентров землетрясений на синтезированных глубинных профилях для Японской и Курило-Камчатской островных дуг ($M \geq 4.5$)



Каталог землетрясений Геологической службы США (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>), выборка 1900.07.29 – 2017.10.27. Границы литосферных плит даны по [Argus et al., 2011]

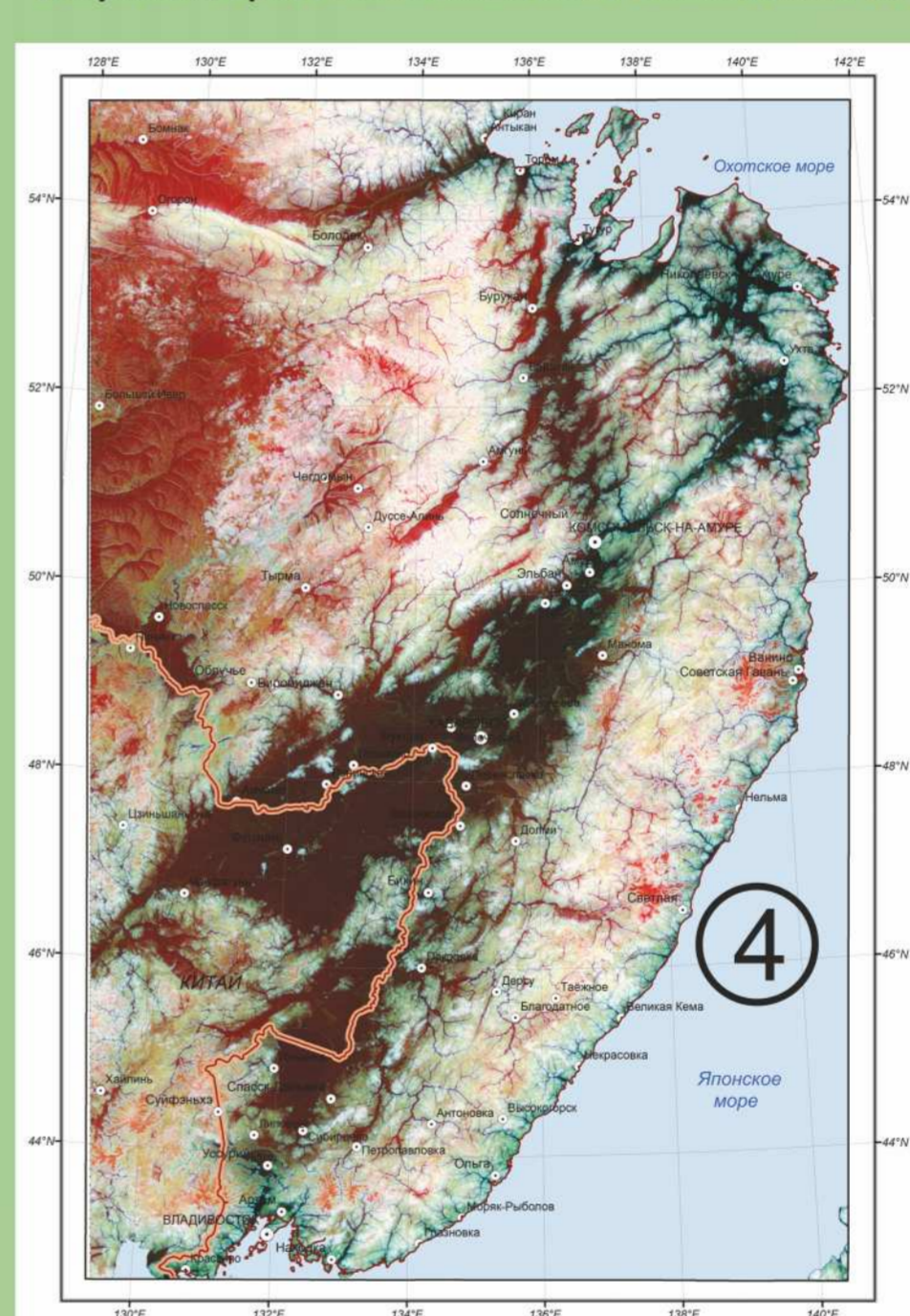
Сейсмическое районирование территории Сихотэ-Алиня согласно ОСР-2016

(5% вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет)



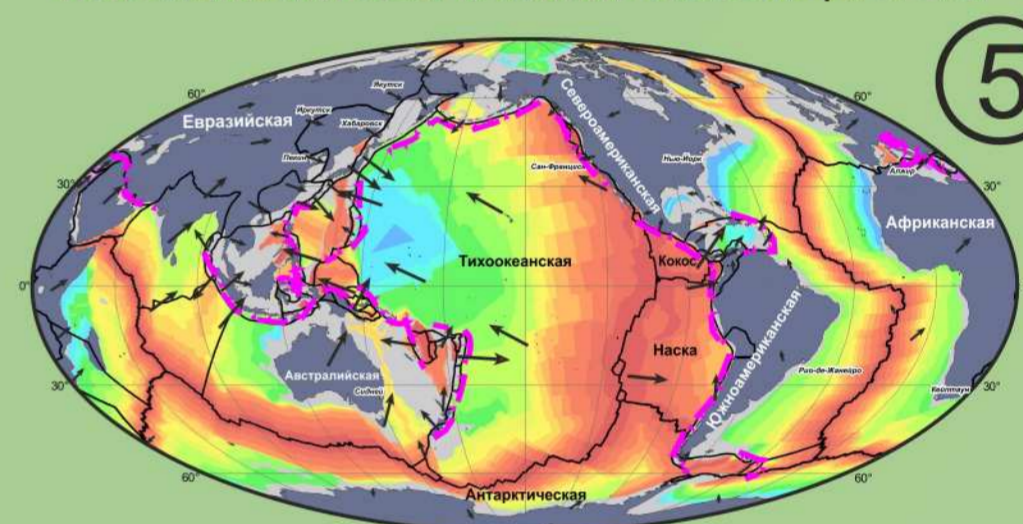
Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплексу карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах. (Инженерные изыскания. 2016. №7. С. 49-121)

Результат обработки космического снимка SRTM-03

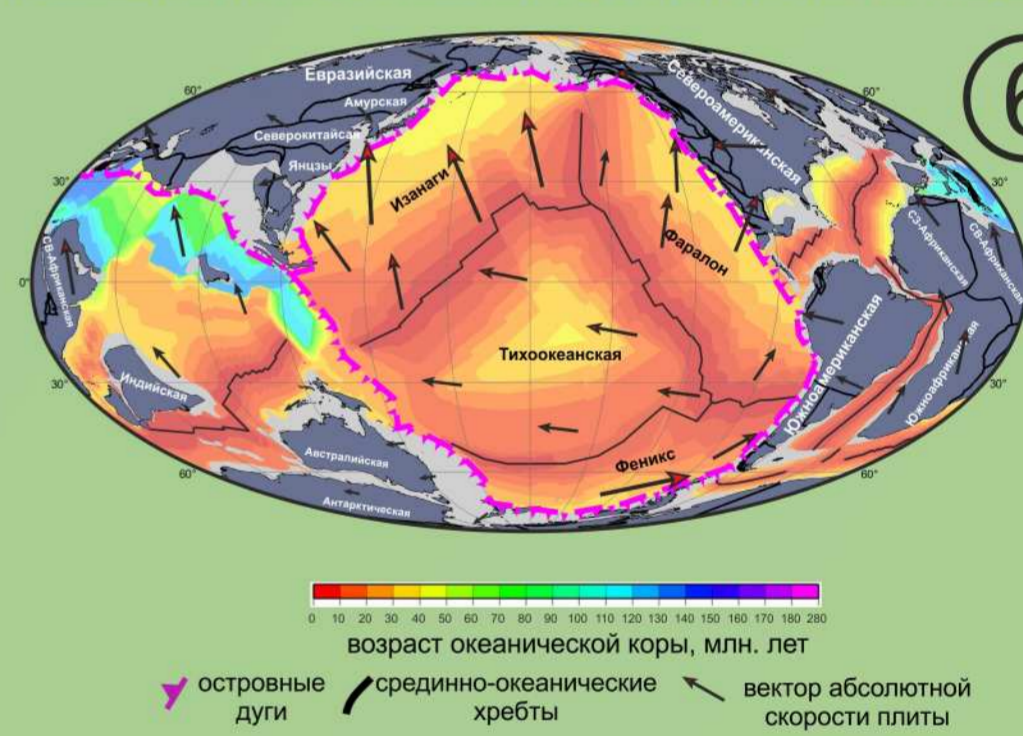


Обработка цифровых моделей рельефа (В.Ю. Забродин, О.В. Рыбас, Г.З. Гильманова. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток. Дальнаука. 2015. 132 с.+1 цв. вкл.)

ПОЛОЖЕНИЕ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ



ПОЛОЖЕНИЕ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ 100 МИЛЛИОНОВ ЛЕТ НАЗАД



Проекция Мольвейде, центральный меридиан 210°, построена в программе Gplates 2.0 (<https://www.gplates.org/>) с использованием данных (M. Seton, R.D. Müller, S. Zahirovic, et al. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma // Earth-Science Reviews. 2012. V. 113. P. 212-270).

СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Исторические	Эпицентры землетрясений						
	9-10	11	12	13	14	15	16-17
K Энергетические классы	9-10	11	12	13	14	15	16-17
M Магнитуды	2-3.6	3.7-4.2	4.3-4.7	4.8-5.3	5.4-5.8	5.9-6.5	6.6-7.7
I_o Баллы в районе эпицентра	4.2	5.3	6.1	6.8	7.6	8.8	9.4

Авторы: А.Н. Диденко, С.В. Трофименко, Г.З. Гильманова, Т.В. Меркулова. Исследование и издание осуществлено за счет средств Российского научного фонда в рамках проекта № 16-17-00015. Публикуется по решению Научного совета ФГБУН Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Вкладка к "Оценке сейсмического риска территории континентальной части юга Дальнего Востока России"

