

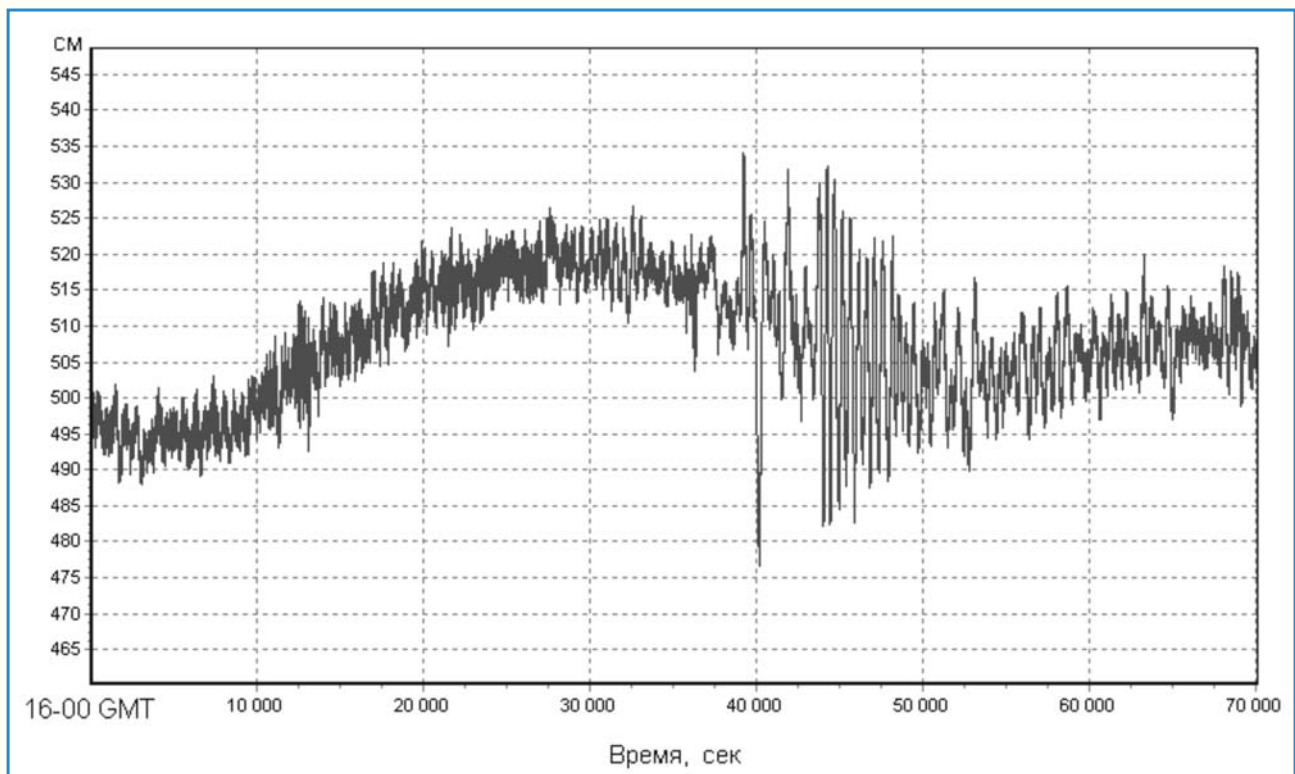


RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
FAR EASTERN BRANCH  
INSTITUTE OF MARINE GEOLOGY & GEOPHYSICS  
SAKHALIN BRANCH OF GEOPHYSICAL SURVEY RAS  
ADMINISTRATION OF THE SAKHALIN REGION

---

# THE 2 AUGUST, 2007 NEVELSK EARTHQUAKE AND TSUNAMI SAKHALIN ISLAND

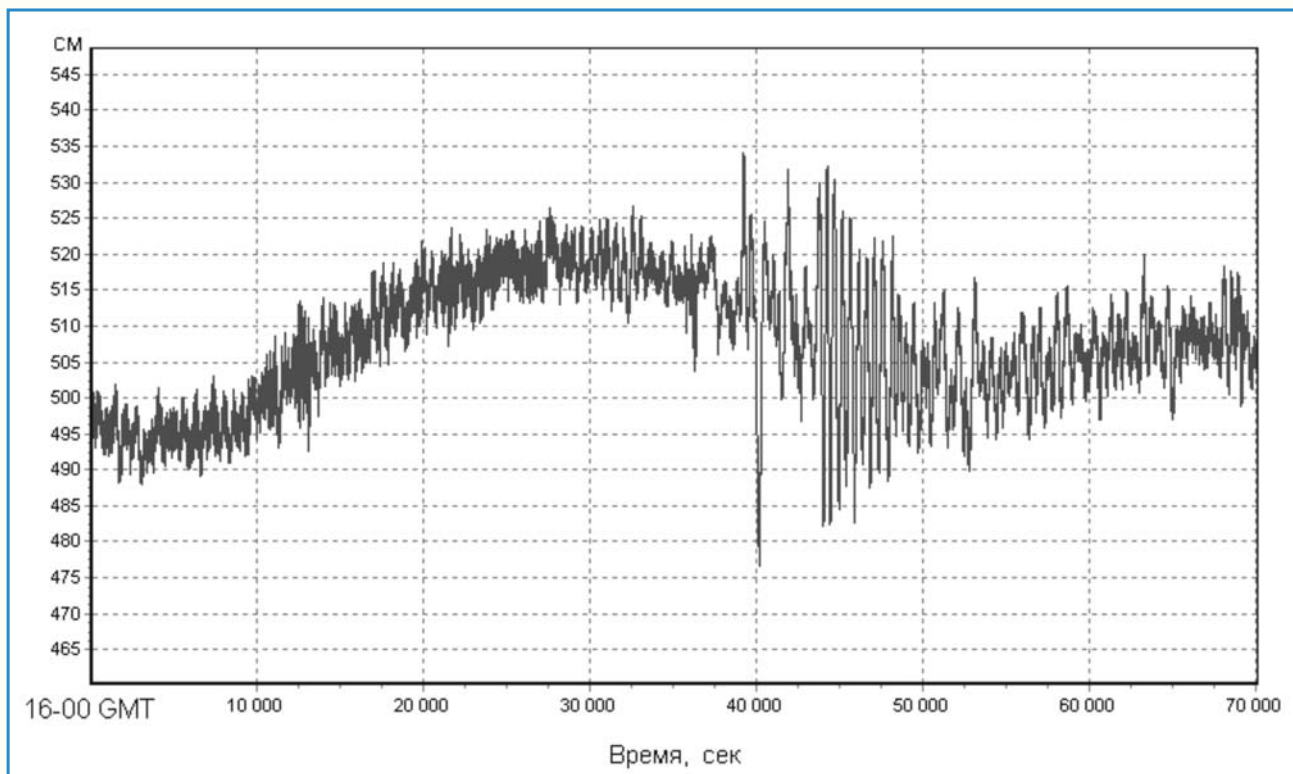
*Edited by B.W. Levin and I.N. Tikhonov*



Moscow  
«Yanus-K»  
2009

# НЕВЕЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЦУНАМИ 2 АВГУСТА 2007 ГОДА ОСТРОВ САХАЛИН

*Под редакцией Б.В. Левина и И.Н. Тихонова*



Москва  
«Янус-К»  
2009



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 09-05-07024.

УДК 550.34.01+550.343.6+550.344.37

**НЕВЕЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЦУНАМИ 2 АВГУСТА 2007 ГОДА, О.САХАЛИН /**

Б.В. Левин, И.Н. Тихонов, В.М. Кайстренко, Ч.У. Ким, Н.А. Урбан, М.Ю. Андреева, С.А. Борисов, Н.Ф. Василенко, О.А. Жердева, Т.К. Злобин, Д.Е. Золотухин, Е.П. Ивашова, Т.Н. Ивельская, О.Л. Карташова, П.Д. Ковалев, Д.П. Ковалев, Н.С. Коваленко, А.И. Кожурин, Ю.П. Королев, П.Ю. Королев, Г.Л. Кофф, Ю.Н. Левин, В.Л. Ломтев, О.А. Мельников, В.И. Михайлов, Т.В. Нагорных, С.П. Никифоров, Л.Н. Поплавская, А.С. Прытков, М.И. Рудик, Е.В. Сасорова, Д.А. Сафонов, Е.П. Семенова, Р.С. Сен, В.Н. Соловьев, А.И. Спириин, А.Л. Стром, Ю.И. Троицкая, Т.А. Фокина, В.Н. Храмушин, А.Г. Чернов, Г.В. Шевченко, О.М. Шестакова. – М.: Янус-К, 2009. – 204 с.

ISBN 978-5-8037-0444-7

Рассмотрены сейсмотектоника южной части о. Сахалин и общая характеристика сейсмичности этой территории. Описан долгосрочный прогноз сильного землетрясения на юго-западе о-ва Сахалин и его успешная реализация в результате Горнозаводского 2006 года и Невельского 2007 года землетрясений. Выполнен большой объем работ по макросейсмическому обследованию последствий этих землетрясений и цунами 2 августа 2007 г., а также оценке параметров афтершоковых последовательностей и динамике их развития в пространстве и времени. Монография содержит фотоальбом, иллюстрирующий различные проявления Горнозаводского и Невельского землетрясений, а также цунами.

**Ключевые слова:** *сейсмотектоника, землетрясения, прогноз землетрясений, инструментальные и макросейсмические данные, цунами, высота заплеска.*

Редакторы: член-корреспондент РАН Левин Б.В., к.ф.-м.н. Тихонов И.Н.

Рецензенты: д.ф.-м. М.В. Родкин, д.ф.-м. М.А. Носов.

Издано по решению Ученого Совета Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской Академии наук

Россия, 693022, Южно-Сахалинск, ул.Науки, 16. E-mail: nauka@imgg.ru

UDK 550.34.01+550.343.6+550.344.37

**The 2 August, 2007 Nevelsk earthquake and tsunami, Sakhalin Island /**

B.W. Levin, I.N. Tikhonov, V.M. Kaistrenko, Ch.U. Kim, N.A. Urban, M.Ju. Andreeva, S.A. Borisov, N.F. Vasilenko, O.A. Zherdeva, T.K. Zlobin, D.E. Zolotuhin, E.P. Ivashova, T.N. Ivetskaya, O.L. Kartashova, P.D. Kovalev, D.P. Kovalev, N.S. Kovalenko, A.I. Kozhurin, Ju.P. Korolev, P.Ju. Korolev, G.L. Koff, Ju.N. Levin, V.L. Lomtev, O.A. Melnikov, V.I. Mikhailov, T.V. Nagornyh, S.P. Nikiforov, L.N. Poplavskaya, A.S. Prytkov, M.I. Rudik, E.V. Sasorova, D.A. Safonov, E.P. Semenova, R.S. Sen, V.N. Solovjev, A.I. Spirin, A.L. Strom, Ju.I. Troitskaya, T.A. Fokina, V.N. Khramushin, A.G. Chernov, G.V. Shevchenko, O.M. Shestakova. – M.: Yanus-K – 2009. – 204 p.

ISBN 978-5-8037-0444-7

Seismotectonics of the southern part of Sakhalin Island and a general seismicity description of this territory are considered. Long-term prediction of a strong earthquake and its successful realization as a consequence of the Gornozavodsk and Nevelsk earthquakes are described. The large volume of work for a macroseismic inspection of consequences of these events is performed. The estimation of parameters of aftershock sequences and their development in space and time are made. The monograph contains photograph album of various manifestations of the Gornozavodsk and Nevelsk earthquakes.

**Key words:** *seismotectonics, earthquakes, earthquake predictions, instrumental and macroseismic data, tsunami, run-up height.*

Editors: corresponding member of RAS Levin B.W., Tikhonov I.N.

The monograph is published according to a decision of the Scientific Board of the Institute of Marine Geology & Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Russia, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki st., 1b.

© ИМГиГ ДВО РАН, 2008.

ISBN 978-5-8037-0444-7

*На передней обложке:* Разрушения Дома культуры г.Невельск в результате землетрясения 2 августа 2007 г. (фото Коваленко Н.С.)

*На титуле:* Запись колебаний уровня моря в порту г.Холмск, полученная 2 августа 2007 г. с помощью автономного цифрового донного регистратора гидростатического давления (разработка «СКТБ ЭлПА», г.Углич и Нижегородского технического университета)

*На задней обложке:* Поднятие бенча на территории Невельского порта в результате землетрясения 2 августа 2007 г. (фото Чиркова С.А.)

*Front cover:* Damages to the Nevelsk House of Culture caused by the August 2, 2007 earthquake (Photo by N.S. Kovalenko)

*Title page:* Mareograph of the sea-level fluctuations in the port of Kholmok made using self-contained digital bottom hydrostatic pressure recorder (Joint engineering development by the EIPA Specialized Design Bureau of Uglich and Technical University of Nizhny Novgorod.)

*Back cover:* Upheaval of the bench on the Nevelsk port territory caused by the August 2, 2007 earthquake (Photo by S.A. Chirkov)



А.В. Хорошавин – губернатор Сахалинской области

A.V. Khoroshavin, Governor of the Sakhalin Region

### Уважаемые читатели!

Сахалинская область – единственный субъект в Российской Федерации, расположенный на островах, каждый город и населенный пункт которого расположен в сейсмоопасной зоне. Фоновая сейсмическая опасность составляет 8–9 баллов, а порой достигает и 10-балльного уровня.

Трагедия Нефтегорского землетрясения в мае 1995 года унесла жизни 1989 человек, 802 человека получили ранения.

Позже сахалинцы испытали Углегорское, Макаровское, Долинское землетрясения, которые, к счастью, обошлись без жертв, но нанесли ущерб населению и экономике области, сотрясая дома сахалинцев, разрушая их.

2 августа 2007 года невелинская земля содрогнулась в очередной раз, принеся людям страдания и боль утраты близких.

Незамедлительно Президентом и Правительством Российской Федерации были

даны соответствующие поручения федеральным органам власти, которые уже 2 августа 2007 года вместе с администрациями Сахалинской области и Невельского муниципального района принимали меры по организации работ по ликвидации последствий землетрясения.

Два научно-исследовательских института, около 50 изыскательских, проектных, строительных компаний принимали участие в ликвидации последствий Невельского землетрясения. Искренние слова благодарности им за работу, которая продолжается и сегодня и завершится в 2010 году, когда будут сданы последние объекты социальной сферы.

Извлекая уроки из прошлых событий, администрация Сахалинской области 31 декабря 2008 года приняла областную целевую программу «Повышение сейсмостойкости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Сахалинской облас-

ти на 2009–2013 годы и на период до 2017 года».

Вы держите в руках книгу, которая явилась результатом совместного труда ученых, проектировщиков, строителей, представителей органов власти.

Думаю, книга будет полезна не только научным кругам, изучающим такое страшное природное явление, как землетрясение. Думаю, что опыт сахалинцев будет полезен в регионах, которые также испытывают на себе влияние природных и техногенных событий, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям.

С пожеланиями спокойствия, здоровья и счастливой жизни каждому из Вас.

*Губернатор Сахалинской области  
Александр Вадимович Хорошавин*

### Dear Readers!

Sakhalin Region is the only territorial subject of the Russian Federation situated on the islands with each of its cities and villages being under the earthquake hazard. The background seismic hazard level there is 8–9 Richter scale sometimes reaching a value of as high as 10.

Neftegorsk earthquake of May, 1995 took a death toll of 1989 people and left 802 people injured.

Some time later Sakhalin residents experienced Uglegorsk, Makarov and Dolinsk earthquakes which despite leaving no casualties made big damage to population and economics of the Region by shaking Sakhaliners' houses and destroying them.

On August 2, 2007 the soil of the city of Nevelsk quaked again having made people suffer and caused them anguish over the loss of their loved ones.

The President and the Government of the Russian Federation immediately made appropriate orders to Federal authorities, which as early as August 2, 2007 started to take emergency measures to organize works on elimination of the earthquake effects together with the Administration of the Sakhalin Region and the municipal district of Nevelsk.

Two research institutes and about 50 survey, design and construction Companies participated in elimination of the earthquake effects. Here are sincere words of thanks for their work which has still been carried on and will be completed by 2010 upon commissioning of the last social infrastructure projects.

Taking such events as a good lesson, the Administration of the Sakhalin Region adopted a regional – wide special program entitled «On improvement of seismic resistance of the residential housing and main life support facilities and systems of the Sakhalin Region for the 2009–2013 and until 2017» on December 31, 2008.

In your hands you are holding a book being a fruit of joint efforts by scientists, designers, construction workers and representatives of power authorities.

I think that this book will be of use not only for scientific community engaged in studying natural phenomenon as dreadful as earthquake. I am sure that Sakhalin experience will be of use for other regions also under a threat of natural and man-made disasters.

With best wishes of peace of mind, health and happiness in life for everybody.

*Alexander V. Khoroshavin  
Governor of the Sakhalin Region*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

02 августа 2007 года в 02 час 37 мин по Гринвичу (в 13 час 37 мин по сахалинскому времени) в акватории Татарского пролива вблизи о-ва Сахалин произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M_W = 6,2$ . Землетрясение было названо Невельским по ближайшему населенному пункту. В силу того, что многие здания и сооружения в г. Невельск имели дефицит сейсмоустойчивости до 1,5–2,0 баллов, землетрясение вызвало значительные разрушения. В результате два человека погибли и более десятка были ранены. Из 15 тысяч жителей около 6 тысяч остались без крова. Материальный ущерб составил более 6 млрд. рублей. Землетрясение ощущалось повсеместно по всему Южному Сахалину. Интенсивность сотрясений по шкале MSK-64 составила 7–8 баллов в г. Невельск, 6–7 баллов – в пос. Горнозаводск, 5–6 баллов – в г. Холмск, и 3–4 – в г. Южно-Сахалинск.

Данному сейсмическому событию предшествовало землетрясение с  $M_W = 5,6$ , произошедшее 17 августа 2006 г. в 15 час 20 мин по Гринвичу на юге о-ва Сахалин вблизи пос. Горнозаводск. Оно также ощущалось почти во всех населенных пунктах Южного Сахалина. С наибольшей силой оно проявилось в пос. Горнозаводское – 7 баллов. Интенсивность сотрясений убывала по мере удаления от эпицентра: пос. Шебунино – 6–7 баллов, пос. Таранай – 5 баллов, г. Анива – 4–5 баллов, г. Холмск – 4 балла, г. Южно-Сахалинск – 3–4 балла, г. Долинск и пос. Быков – 3 балла. Основные повреждения зданий и сооружений наблюдались в г. Невельск, поселках Горнозаводск, Лопатино и Шебунино. В двух первых пунктах отмечено массовое падение труб, разрыв подземных водоводов, раскрытие трещин в грунте и другие эффекты.

Невельское сейсмическое событие произошло в зоне наблюдений за слабыми землетрясениями Южного Сахалина, которые с 2001 года проводятся сотрудниками Сахалинского филиала Геофизической службы РАН и Института морской геологии и геофизики ДВО РАН. Оно предвлялось рядом

аномальных геофизических эффектов, описанных ниже. Наиболее ярким геодинамическим эффектом стал подъем морского дна и прибрежной суши на большой площади (свыше 3 кв. км) на 0,5–1,5 метра, в результате чего образовались новые участки суши на акватории вблизи берега. Наличие детальных данных о сейсмичности данного района позволило предсказать данное землетрясение в рамках долгосрочного прогноза, и теперь можно констатировать, что этот прогноз оправдался.

Невельское землетрясение приурочено к Западно-Сахалинской системе глубинных разломов земной коры, протянувшейся вдоль западного побережья острова. Согласно концепции плитовой тектоники система этих разломов находится в пределах границы между Евразийской (Амурской) и Охотской (или Северо-Американской) плитами, протянувшейся на 2000 км вдоль западного побережья островов Сахалин, Хоккайдо и Хонсю. В зоне Западно-Сахалинской системы разломов, в средней части острова Сахалин, уже наблюдались несколько сильных землетрясений: Александровск-Сахалинское 1907 г. ( $M_{LH} = 6,5$ ), Лесогорско-Углегорское 1924 г. ( $M_{LH} = 6,9$ ), Углегорское 2000 г. ( $M_{LH} = 7,2$ ). Однако в пределах южного фланга этой системы сильных толчков с магнитудой больше 5,0 не отмечалось за всю историю сейсмологических наблюдений.

Полноценная регистрация многочисленных афтершоков позволила оперативно и достоверно охарактеризовать очаговую зону Невельского землетрясения. Анализ инструментальных и макросейсмических наблюдений данного землетрясения указывает на некоторые несогласованности в результатах оценки параметров Невельского сейсмического события. По данным региональных и мировых центров сейсмологических наблюдений магнитуда основного толчка составляет 6,2. С другой стороны, возникшая в результате данного землетрясения волна цунами, характер записи широкополосными сейсмометрами, подъем значительного участка морского дна и размер афтершоковой зоны

указывают на то, что магнитуда данного землетрясения могла быть не менее  $M_W = 6,8$ .

Цунами, вызванное Невельским землетрясением с магнитудой 6,2, с наибольшей силой проявилось в северной части Невельского района и дало по результатам обследования аномально большие заплески. Так, в пос. Ясноморск высота цунами на берегу составила 1,8 м, а в северной части небольшого залива у пос. Заветы Ильича были найдены следы волны цунами на берегу моря на высоте 2,3 м. К югу от устья речки высота заплеска составила 3,2 м. Все эти данные говорят о необходимости пересмотра схемы цунами-районирования сахалинского побережья Татарского пролива.

Ниже представлены результаты большого объема работ по комплексному изучению, обследованию и анализу последствий Невельского землетрясения 2 августа 2007 года на юге о-ва Сахалин. Полученную информацию о данном событии федерального масштаба дополняет большой объем цветных иллюстраций, дающий наглядное представление о масштабах сейсмической катастрофы.

Невельское землетрясение явилось реализацией прогноза, представленного в 2006 году сахалинскими сейсмологами в Российский экспертный совет по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (РЭС) и одобренного экспертами РЭС. Оно вызвало серьезную озабоченность в высших органах власти и живой интерес у представителей СМИ. Прибытие Министра МЧС России С.К. Шойгу в г. Невельск 3 августа 2007 г., на следующий день после события, продемонстрировало внимание федеральных властей к чрезвычайной обстановке на юге Сахалина. Министр на месте активно включился в руководство работами по ликвидации последствий стихийного бедствия и даже уделил внимание представителям нау-

ки и Геофизической службы РАН, раскритиковав их за неспособность выработать конкретный сценарий развития сейсмической обстановки в районе бедствия на ближайший месяц. По этому поводу необходимо заметить, что на тот момент у сейсмологов имелась информация об афтершоковой активности только за одни сутки.

Научное сообщество, сознавая важность экстренной поддержки работ по оперативному сбору геолого-геофизической информации в эпицентральной зоне, оказало финансовую помощь в исследовании уникального сейсмического события. Пользующийся высоким уважением в научной среде Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) выделил специальные гранты для экстренного обследования Невельского землетрясения и вызванного им цунами. Благодаря поддержке РФФИ и Президиума Дальневосточного отделения РАН широкомасштабные исследования Невельского землетрясения, представленные в настоящем издании, были реализованы в полной мере.

Исследование Невельского землетрясения и цунами было поддержано грантами РФФИ (05-05-64733, 07-05-05031, 07-05-02111, 07-05-01825, 08-05-01096, 08-05-00197-а) и ДВО РАН (06-I-ОНЗ-106, 06-II-СО-08-030, 06-III-08-375). Авторы приносят искреннюю благодарность всем участникам эпицентральных работ и очевидцам событий за предоставление информации для научного обобщения, а также РФФИ (грант 09-05-07024), руководству ДВО РАН и Администрации Сахалинской области за содействие в издании данной книги. Неоценимую помощь в техническом оформлении рукописи оказали сотрудники ИМГиГ ДВО РАН – О.А. Жердева, Е.А. Тихонова, Т.Н. Пинчук, А.В. Пинчук и Л.И. Чебан, которым редакторы приносят глубокую благодарность.

*Редакторы издания  
Б.В. Левин, И.Н. Тихонов*



## РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ О-ВА САХАЛИН И РАЙОНА НЕВЕЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

### Аннотация

В региональном тектоническом плане остров Сахалин рассматривается как кайнозойская складчатая область, сложенная преимущественно осадочными породами сравнительно глубоководного морского происхождения. Отмечено резкое отличие горного рельефа западной и восточной половин острова, образованных в результате двух планетарно-региональных фаз складчатости: ларамийской (60–70 млн. лет назад) и сахалинской – в плиоцен-четвертичное время (1–4 млн. лет назад). Общим фазам складчатости были подвержены лишь горные сооружения восточной половины о-ва Сахалин. Сопоставление с сейсмичностью показывает, что в целом высокосейсмичные районы тяготеют к молодым новообразованным антиклинориям (Западно-Сахалинскому на юге и Северо-Восточному – на севере). Районы с пониженной сейсмической активностью приурочены к древним видоизмененно-реликтовым антиклинориям (Восточно-Сахалинскому в центральной части острова и Сусунайско-Анивскому – на юге его).

Локальные аспекты прибрежных тектонических деформаций Невельского (02.08.2007 г.) землетрясения представлены поднятыми (на 0,5–1,5 м) и частично осушенным бенчем и отчасти подводными продольными грядами мористее Ловецкой бухты. На основе новой покровной модели Камышового (Западно-Сахалинского) антиклинория Сахалина анализируется их связь с медленным гравитационным сползанием или крипом верхней коры на его западном склоне, местами с выдавливанием невелиских алевролитов среднего миоцена (структурные гряды). Обсуждается взаимосвязь главных, фронтального Центрально-Сахалинского и тылового Западно-Сахалинского разломов антиклинория (тектоно- или динамопара).

### Referat

From the regional tectonics standpoint Sakhalin island is treated as an orogenic area of Cenozoic age, made up mainly of relatively deep-water marine origin sedimentary rocks. Contrasting difference was identified between the mountains of the western and eastern halves of the island which were formed during two planetary-regional folding phases, namely Laramide (60–70 mln. years ago) and Sakhalin ones – in Pliocene-Tertiary epoch (1–4 mln. years ago). Mountains of the Sakhalin's eastern half only went through both of the folding stages. Comparison with seismicity data showed that as a whole, highly seismically active areas gravitate towards young and newly formed anticlinoria (Western-Sakhalin one on the south – and North-Eastern one on the north). Areas of lower seismicity are associated with ancient metamorphosed-relict anticlinoria (East-Sakhalin one in the center of the island and Susunai-Aniva one on the south).

Some local features of the coastal tectonic deformations of the Nevelsk (02.08.2007) earthquake are represented by the 0,5–1,5 m uplifted and partly drained bench, and in part by the underwater longitudinal ridges off the Lovetskaya Bay. Based on a new model of the Kamyshevo anticlinorium their connection with a slow gravitational slippage or upper crustal creep on its western slope, somewhere accompanied with extrusion of the Middle Miocene Nevelsk siltstones (structural ridges), is examined. A relationship between the major faults of the anticlinorium, namely frontal Central-Sakhalin and rear West-Sakhalin ones, is discussed.

### 1.1. Региональные аспекты сейсмотектоники о-ва Сахалин

Под сейсмотектоникой обычно понимают симбиоз двух наук – сейсмологии и тектоники, как в глобальном, так и в регионально-локальном плане, то есть применительно к любому конкретному региону или его локальному участку. Сейсмология собирает и анализирует все факты и сведения о землетрясениях, а тектоника, изучающая строение Земли и происходящие в ней геологиче-

ские процессы, к которым относятся и землетрясения, помогает сейсмологии интерпретировать накопленные данные.

Так, при анализе данных о землетрясениях, сведенных в специальные атласы или каталоги, в частности, по всему бывшему Советскому Союзу, выяснилось, что чем выше горы, точнее, чем контрастнее горный рельеф, тем сильнее, интенсивнее и разрушите-

льнее возможны в этом месте землетрясения [Мельников, 1995, 1997, 2000] (рис. 1.1). Все это обязывает внимательнее отнестись к горным областям, их особенностям, геологическому строению и сейсмичности с точки зрения сейсмотектоники.

Рассмотрим данную проблему применительно к о-ву Сахалин. В тектоническом плане о. Сахалин обычно рассматривается как кайнозойская складчатая область, сложенная преимущественно осадочными породами сравнительно глубоководного морского происхождения. Рассмотрим особенности горных сооружений о-ва Сахалин, в целом сравнительно низких (самая высокая на острове гора Лопатина имеет абсолютную отметку в 1609 м), их геологическое строение и связь с сейсмичностью.

Самой яркой, бросающейся в глаза особенностью горного рельефа, является резкая

неоднородность, заключающаяся в отчетливом различии его западной и восточной половин (рис. 1.2). Западная половина представляет собой единое, субмеридионально вытянутое вдоль всего острова горное сооружение – Западно-Сахалинские горы. Они состоят из многочисленных субпараллельно вытянутых хребтов, постепенно понижающихся в южном и, особенно, в северном направлении, с переходом в этом случае в пологие грядовые возвышенности.

Восточная половина о-ва Сахалин состоит из отдельных, резко разобщенных горных сооружений: двух, сравнительно небольших горных хребтов - Сусунайского и Тонино-Анивского на юге, многочисленных и разнообразных хребтов, образующих сложную систему Восточно-Сахалинских гор в центральной части острова и двух совсем небольших хребтов п-ва Шмидта на севере. Су-

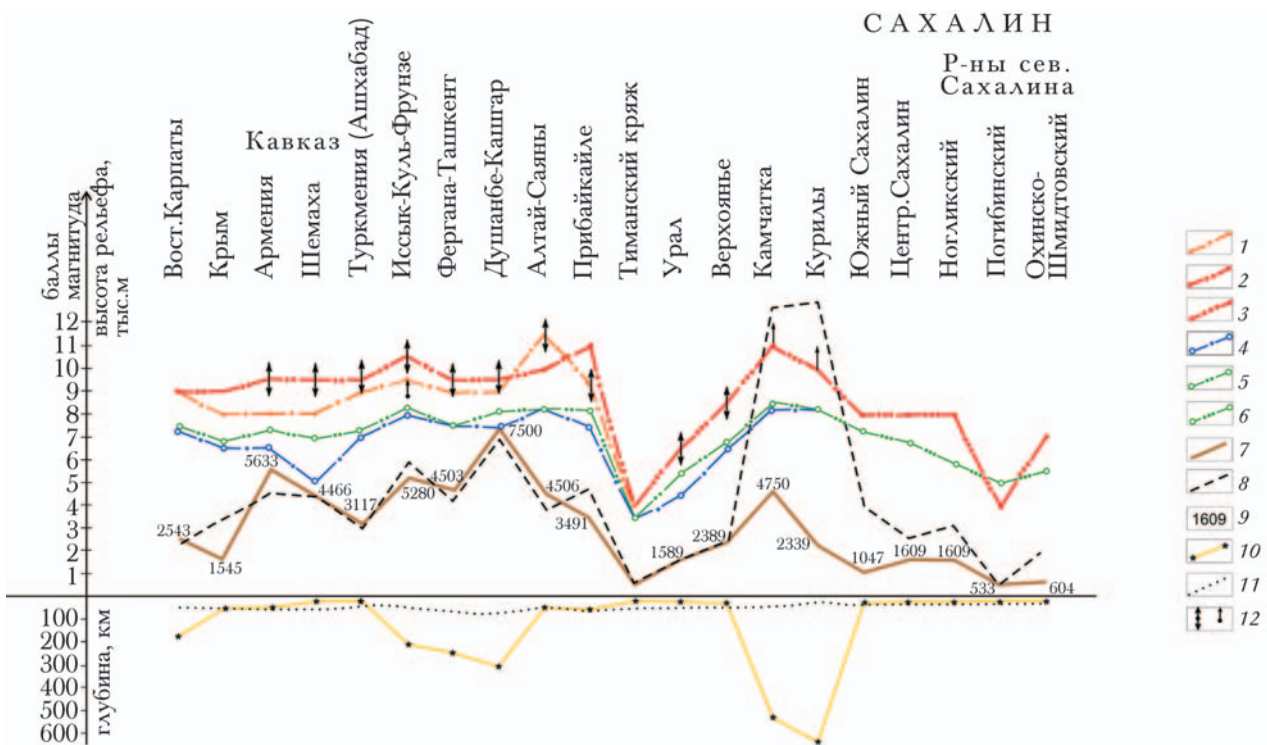


Рис. 1.1. Графики зависимости сейсмической активности от рельефа для основных сейсмоопасных районов бывшего СССР (Мельников, 1995, 1997, 2000).

1–3 – максимальная балльность; 4–6 – максимальные магнитуды; 7 – максимальные высотные отметки рельефа (от уровня моря); 8 – контрастность рельефа (разница между максимальными и минимальными значениями); 9 – максимальная абсолютная высота; 10 – максимальные значения глубины очагов землетрясений; 11 – мощность земной коры; 12 – направления и пределы наиболее частых колебаний в оценке значений максимальной балльности землетрясений.

Fig. 1.1. Seismic activity versus bottom topography plots for the major seismically hazardous areas of the former USSR [Melnikov, 1995, 1997, 2000].

1–3 – maximum intensities (MSK-64 scale); 4–6 – maximum magnitudes; 7 – maximum elevations with respect to sea level; 8 – difference between the maximum and minimum elevations; 9 – maximum absolute elevation (altitude); 10 – maximum focal depths; 11 – Earth crust thickness; 12 – azimuths and amplitudes of the most frequent seismic motions used in determination of the maximum earthquake intensity.

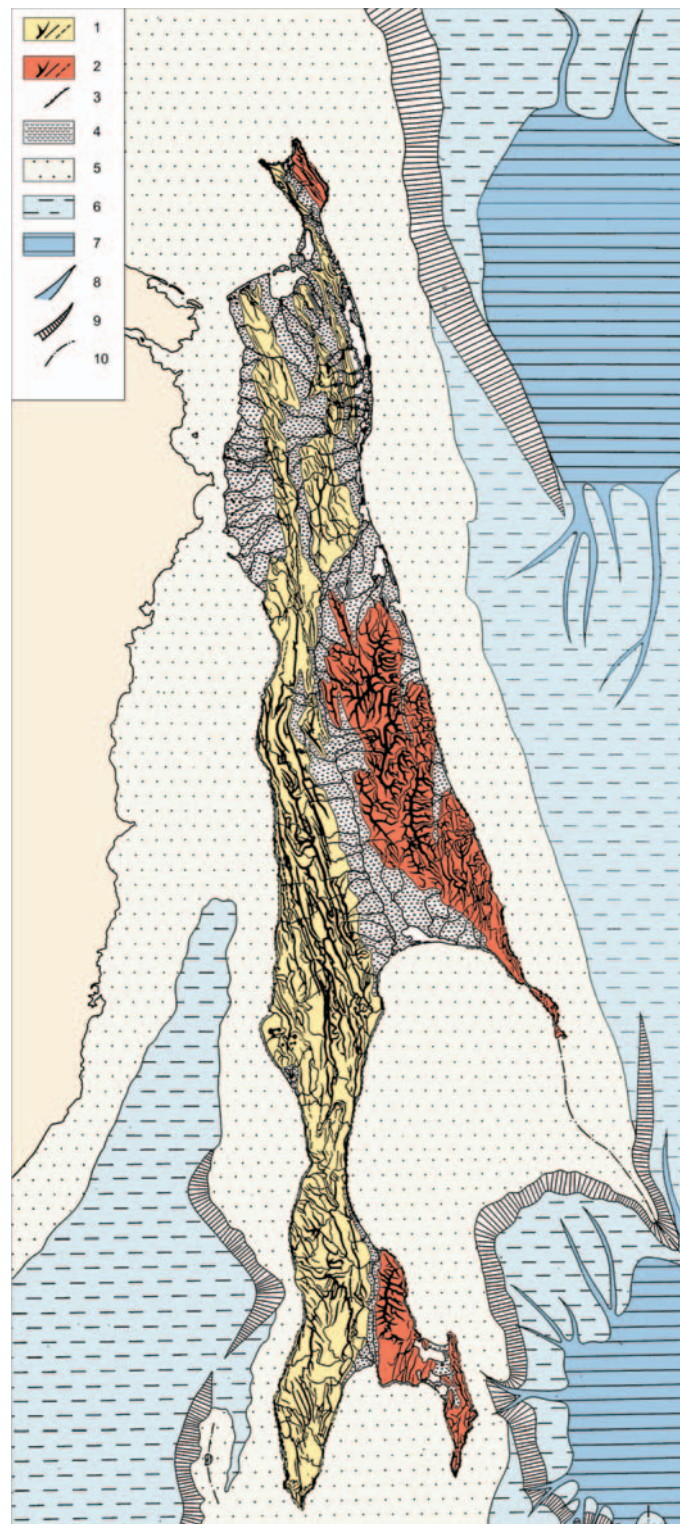


Рис. 1.2. Карта рельефа Сахалина [Мельников, 1987].

1 – молодые (плиоцен-четвертичные) горные хребты и гряды, преимущественно вдоль западного побережья Сахалина; 2 – более древние (мел-палеогеновые), но видоизмененно-возрожденные в плиоцен-четвертичное время горные хребты и гряды вдоль восточного побережья Сахалина; 3 – обрывистые террасированные берега; 4 – межгорные или прибрежные депрессии или низменности; 5 – шельф до изобаты 200 м; 6 – континентальный склон или переуглубленный шельф с глубиной свыше 200 м; 7 – глубоководные котловины или впадины; 8 – подводные каньоны; 9 – высокоградиентные зоны крутого наклона морского дна на континентальном склоне или шельфе; 10 – осевые линии подводных поднятий.

Fig. 1.2. Relief map of Sakhalin [Melnikov, 1987].

1 – juvenile (Pliocene – Tertiary) mountain ranges and ridges, located predominantly along the western coast of Sakhalin; 2 – older (Cretaceous - Paleogene), but metamorphosed-regenerated in the Pliocene – Tertiary age mountain ranges and ridges located along the eastern coast of Sakhalin; 3 – steep terraced coastal areas; 4 – intermountain or coastal depressions and low lands; 5 – shelf down to the 200 m water depth contours; 6 – continental slope or deep water shelf areas (depth above 200 m); 7 – deep-water troughs or trenches; 8 – underwater canyons; 9 – high-gradient steep areas of the continental slope or shelf; 10 – axial lines of underwater rises.

сунайский и Тонино-Анивский хребты отделены от Восточно-Сахалинских гор заливом Терпения, а Восточно-Сахалинские горы от хребтов п-ва Шмидта – Северо-Сахалинской низменностью, осложненной тремя грядовыми кулисообразно связанными между собой возвышенностями, вытянутыми вдоль северо-восточного побережья о-ва Сахалин.

Каждый из трех горных районов восточной половины о-ва Сахалин в общем виде, в отличие от субмеридионально вытянутых Западно-Сахалинских гор западной половины острова, обладает отчетливым северо-западным простиранием и кулисообразным расположением. Все горные сооружения восточной половины о-ва Сахалин отделены от Западно-Сахалинских гор непрерывной цепью протягивающихся вдоль всего острова низменностей или межгорных депрессий – Сусунайской, Тымь-Поронайской и Байкальско-Нышской, которые погружаются под воды заливов Охотского моря (Анива – на юге, Терпения – в центральной части и Байкальского – на севере).

Все вышеперечисленные особенности столь разнородного горного рельефа объясняются геологическим строением (тектоникой) острова, историей его возникновения и формирования. Остров Сахалин сложен, в основном, слоистыми осадочными горными породами, отложившимися большей частью на морском дне. Возраст наиболее древних осадочных пород, обнаруженных здесь, насчитывает 250–300 млн. лет. Почти все осадочные горные породы смяты в складки различного вида, размеров и рангов в результате действия периодически проявляющихся региональных или даже общепланетарных горизонтально ориентированных сил сжатия, именуемых фазами складчатости, причем вполне естественно, чем древнее горные породы, тем интенсивнее и сложнее они смяты в складки.

В общем случае выделяют два типа складок: изогнутых вверх и называемых антиклиналями, и изогнутых вниз (синклиналями). Сближенные группировки или ряды антиклиналей называются антиклинальными зонами, а синклиналей – синклинальными зонами. Сложные складчатые сооружения, состоящие из антиклинальных зон, называются ан-

тиклинориями и, соответственно, синклинориями – для множества синклинальных зон.

Все горные сооружения, как правило, отвечают антиклинориям, а разделяющие их межгорные депрессии или низменности – синклинориям. Большинство геологов, изучавших геологическое строение или тектонику о-ва Сахалин, предложено в общей сложности не менее двух десятков схем тектонического районирования острова, построенных по этому принципу. Они различаются, в основном, числом и конфигурацией выделяемых антиклинорий и синклинорий, рассматриваемых зачастую в совокупности как Сахалинский мегантиклинорий, а в сочетании с островом Хоккайдо как Хоккайдо-Сахалинскую складчатую область или системе [Мельников, 1987].

Своим происхождением складчатая структура Сахалинского мегантиклинория обязана двум планетарно-региональным фазам складчатости: ларамийской, имевшей место в конце позднего мела – начале палеогена (60–70 млн. лет назад) и сахалинской – в плиоцен-четвертичное время (1–4 млн. лет назад). В результате действия этих двух фаз складчатости слоистые осадочные горные породы о-ва Сахалин были разделены на три резко различных по степени дислоцированности структурных этажа: (1) наиболее сложно дислоцированный и сильно видоизмененный (метаморфизованный) нижний, древний (палеозой-мезозойский), (2) гораздо менее дислоцированный и слабо измененный средний (палеоген-неогеновый) и (3) недислоцированный и неизмененный горизонтально залегающий верхний (четвертичный).

Обеим фазам складчатости подвержены лишь горные сооружения восточной половины о-ва Сахалин: своим возникновением – ларамийской фазе, а последующим видоизменением и усложнением – сахалинской фазе. Поэтому отвечающие этим горным сооружениям антиклинории (Шмидтовский, Восточно-Сахалинский и Сусунайско-Анивский) рассматриваются как древние видоизмененно-реликтовые. Западно-Сахалинские горы и грядовые возвышенности вдоль северо-восточного побережья Сахалина, включая западный хребет п-ва Шмидта, обязаны своим происхождением лишь сахалинской фазе складчатости и поэтому отвечающие

им антиклинорий (Западно-Сахалинский и Северо-Восточный) рассматриваются как молодые новообразованные [Мельников, 1987]. Вполне естественно, испытавшие две фазы складчатости видоизмененно-реликтовые антиклинории в отличие от новообразованных антиклинорий являются более жесткими, устойчивыми и прочными для любых внешних воздействий или напряжений.

Неоднородным характером отличается и естественная сейсмичность о-ва Сахалин [Оскорбин, 1977; Соловьев, Оскорбин, Ферчев, 1967], что находит отражение в резко неравномерном распределении эпицентров землетрясений. Так, сейсмологами выделяются три разобщенных района – южный, центральный и северный с большим числом эпицентров слабых и сильных землетрясений, разделенных участками с редкими эпицентрами сравнительно слабых толчков.

На севере острова район с повышенной сейсмической активностью занимает практически всю территорию Северо-Сахалинской низменности с наибольшей концентрацией эпицентров землетрясений вдоль северо-восточного побережья, на территории Охинского и Ногликского районов (рис. 1.3). В центральной части острова повышенная сейсмическая активность приурочена к средней части Западно-Сахалинских гор с наибольшей концентрацией эпицентров землетрясений в Углегорском районе. Аналогично на юге острова сейсмичность сосредоточена в районе южной части Западно-Сахалинских гор и участка Японского моря, примыкающего к о.Монерон. Высокая роевая активность отмечена в Долинском районе. Один из мощных роев (Такойский) произошел летом 2001 г. в Долинском районе вблизи поселков Быков, Углезаводск и Покровка. Районы со слабым проявлением сейсмичности занимают практически всю территорию Восточно-Сахалинских гор в центральной части о-ва Сахалин, Сусунайский и Тонино-Анивский хребты и так называемый перешейк Поясок, на юге острова.

Сопоставляя такое, явно не случайное распределение высокосейсмичных и почти асейсмичных районов в пределах о-ва Сахалин с его современным структурно-тектоническим планом, нетрудно заметить, что в самом общем виде высокосейсмичные районы

тяготеют к молодым новообразованным антиклинориям (Западно-Сахалинскому на юге и Северо-Восточному – на севере). Районы с пониженной сейсмической активностью приурочены к древним видоизмененно-реликтовым антиклинориям (Восточно-Сахалинскому в центральной части острова и Сусунайско-Анивскому – на юге его). При этом молодые новообразованные структуры по своему местоположению и конфигурации достаточно строго противостоят расположенным восточнее их древним видоизмененно-реликтовым структурам.

Наиболее естественным и логическим объяснением этого является высказанное ранее утверждение [Мельников, 1977], что в условиях общего субширотного ориентированного сжатия, вызванного сахалинской фазой складчатости, начавшейся в плиоцене и продолжающейся до сих пор, молодой и активный Западно-Сахалинский антиклинорий надвигается на менее активные, но более жесткие и устойчивые древние видоизмененно-реликтовые антиклинории (Восточно-Сахалинский и Сусунайско-Анивский). Надвиг происходит по достаточно широкой зоне многочисленных разрывов типа надвигов, взбросо-надвигов и взбросов, объединяемых часто в один общий Тымь-Поронайский или Центрально-Сахалинский взбросо-надвиг, осложняющий восточное крыло Западно-Сахалинского антиклинория практически вдоль всей его длины.

За счет все еще продолжающегося общего субширотного сжатия растут Западно-Сахалинские горы, а отвечающий этим горам одноименный молодой антиклинорий поднимается и надвигается на восток по Тымь-Поронайскому взбросо-надвику. Этот разлом, отчетливо выраженный уступом в рельефе, по всем своим параметрам является самым крупным (в частности, по длине и амплитуде), а также самым молодым и активным на о-ве Сахалин. Об этом говорят, в частности, непосредственно «сидящие» на нем и периодически извергающиеся газоводолитокластитовые («грязевые») вулканы (Южно-Сахалинский в южной части и группа Пугачевских вулканов в центральной части острова).

В южной части острова Тымь-Поронайский взбросо-надвиг образует на дневной поверхности (в самом общем виде) полого вы-

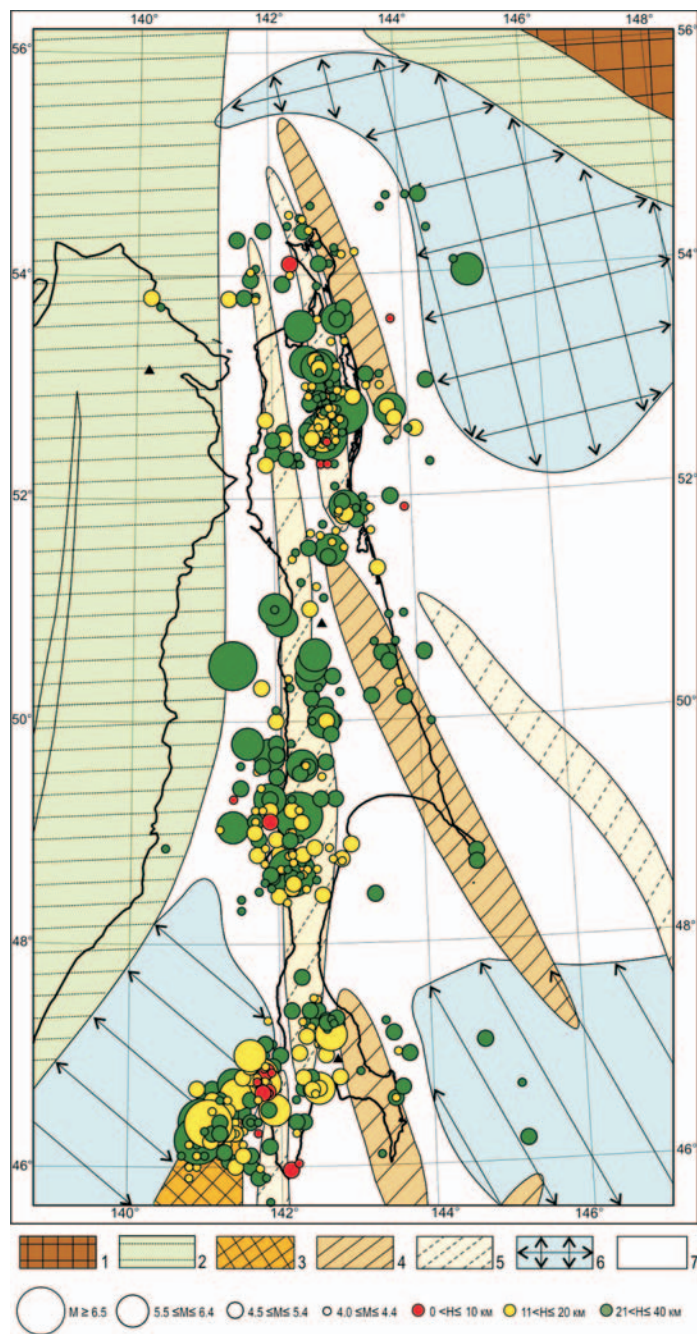


Рис. 1.3. Схема основных структурных элементов Сахалина и смежных с ним регионов с наложенными на них эпицентрами землетрясений.

1 – Охотский древний срединный массив; 2 – районы, охваченные мезозойской складчатостью (мезозойды); 3–5 – горно-антиклинорные сооружения различного происхождения и возраста: 3 – видоизмененно-возрожденного позднемезозойского (Китаками), 4 – видоизмененно-реликтового мел-палеогенового (антиклинории: Шмидтовский, Восточно-Сахалинский, Сусунайско-Анивский), 5 – новообразованные плиоцен-четвертичные (антиклинории: Северо-Восточный, Западно-Сахалинский, Полевого, Камуикотан); 6 – глубоководные впадины и котловины активного позднекайнозойского рифтогенного растяжения (Дерюгина, Япономорская, Южно-Охотская); 7 – низменности, депрессии, проливы, заливы и прочие понижения в рельефе, отвечающие молодым отрицательным структурам типа синклинориев, разделяющих горно-антиклинорные сооружения; 8 – эпицентры землетрясений с магнитудой:  $M \geq 6,5$ ,  $5,5 \leq M \leq 6,4$ ,  $4,5 \leq M \leq 5,4$ ,  $4,0 \leq M \leq 4,4$  и глубиной:  $0 < h \leq 20$  км,  $11 < h \leq 20$  км,  $21 < h \leq 40$  км

Fig. 1.3. Major structural units of the Sakhalin and adjacent regions with earthquake epicenters superimposed.

1 – ancient Okhotsk sea mid massiv; 2 – areas of Mesozoic folding – Mesozoids; 3–5 – mountain-anticlinorium edifices of different age and origin: 3 – metamorphised and rejuvenated edifices of late Mesozoic age (Kitakami), 4 – metamorphosed and relict anticlinoriums of the Cretaceous-Paleogene age – anticlinoriums such as: Schmidt, Eastern Sakhalin and Susuinai – Aniva ones); 5 – recently formed anticlinoriums of the Pliocene-Tertiary age such as: North-Eastern, West-Sakhalin, Polevoi and Kamuikotan ones; 6 – deep-water depressions and troughs associated with the active late Cenozoic rift-generating expansion (Deryugina, Japan sea, Southern Okhotsk ones); 7 – low lands, depressions, straits, bays and other topographic lows related to the juvenile sinclinorium type structures separating mountain-anticlinorium ones; 8 – earthquake epicenters with magnitudes:  $M \geq 6,5$ ;  $5,5 \leq M \leq 6,4$ ;  $4,5 \leq M \leq 5,4$ ;  $4,0 \leq M \leq 4,4$  and with depths:  $0 < h \leq 20$  км;  $11 < h \leq 20$  км;  $21 < h \leq 40$  км

гнутую к востоку дугу с концами на перешейке Поясок на севере и п-ве Крильон на юге. Здесь он образует сложную систему ветвящихся, прихотливо изогнутых, главных разломов-сместителей и многочисленных второстепенных разломов, оперяющих главные. Большинство их являются надвигами или взбросо-надвигами. Плоскости сместителей наклонены на запад – до  $70^\circ$  в приповерхностной части, с предполагаемым выполаживанием с глубиной. По этим разломам вся западная часть поднимается и надвигается на восточную. Тымь-Поронайский взбросо-надвиг со всеми своими второстепенными и оперяющими разрывами резко разграничивает две зоны – западную с многочисленными эпицентрами землетрясений и восточную с очень редкими эпицентрами.

Один из двух центров наибольшего сгущения инструментально определенных эпицентров землетрясений в Долинском и Холмском районах (фактически вокруг Южно-Сахалинского газодолитокластитового вулкана) приурочен к наиболее тектонически сложному участку Тымь-Поронайского взбросо-надвига, состоящему из нескольких чешуйчато-надвиговых пластин, по серии надвигов надвинутых друг на друга в общем восточном направлении. Этот участок очевидно является местом наибольшей концентрации накапливаемых (и разрешающихся в виде частых землетрясений) напряжений западной высокосейсмичной зоны на юге Сахалина, отвечающей южному замыканию молодого Западно-Сахалинского антиклинория, противостоящего север-северо-западной периклинали древнего Сусунайско-Анивского антиклинория.

Совершенно другую тектоническую природу имеет второй центр наибольшего сгущения эпицентров на юге Сахалина вблизи о-ва Монерон. Этот остров в современном структурно-тектоническом плане Хоккайдо-Сахалинской складчатой области является далекой северной периклиной антиклинальной зоны Ребун-Кабато [Мельников, 1987], охватывающей также острова Ребун и Рисирри, расположенные южнее, а еще дальше на юг – горный массив Кабато на о.Хоккайдо. Эта антиклинальная зона, как единое орогенно-складчатое сооружение, возникло гораздо раньше структур Сахалина – в раннем

мелу (около 100–110 млн. лет назад), в результате еще одной региональной фазы сжатия и складкообразования, охватившей в то время Сихотэ-Алинь и Японию и называемой в Японии фазой складчатости Мияко. В последующем возникшая таким образом антиклинальная зона Ребун-Кабато, как-то видоизменяясь, постепенно разрушалась, нивелировалась и опускалась, а теперь начинает вроде бы возрождаться. Результатом этого возрождения очевидно и являются эпицентры землетрясений, происходящих вокруг о-ва Монерон за счет подвижек по разломам, осложняющим его структуру.

Наличие трех фаз складко- и горообразования в истории геологического развития островов Сахалин и Хоккайдо позволяет представить ее в виде следующих основных этапов:

1. До начала древней фазы складко- и горообразования Мияко на месте хребта Сихотэ-Алинь, о-вов Сахалин и Хоккайдо располагалось глубокое море.

2. Во время проявления фазы складкообразования Мияко (около 100–110 млн. лет назад) произошло наращивание Азиатского материка за счет гор, образовавшихся на месте хребта Сихотэ-Алинь и протянувшихся на юг через остров Монерон в юго-западную часть о-ва Хоккайдо. В то же время на Сахалине и остальной части Хоккайдо продолжало располагаться море (рис.1.4а).

3. Во время проявления ларамийской фазы складкообразования (60–70 млн. лет назад) образовались горные массивы вдоль восточной половины о-ва Сахалин на месте восточного хребта п-ва Шмидта, Восточно-Сахалинских гор, Сусунайского и Тонино-Анивского хребтов, а между этими хребтами и горами Сихотэ-Алиня протянулась низменная заболоченная межгорная депрессия (рис. 1.4б).

4. В период между ларамийской и сахалинской фазами складкообразования горные хребты на месте восточной половины о-ва Сахалин активно разрушались и размывались наступавшим на них морем, в результате чего превратились в цепочку островов вдоль гор на месте Сихотэ-Алиня (рис. 1.4в).

5. Во время сахалинской фазы складкообразования, начавшейся 4 млн. лет назад,

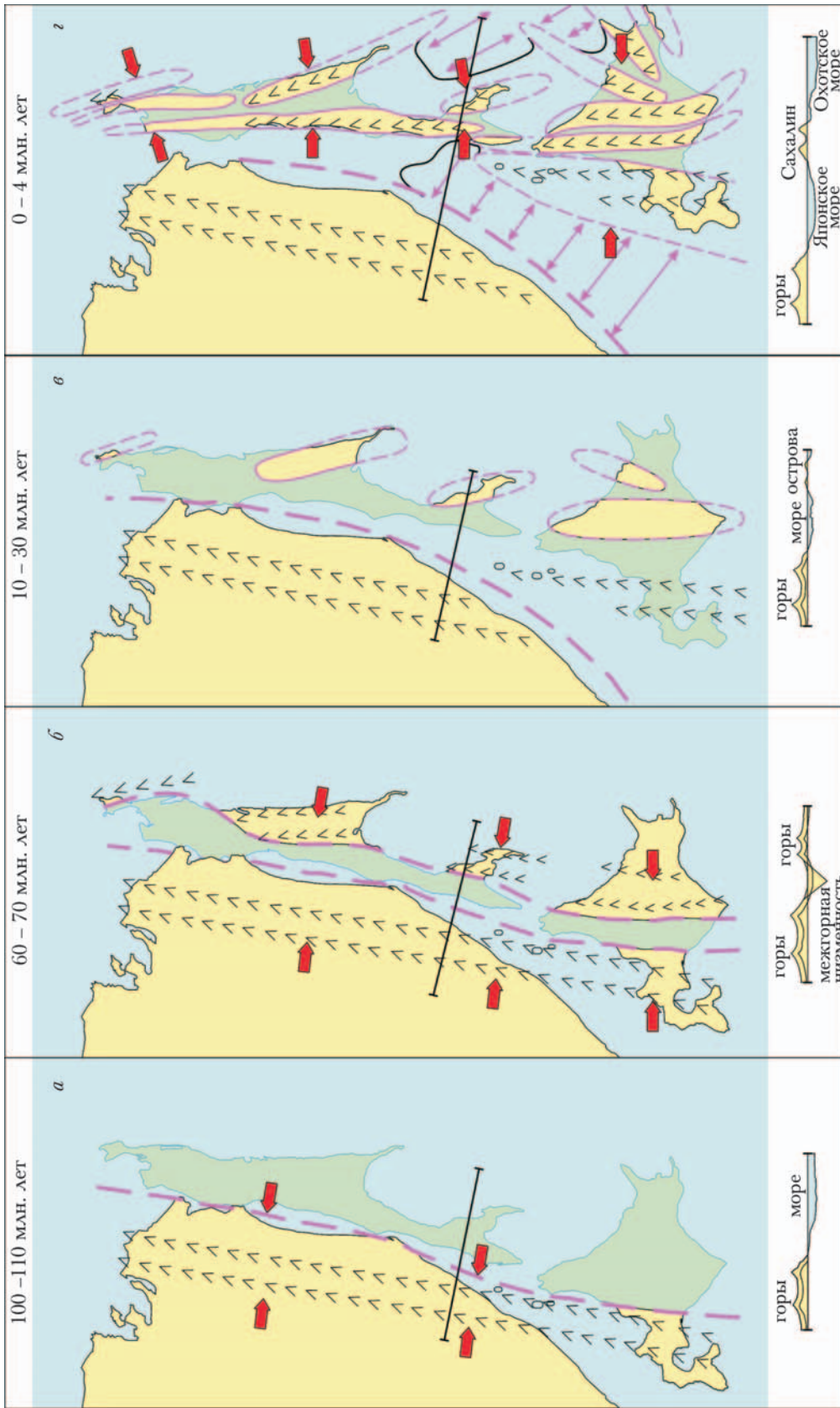


Рис. 1.4. Схемы основных этапов геологического развития Сихотэ-Алиня и Хоккайдо-Сахалинской складчатой области: 100–110 млн. лет назад (а), 60–70 млн. лет назад (б), 10–30 млн. лет назад (в) и 0–4 млн. лет назад (г).

1 – горные сооружения; 2 – море; 3 – острова; 4 – заболоченная межгорная депрессия; 5 – рифтогенные глубоководные котловины; 6 – направления общего субгоризонтального сжатия и горообразования; 7 – поперечный профиль.

Fig. 1.4. Major stages of geological development of the Sikhote-Alin and Hokkaido-Sakhalin orogenic zones: 100–110 mln. years ago (a), 60–70 mln. years ago (б), 10–30 mln. years ago (в) and 0–4 mln. years ago (г).

1 – mountains; 2 – sea; 3 – islands; 4 – marshy intermountain depression; 5 – rift-generating deep-water troughs; 6 – azimuth of the general subhorizontal compression and orogenesis; 7 – transverse profile.



произошло возрождение гор на месте прежней цепочки островов, которые превратились в современные горные хребты на месте восточной половины о-ва Сахалин, а между ними и, особенно к западу от них, возникли современные Западно-Сахалинские горы, совместившие и спаявшие возрожденные горные хребты в единый современный гористый остров Сахалин, отделившийся от Сихотэ-Алиня после раскрытия северной части Японского моря и Татарского пролива (рис. 1.4з).

О тесной, а иногда, по-видимому, и о прямой непосредственной связи землетрясений с подвижками по конкретным разломам и разрывам любых модификаций – надвигов, взбросов, сбросов в комбинации со сдвигами, осложняющих или нарушающих хрупкие горные породы, слагающие земную кору или литосферу, говорят, как теоретические, так и экспериментальные сейсмологические исследования. Во многих случаях разломы с подвижками по ним, вызвавшими землетрясения, выходят на поверхность в момент своего проявления или образования. На Сахалине такими примерами могут служить широко известные Нефтегорское землетрясение 27(28) мая 1995 г и Углегорское землетрясение 4(5) августа 2000 г. По всей видимости и все землетрясения на юге Сахалина так или иначе связаны с подвижками по конкретным разломам и, прежде всего, по Тымь-Поронайскому или Центрально-Сахалинскому взбросо-надвигу (по главным разрывам-смещителям и многочисленным второстепенным разрывам, оперяющим главные, как выходящим на дневную поверхность, так и не выходящих).

Несмотря на кажущуюся бесспорность вывода о тесной и прямой связи землетрясений с подвижками по разломам, привязать то или иное землетрясение (его эпицентр и гипоцентр) к тем или иным конкретным разрывам или разломам, даже выходящим на дневную поверхность, оказывается непростым делом и за редким исключением – весьма предположительным. Главными причинами этого являются плохо или почти не известная форма залегания с глубиной плоскостей смещителей, даже выходящих на дневную поверхность разломов и все еще недостаточно высокая точность оценки местоположения эпи-

центров и гипоцентров землетрясений, зависящая от числа и расположения регистрирующих сейсмических станций. На юге о-ва Сахалин для участка Тымь-Поронайского взбросо-надвига между широтами г. Долинск на севере и г. Анива на юге, находящегося в наиболее благоприятных условиях расположения сейсмостанций, точность положения эпицентров и гипоцентров землетрясений составляет примерно  $\pm 1$  км. За пределами этого участка, особенно на окружающих о.Сахалин акваториях, точность измерений резко снижается.

Гораздо хуже обстоит дело с формой поверхностей смещителей почти всех разломов, даже тех, которые выходят на дневную поверхность и сравнительно хорошо или достоверно геологически закартированы. Из достоверно геологически закартированных нами разломов, показанных на рис. 1.5, лишь для главного смещителя Тымь-Поронайского взбросо-надвига, да и то только вблизи Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана, получены сравнительно надежные данные об углах наклона плоскости смещителя ( $60^\circ$ – $70^\circ$  при выходе на дневную поверхность с постепенным выполаживанием с глубиной до  $20^\circ$ – $30^\circ$  на глубинах 10–15 км).

Один из второстепенных надвигов (Троицкий или Апреловский), оперяющий Тымь-Поронайский взбросо-надвиг [Кучай, 1987], наклонен на запад под углом  $25^\circ$ – $30^\circ$  при выходе его на дневную поверхность. Большинство остальных разломов на юге Сахалина таких точных замеров не имеют и показываются на картах и профилях весьма ориентировочно, а то и просто условно вертикально.

Если трудно судить о привязке землетрясений к тем или иным разломам, достоверно установленным выходящими на дневную поверхность, то практически ничего нельзя сказать о бесспорно существующих разломах, не выходящих на поверхность, в том числе субгоризонтальных, а такие несомненно должны возникать в земной коре, подверженной общему субгоризонтальному сжатию. На это, кстати, может указывать приуроченность гипоцентров ряда землетрясений к выдерживающимся по глубине горизонтам, в частности к горизонту по глубине в 5–6 км на построенном нами профиле Южно-Сахалинский вулкан – г. Холмск (рис. 1.6).

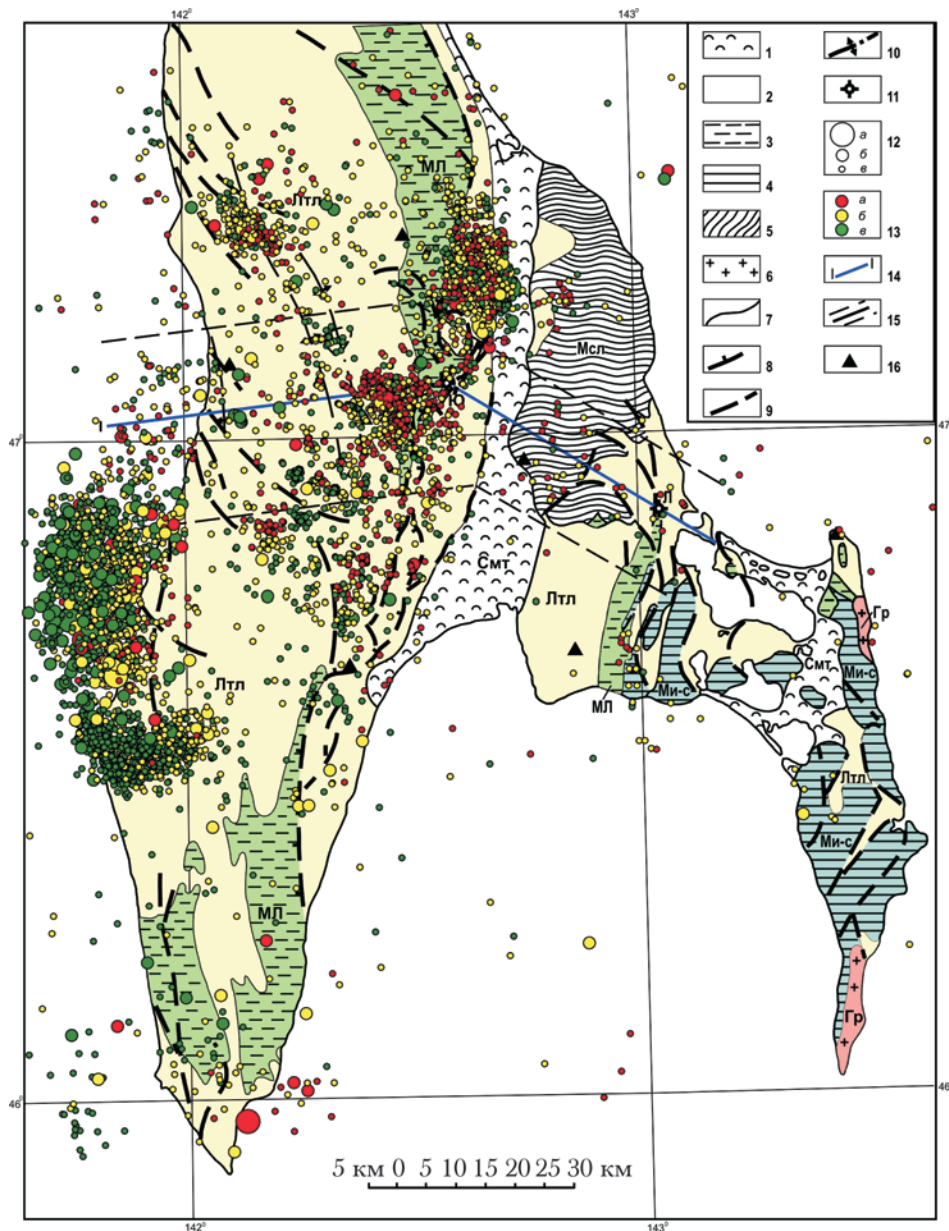


Рис. 1.5. Схематическая структурно-формационная карта южной части о-ва Сахалин с наложенной на нее естественной сейсмичностью в период 2001–2007 гг.

1–6 – надформации, мегаформации, формации: 1 – седиментитовая четвертичная надформация – Смт, 2 – литолитовая (вулканит-кремнисто-обломочная) палеоген-неогеновая надформация – Лтл, 3–5 – мегаформации метаморфитовой палеозой-мезозойской надформации: 3 – метаобломочно-литолитовой меловой – Мл, 4 – металитовой мезозойской – Ми-с, 5 – метаморфитовой (сланцевой) палеозой-мезозойской – Мсл; 6 – гранитоидная формация – Гр; 7 – границы между надформациями, мегаформациями и формациями; 8–9 – дизъюнктивные дислокации: 8 – наиболее крупные взбросо-надвигового типа, 9 – прочие разной модификации; 10 – осевые линии некоторых положительных пликативных дислокаций (антиклиналей); 11 – газоводолитокластитовые вулканы: Южно-Сахалинский – Ю, Лесновский – Л; 12–13 – местоположение эпицентров землетрясений с различными магнитудами ( $M$ ) – 12: а ( $M \leq 2,9$ ), б ( $3,0 \leq M \leq 4,4$ ), в ( $M \geq 4,5$ ), и глубинами гипоцентров ( $h$ ) – 13: а ( $h = 0-5,0$  км), б ( $5,0 < h \leq 10$  км), в ( $10 < h \leq 40$  км); 14 – линия профиля, проходящего через газоводолитокластитовые вулканы; 15 – ограничительные линии снесенных на профиль землетрясений; 16 – сейсмостанции.

Fig. 1.5. Schematic stratigraphic map of the southern Sakhalin with seismic potential for the 2001–2007 years' period superimposed.

1–6 – superformations, megaformations, formations: 1 – sedimentary Tertiary superformation-Смт, 2 – litholite (volcanite- silicious- clastic) super formation of the Paleogenic- Neogenic age – Лтл, 3–5 – megaformations of the metamorphized superformation of the Paleozoic-Mesozoic age: 3 – of the meta- clastic- lytholite of the Cretaceous age – Мл, 4 – of metallite of the Mesozoic age – Ми-с, 5 – of the metamorphized (slate) of the Paleozoic- Mesozoic age – Мсл; 6 – granitoid formation – Гр; 7 – boundaries between superformations, megaformations and formations; 8–9 – disjunctive dislocations: 8 – the largest ones of upthrust-overthrust type, 9 – others of different types; 10 – axial lines for some positive plicative dislocations (anticlines); 11 – gas- water- lithoclastic volcanoes: Yuzhno- Sakhalinsky – Ю, Lesnovsky – Л; 12–13 – epicenter locations of the earthquakes with different magnitudes ( $M$ ) – 12: а ( $M \leq 2,9$ ), б ( $3,0 \leq M \leq 4,4$ ), в ( $M \geq 4,5$ ) and hypocenter depths ( $h$ ) – 13: а ( $h = 0-5,0$  км), б ( $5,0 < h \leq 10$  км), в ( $10 < h \leq 40$  км); 14 – line the profile, plotted across the gas- water- lithoclastic volcanoes; 15 – limiting lines for the earthquakes projected onto the profile; 16 – seismic stations.

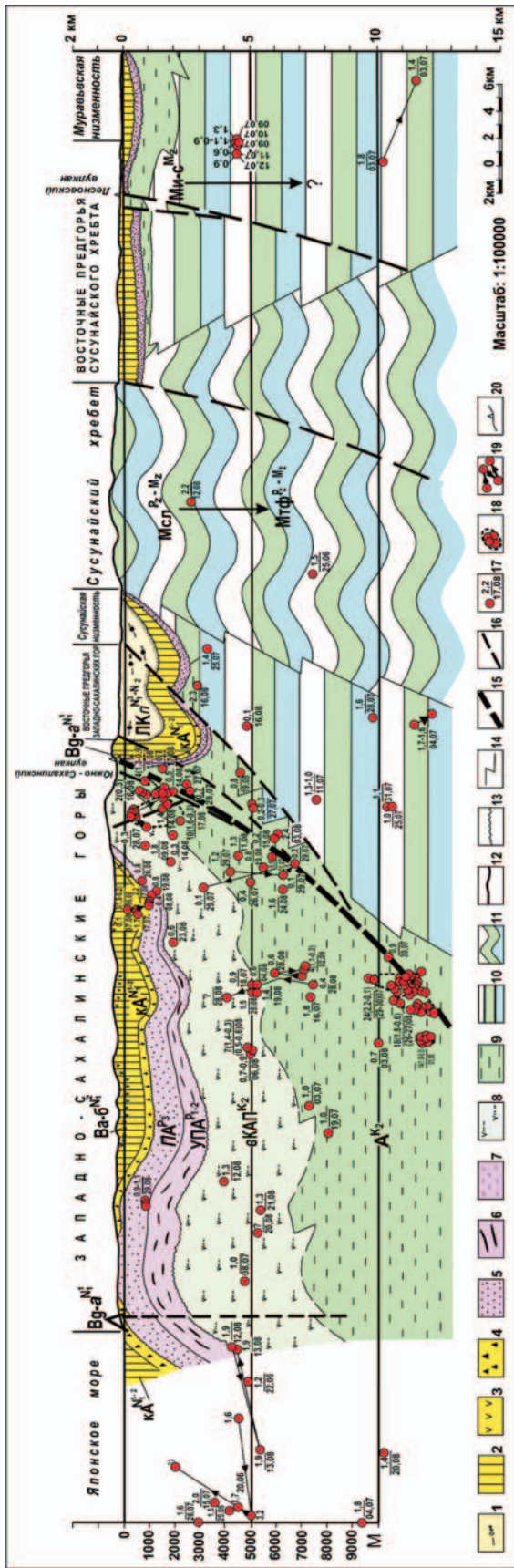


Рис. 1.6. Структурно-формационный профиль г. Холмск – пос. Охотское через Южно-Сахалинский и Лесновский газоводолитокластитовые вулканы с вынесенными на него близрасположенными гипоцентрами землетрясений, произошедших в период с 18.06 по 03.09.2005 г.

1–9 – геологические элементарные формации: 1 – лигнит-конгломерато-песчаная позднемiocен-плиоценовая – ЛКП<sup>N3-N2</sup>, 2 – кремнистых алевролитов и аргиллитов ранне-среднемiocеновая – КА<sup>N1-2</sup>, 3 – вулканитовая андезит-базальтовая среднемiocеновая – Ва-6<sup>N1</sup>, 4 – вулканитовая дацит-андезитовая раннемiocеновая – Вд-а<sup>N1</sup>, 5 – песчаных алевролитов и аргиллитов омигленовая – ПА<sup>P3</sup>, 6 – угленосно-песчаник-алевролит-аргиллитовая палеоцен-эоценовая – УПА<sup>P1-2</sup>, 7 – песчаник-конгломератная разновозрастная – ПК, 8 – вулканит-конгломерат-алевролит-песчаниковая позднемеловая – ВКАП<sup>K2</sup>, 9 – алевролит-аргиллитовая позднемеловая – А<sup>K2</sup>; 10 – металитовая мезозойская мегаформация – Ми-с<sup>Mz</sup>; 11 – формация метаморфических сланцев палеозой-мезозойской надформации – Мтф<sup>Pz-Mz</sup>; 12–14 – границы элементарных формаций, мегаформаций, надформаций; 15 – основная сместитель Тымь-Поронайского взбросо-надвига, 16 – прочие дизъюнктивные дислокации; 17–19 – вынесенные на профиль гипоцентры землетрясений; 17 – одиночных толчков с указанием магнитуды в числителе и даты в знаменателе, 18 – то же, что и 17, но для роя или группировки толчков, 19 – то же, что и 17, но для нескольких последовательных землетрясений; 20 – газоводолитокластитовые вулканы.

Fig. 1.6. Kholmsk-Okhotskoye structural-formational profile plotted through the Yuzhno-Sakhalinskiy and Lesnovskiy gas-water-lithoclastic volcanoes with superimposed (projected) hypocenters of adjacent earthquakes, occurred within the June 18 – September 3, 2005 time period.  
 1–9 – unit geological formations: 1 – lignite-conglomerate-sand formation of the late Miocene – Pliocene – Pliocene age – ЛКП<sup>N3-N2</sup>, 2 – siliceous siltstone-claystone one of the early and mid Miocene age – КА<sup>N1-2</sup>, 3 – vulcanite andesite-basaltic formation of the early Miocene age – Вд-а<sup>N1</sup>, 5 – sandy siltstone and claystone formation of the Oligocene age – ПА<sup>P3</sup>, 6 – carbomiferous-sandstone-siltstone – claystone formation of the Paleocene-Eocene age – УПА<sup>P1-2</sup>, 7 – sandstone-conglomerate – of mixed age – ПК, 8 – vulcanite-conglomerate-siltstone formation of the late Cretaceous age – ВКАП<sup>K2</sup>, 9 – siltstone-claystone formation of the late Cretaceous age – А<sup>K2</sup>, 10 – metallic megaformation of the Mesozoic age – Ми-с<sup>Mz</sup>; 11 – metamorphosed shale formation of the Paleozoic-Mesozoic super formation – Мтф<sup>Pz-Mz</sup>; 12–14 – boundaries of unit formations, megaformations and superformations; 15 – discordant, 13 – discordant, 14 – replacements; 15–16 – disjunctive dislocations; 15 – the main fault plane of Tym-Poronai upthrust-overthrust, 16 – other disjunctive dislocations; 17–19 – earthquake hypocenters projected (superimposed) onto the profile; 17 – hypocenters of singular shocks with numerator representing magnitudes and denominator – dates, 18 – the same as in 17, but for the cluster or group of shocks, 19 – the same as in 17, but for the several earthquakes in succession; 20 – gas-water-lithoclastic volcanoes.

В этой связи почти ничего определенно-го нельзя сказать о Горнозаводском 2006 г. и особенно Невельском 2007 г. землетрясениях – с какими конкретно разломами они непосредственно связаны. Если эпицентры Горнозаводского землетрясения и его афтершоков, расположенные большей частью в пределах суши, могут быть как-то связаны с выходящими восточнее на дневную поверхность разломами, включая тот же Тымь-Поронайский взбросо-надвиг, то Невельский рой землетрясений полностью расположен на акватории Татарского пролива и ему найти соответствующий разлом еще труднее<sup>1)</sup>. Не исключено, однако, что оба этих землетрясения могут быть связаны с какими-то новыми разломами, в том числе, не выходящими на дневную поверхность, вплоть до субгоризонтальных внутри земной коры.

Из числа разломов, выявленных и достаточно надежно закартированных нами на суше непосредственно к востоку от г. Невельск, отметим сравнительно протяженный (около 40 км) субмеридиональный разлом типа взброса или взбросо-надвига, осложня-

ющий восточное крыло крутой, протягивающейся вдоль берега антиклинали, сложенной породами среднего палеоген-неогенового структурного этажа. Северная периклиналь этой складки вместе с рассматриваемым разломом выходят на берег Татарского пролива рядом с прибрежным поселком Зырянское в 25 км севернее от г. Невельск на месте самого широкого берегового уступа, которым осложнено все побережье между городами Невельск и Холмск.

Южнее г. Невельск антиклинальная складка вместе с параллельно идущим с нею разломом, осложняющим ее восточное крыло, плавно поворачивают на юг-юго-восток, упираясь в реку Лопатинка, в устье которой расположен г. Горнозаводск, подверженный одноименному землетрясению летом 2006 года. Этот разлом взбросо-надвигового типа с падением плоскости сместителя к западу и подъемом (взбросом) западного прибрежного крыла или блока лучше всего подходит для объяснения основных параметров Невельского роя землетрясений, да и предшествующего ему Горнозаводского землетрясения.

## 1.2. Локальные аспекты сейсмотектоники очаговой зоны Невельского землетрясения

На тектонических картах Сахалина район Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. располагается на ЮЗ подводной окраине Сахалина, образованной западным склоном Камышового антиклинория [Геология, геодинамика и перспективы..., 2004; Геология СССР..., 1970] (рис. 1.7). Это четвертичное, точнее среднечетвертичное по В.К. Кучаю (1987), инверсионное поднятие (ороген или Западно-Сахалинские горы) возникло в депоцентре неогенового краевого прогиба между горными сооружениями Сихотэ-Алиня и Восточного Сахалина в сахалинскую эпоху складчатости и орогенеза [Ломтев, Кругляк, Савицкий, 1991; Комплексные рекогносцировочные..., 1988]. В широтном сечении антиклинорий представляет собой крупную мегамоноклиналь с относительно крутым и коротким восточным склоном высотой до 1 км, хотя ранее его рассматривали как штамповый горст-антиклинорий или присдвиговый ороген, возникший в усло-

виях субширотного сжатия [Рождественский, 1987; и др.].

По данным [Ломтев, Никифоров, Ким, 2007] Камышовый антиклинорий формирует фронт крупной Западно-Сахалинской коровой тектонической пластины, сорванной к востоку по деколlementу границы *M* и отходящему от нее кверху Центрально-Сахалинскому (Тымь-Поронайскому) взбросо-надвигу западного падения на его восточном склоне (рис. 1.7, 1.8). Е.М. Смехов (1953) считал его одним из двух главных продольных надвигов Сахалина, определяющих его региональную структуру и субширотное сжатие коры. По Т.К. Злобину (2005) этот разлом проникает в астеносферу и разделяет Охотскую (Охотоморскую) и Амурскую литосферные плиты. Однако современная мелкофокусная (коровая) сейсмичность Камышового антиклинория и асейсмичность подстилающей верхней мантии [Злобин, 2005; Региональный каталог..., 2006] показывают,

1) Ниже другие авторы данной монографии придерживаются иной точки зрения. – *Прим. ред.*

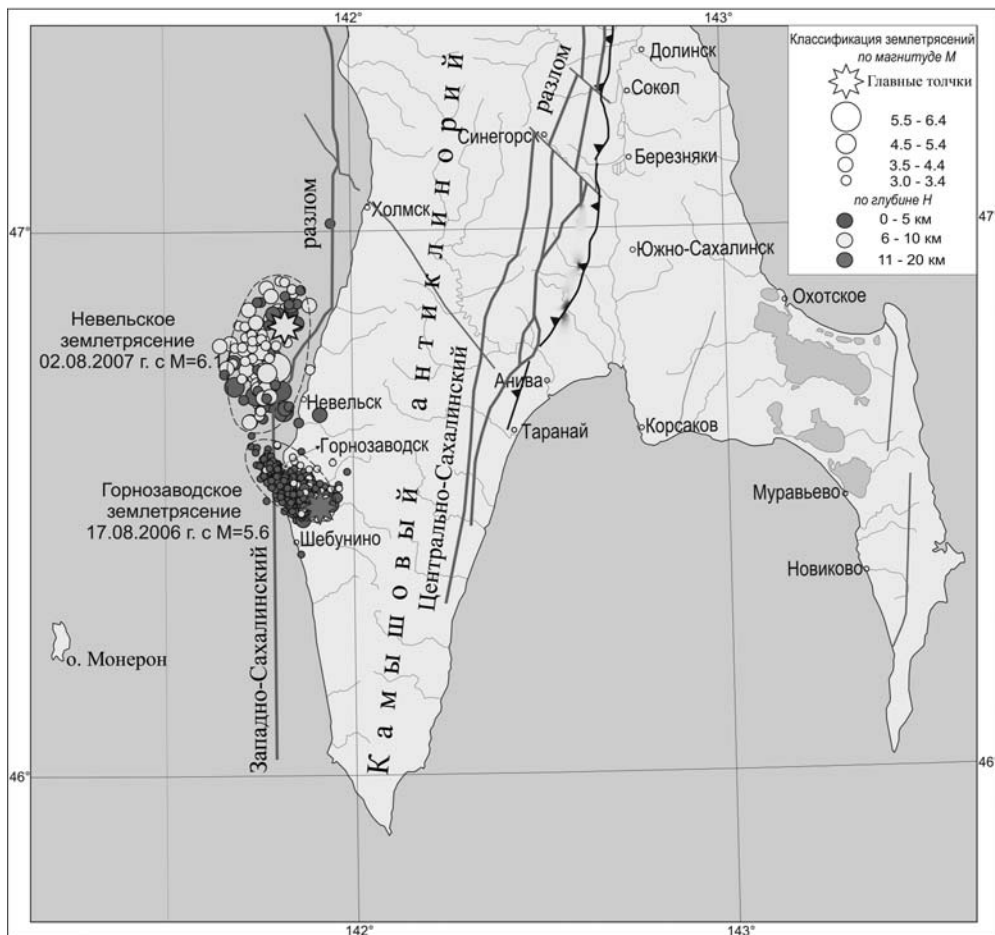


Рис. 1.7. Положение эпицентров Горнозаводского 2006 г. и Невельского 2007 г. Землетрясений и их афтершоков (по данным Ким Ч.У. (ИМГиГ ДВО РАН)) относительно главных разломов Южного Сахалина (по материалам А.И. Кожурина (ГИН РАН)).

Fig. 1.7. Epicentral locations of the Gornozavodsk (2006) and Nevelsk (2007) earthquakes and their aftershocks (based on data by Ch.U. Kim, Institute of Marine Geology and Geophysics – IMGIG, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science) with respect to the major faults of the southern Sakhalin (based on materials by A.I. Kozhurin, Geological Institute of the Russian Academy of Science – RAS)

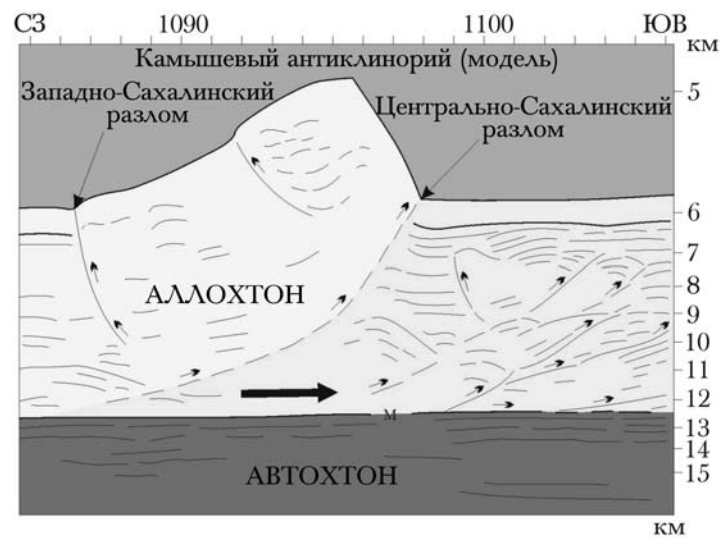


Рис. 1.8. Надвиговая моноклиальная гряда на глубинном разрезе МОГТ в зоне дивергентного внутрикорового срыва, как натурная модель Камышового антиклинория Сахалина (по материалам В.Л. Ломтева и В.Н. Патрикеева). Жирной стрелкой показано направление срыва аллохтона.

Fig.1.8. Thrust monoclinial ridge in the common point depth section within the zone of the divergent crustal displacement – as a full-scale model of the Sakhalin's Kamyshovy anticlinorium (based on V.L. Lomtev and V.N. Patrikeev). Bold arrow shows allochthon's displacement vector.

что Центрально-Сахалинский разлом и упомянутые плиты являются коровыми структурами. Горизонтальное смещение по разлому невелико и вероятно не превышает 5–10 км [Мельников, 1987]. Вертикальное смещение кровли меловых пород в сравнении со смежными прогибами достигает 3–5 км [Волгин, Корнев, Васюк, 2000; Геология, геодинамика..., 2004; Кайнозой Сахалина..., 2002]. Висячее крыло Центрально-Сахалинского разлома слагают плотные осадочные породы мела, поэтому его надвигание сопровождается аккрецией осадочных отложений кайнозоя и образованием узкой (несколько км) аккреционной призмы. С востока последняя ограничена пологим надвигом западного падения – Ключевской или Апрельской разлом [Кучай, 1987] (фронт аккреции на рис. 1.7), выходящим в основании восточного склона Камышового антиклинория [Паровышний, 2005].

Напротив, западный пологий склон антиклинория слагают с поверхности осадочные отложения неогена и палеогена общей мощностью до 2–5 км, в которых картируются многочисленные складки, нередко сопря-

женные с крутопадающими разломами [Мельников, 1987; Рождественский, 1987; Сергеев, 1982]. Судя по широтному временному разрезу МОГТ №11, отработанному примерно в 5 км южнее г. Холмск в 1977 г. (рис. 1.9) сходное строение имеет и прилегающий сахалинский шельф Татарского пролива [Балабко, Ефременков, 1979; Геология, геодинамика..., 2004; Тектоническое районирование..., 2006]. Однако есть и отличия. Так, высота шельфовых антиклиналей достигает нескольких километров, их своды абрадированы (бенч, точнее шельфовое абразионное плато), оси ориентированы к СЗ, ЮВ периклинали не закартированы в полосе прибрежного мелководья с рифами, что позволяет считать их полускладками.

Формирование складок связывали с молодыми праводвиговыми смещениями по Западно-Сахалинскому глубинному разлому [Ломтев, Кругляк, Савицкий, 1991]. Вместе с тем отсутствие подобной системы полускладок на восточном склоне Камышового антиклинория и почти идеальная стратификация кайнозойского чехла на их крыльях на профилях МОГТ указывают на его медленное

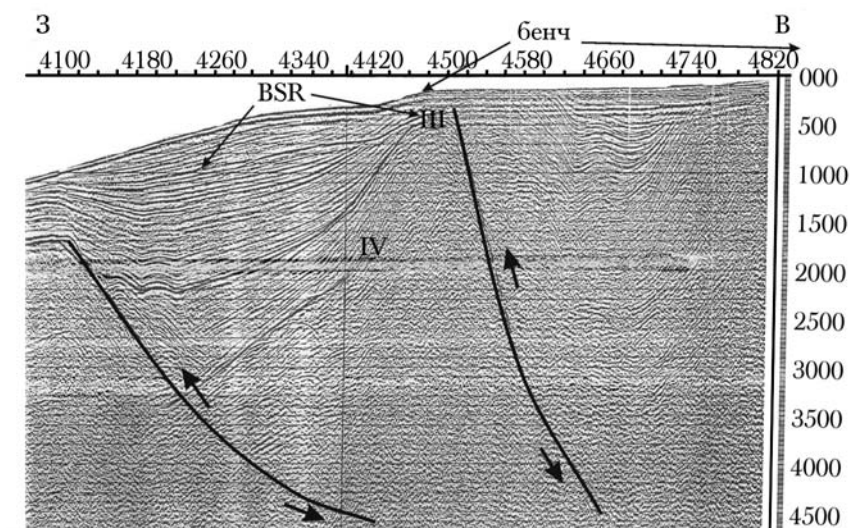


Рис. 1.9. Фрагмент широтного временного разреза МОГТ №11 на ЮЗ подводной окраине Сахалина (Комплексные..., 1979).

BSR – отражающая граница в подошве слоя газогидратов; III, IV – сейсмокомплексы осадочного неогена; линии со стрелками – сместители взбросо-надвигов и смещения по ним. Цуг плоских отражений, секущий складки, образован волнами-помехами, кроме верхнего (бенч). По вертикали – секунды двойного пробега с шагом 0,1 с, по горизонтали – гидроточки ОГТ с шагом 40 точек/км.

Fig. 1.9. Portion of the №11 common depth point latitudinal time section for the south-western underwater margin of Sakhalin (Complex..., 1979).

BSR – a reflective boundary in the bottom of the gas-hydrate layer. III, IV – seismic complexes for Neogene sedimentary layers; lines with arrows represent upthrusts – overthrusts' fault planes and displacement alongside them. Train of mirror reflections, crosscutting folds, is formed by the noise waves except for the top one (bench). Vertical axis – double travel time (seconds) with 0,1 sec. steps; horizontal one – common depth adjusted shot points with resolution 40 points per one km.

гравитационное сползание (крип) на западном склоне антиклинория. Шельфовые разломы, судя по рис. 1.9, сопряжены с полускладками и относятся к тыловым разломам сжатия восточного падения. Вместе с Западно-Сахалинским прибрежным разломом [Геология СССР..., 1970; Мельников, 1987; Паровышний, 2005] они, вероятно, образуют единую систему (дуплекс) в тылу Камышового антиклинория, в которой взброс, проходящий ближе к берегу, круче краевого, фронтального надвига (рис. 1.9). Иначе говоря, Невельское землетрясение 2 августа 2007 г. и меридиональный рой его афтершоков связаны с подвижками верхней коры именно в зоне этого дуплекса (рис. 1.7).

Итак, в структуре молодого и сейсмоактивного Камышового антиклинория Сахалина установлены разные, покровный и гравитационный стили строения восточного и западного склонов соответственно. С учетом встречного падения фронтального, Центрально- и тылового, Западно-Сахалинского разломов приходим к выводу о его дивергентном строении, которое по В.Е. Хаину (1971) характерно для орогенов в зонах сжатия коры. Поскольку Камышовый антиклинорий маркирует фронт срыва крупной коровой пластины [Ломтев, Никифоров, Ким, 2007], в качестве его натурной модели приня-

та моноклиальная надвиговая чешуя высотой 1 км из зоны дивергентного внутрикорового срыва на ложе СЗ Пацифики (рис. 1.8). В соответствии с ней Горнозаводское землетрясение 17.08.2006 г. с  $M = 5,6$  на глубине 18 км, в очаге которого произошел взброс по плоскости, тяготеющей к зоне Центрально-Сахалинского разлома [Левин, Ким, Тихонов, 2007], очевидно можно рассматривать как своеобразный сейсмотектонический предвестник Невельского взбросового землетрясения в зоне тылового Западно-Сахалинского разлома (рис. 1.7). Иначе говоря, эти главные разломы Камышового антиклинория уместно объединить в тектоно- или динамопару. В рамках предложенной модели последнего СЗ простирание Горнозаводского роя афтершоков, аналогичное простиранию антиклиналей на сахалинском шельфе Татарского пролива [Геология, геодинамика..., 2004; Комплексные рекогносцировочные..., 1988], позволяет предполагать крип не только кайнозойского чехла, но и подстилающей верхней коры, сложенной вероятно породами мезозоя и палеозоя. Заметим также, что в рамках упомянутой модели Центрально-Сахалинский разлом глубже Западно-Сахалинского, поскольку он вскрывает всю кору, выходя к деколlementу границы  $M$ .

# СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА О-ВА САХАЛИН ЗА ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЯ 1905–2005 гг.

### Аннотация

Дано краткое историческое описание проявлений сейсмичности на юге о-ва Сахалин за указанное время. Выявлена квазициклическость сейсмического процесса для южного сегмента Центрально-Сахалинского разлома, заключающаяся в чередовании коротких периодов заметной активизации сейсмичности и продолжительных по времени периодов относительно низкой активности. Также установлена годовая миграция слабых землетрясений вдоль упомянутого сегмента разлома. Дано подробное описание сильных ( $M \geq 5,5$ ) землетрясений, произошедших за указанное время на юге острова.

### Referat

The concise history of seismic manifestations on the south of Sakhalin for the above-mentioned period is given. Quasicyclicity of the seismic process for the Central Sakhalin fault's southern segment, where the short-term seismically active periods alternate with protracted ones of relatively low seismic activity, is identified. Also annual migrations of the weak earthquakes alongside the above-mentioned segment of the fault are established. Detailed description of the strong ( $M \geq 5,5$ ) earthquakes, occurred during the observational period, is presented.

## 2.1. Общая характеристика сейсмичности

Южная часть Сахалина наиболее густо населена, здесь сосредоточено множество промышленных предприятий, поэтому внимание к сейсмической обстановке здесь самое пристальное. Именно здесь в Оотомари (г. Корсаков) в 1909 г. была открыта первая сейсмостанция. Однако сведения о сейсмичности южного Сахалина в довоенные годы довольно отрывочны. Положение эпицентров землетрясений часто не удавалось определить и приходилось довольствоваться лишь сообщениями о его ощутимости в населенных пунктах.

Так, есть упоминание о нескольких толчках на юго-западе острова в 1910–1912 гг. В 1921 г. зарегистрировано землетрясение у восточного побережья п-ова Крильон. В конце 1923 г. – начале 1924 г. наблюдался рой землетрясений в районе Синегорска, в 1936–1937 гг. – аналогичный рой в районе Холмска, а в 1938–39 гг. – в основании п-ова Крильон близ Невельска и Горнозаводска. Имеются отрывочные сведения о небольших землетрясениях, ощущавшихся 1910–1930 годы в различных населенных пунктах (Корсаков, Южно-Сахалинск, Холмск, Быков, Невельск, Горнозаводск, Костромское, Чехов, Анива) [Соловьев и др., 1967].

Особо следует отметить землетрясение 4 сентября 1923 г. ( $M = 5,2$ )<sup>1)</sup>, произошедшее вблизи п. Томари. Его эпицентр располагался под Южно-Камышовым хребтом на широте п. Томари, примерно на одинаковом удалении от побережий. Это единственное зарегистрированное землетрясение в этом районе, все остальное время территория между побережьями севернее  $47,5^\circ$  с.ш. остается практически асейсмичной (рис. 2.1).

Сильное Лесогорско-Углегорское землетрясение 15 марта 1924 г. ( $M = 6,8$ ), произошедшее севернее г. Углегорск, вызвало на юге острова сотрясения с силой до 4 баллов (в Пензенском, Томари, Чехове, Долинске, Остромысовке).

Информации о сейсмичности в военные и первые послевоенные годы нет. В конце 1947 г. – начале 1948 г. были вновь запущены в работу приборы Южно-Сахалинской сейсмостанции, и регистрация землетрясений продолжилась [Соловьев и др., 1967].

3 февраля 1951 г. в 3:45 сахалинского времени недалеко от п. Анива произошло землетрясение с  $M = 5,5$ . Семибальная зона сотрясений охватила пп. Петропавловское, Огоньки, Зеленодольск и г. Анива. После основного землетрясения жители Анивского

1) Здесь и далее в гл. 2 приведены значения магнитуды MLN согласно [Региональный каталог..., 2006].



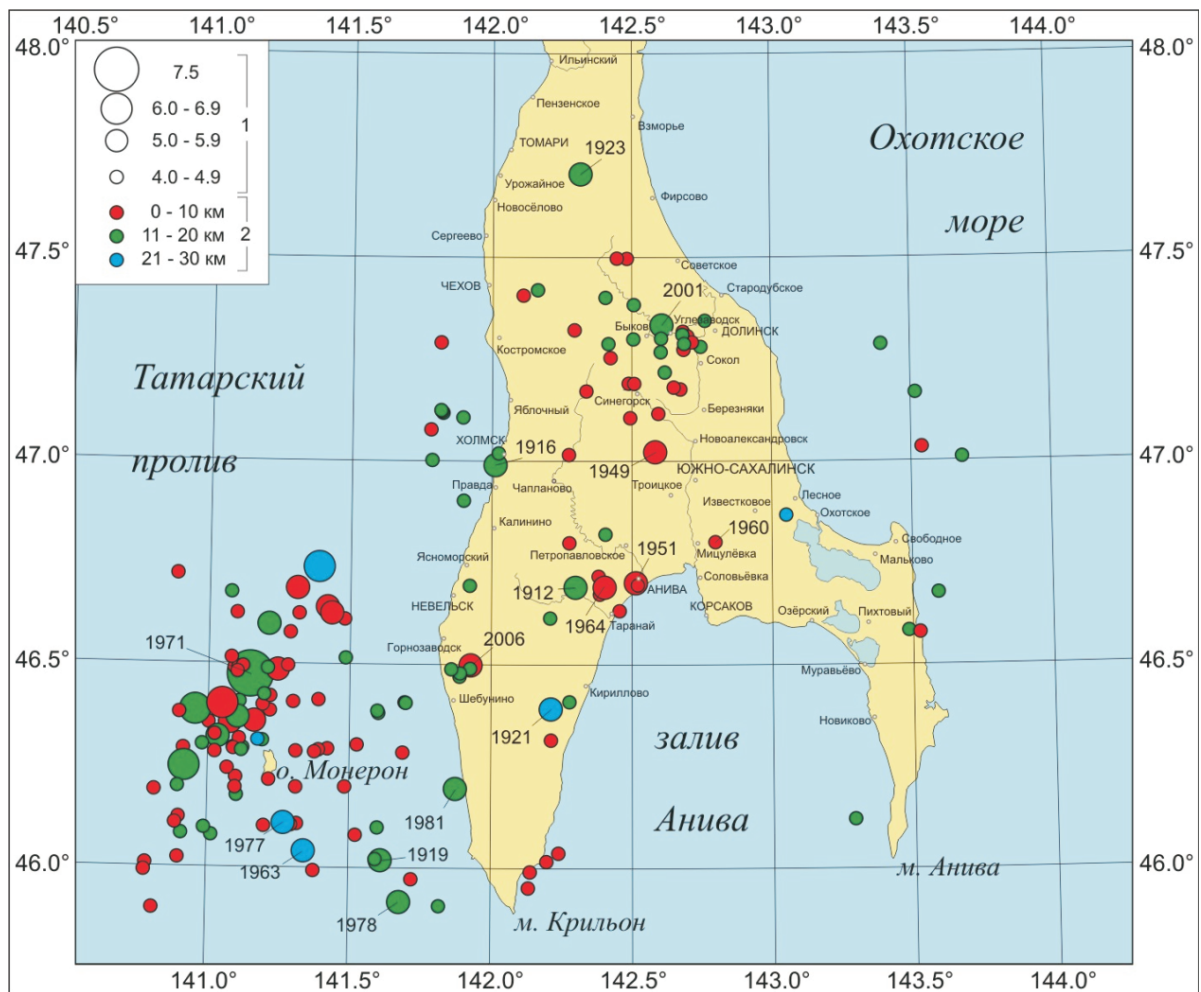


Рис. 2.1. Карта эпицентров коровых землетрясений, произошедших в южной части Сахалинского региона в 1907–2006 гг. по данным регионального каталога [Региональный каталог..., 2006].

1 – магнитуда землетрясений; 2 – глубина гипоцентров.

Fig. 2.1. Map of the crustal earthquake epicenters, occurred in the southern Sakhalin in 1907–2006 based on the Regional Catalogue [Regional Catalogue..., 2006].

1 – magnitudes; 2 – hypocenter depth.

района в течение двух месяцев ощущали повторные толчки силой от 2 до 4 баллов.

Еще одно значительное в истории сейсмичности южного Сахалина, хотя и не очень сильное ( $M = 4,7$ ) землетрясение произошло в ночь с 9 на 10 августа 1960 г. вблизи п. Хомутово на глубине около 10 км. С наибольшей силой (7 баллов) оно проявилось в п. Лиственничное и на западной окраине Южно-Сахалинска – в районе Владимировка, потому и было названо Владимировским. Очаг этого землетрясения находился практически под городом на небольшой глубине, подобные землетрясения крайне опасны. Данное событие заставило исследователей задуматься о строении предгорий Сусунайского хребта. Возможно, здесь проходит скрытый и малоактивный тектонический шов. Если низкая активность его в настоящее время вызва-

на процессом накопления энергии упругой деформации, то очередное сильное землетрясение может иметь печальные последствия для населения Сусунайской долины. С учетом этого с 1960 г. были повышены требования к сейсмостойкости зданий в г. Южно-Сахалинск.

Следует упомянуть также интересное Остромысовское землетрясение ( $M = 4,8$ ), произошедшее 12 марта 1962 г. в 60–70 км северо-восточнее г. Южно-Сахалинск под дном Охотского моря на глубине около 20 км. Оно ощущалось, хотя и весьма слабо, в большинстве населенных пунктов южного Сахалина. Данное землетрясение интерпретируется как подвижка по одному из меридиональных разломов, ограничивающих подводное продолжение Тонино-Анивского поднятия [Соловьев и др., 1967].

В 1964 г. 10 мая вновь произошло сильное землетрясение в Анивском районе, магнитуда главного толчка составила  $M = 5,0$ . Эпицентр находился несколько южнее у побережья Анивского залива возле п. Таранай, однако зона максимальных сотрясений в 6 баллов охватила г. Анива и поселки в нижнем течении р. Лютога.

5 сентября 1971 г. произошло сильнейшее ( $M = 7,5$ ) Монеронское землетрясение. Его эпицентр находился в Татарском проливе западнее побережья Сахалина на крупном глубинном Монеронском разломе. В связи со значительной удаленностью эпицентра от побережья, его можно и не относить к землетрясениям южного Сахалина, однако макросейсмический эффект землетрясения проявился на всей территории юга острова. В результате Монеронского землетрясения и его афтершоков в течение месяца высвободилось более 70% от общего количества условной упругой деформации на территории, включающей южный Сахалин за 100 лет инструментальных наблюдений (рис. 2.2).

Углегорско-Айнское землетрясение с магнитудой  $M = 7,0$ , произошедшее 4 августа 2000 г. в Углегорском районе острова, вызвало ощутимые сотрясения почти на всей территории южного Сахалина; в Томаринском районе интенсивность достигала 4 баллов.

Одно из самых заметных событий последнего десятилетия – сильный Такойский рой землетрясений, произошедший в июле–сентябре 2001 г. в Долинском районе. Эпицентральная область произошедших толчков расположена в бассейне речки Малый Такой, потому серия землетрясений и названа Такойским роём. По высвободившейся условной упругой деформации (рис. 2.2) Такойский рой значительно уступает Монеронскому землетрясению. За два месяца в области Такойского роя высвободилось около 3,7% условной упругой деформации, однако превосходит все другие сейсмические события на территории юга о-ва Сахалин в 1906–2005 гг.

Общее положение очагов землетрясений с магнитудами  $M \geq 4,0$  показано на рис. 2.1. Как видно из рисунка, эпицентры большинства сильных землетрясений магнитудой более  $M = 5,0$ , не считая эпицентральной области Монеронского землетрясения, расположены в центральной части острова под восточной частью Западно-Сахалинских гор и у западного побережья как на суше – так и в море. В районе Сусунайского хребта и Тонино-Анивского полуострова таких землетрясений не отмечено, да и более слабых землетрясений магнитудой с  $M \leq 4,0$  здесь значительно меньше, большинство таких землетрясений произошло в море к востоку

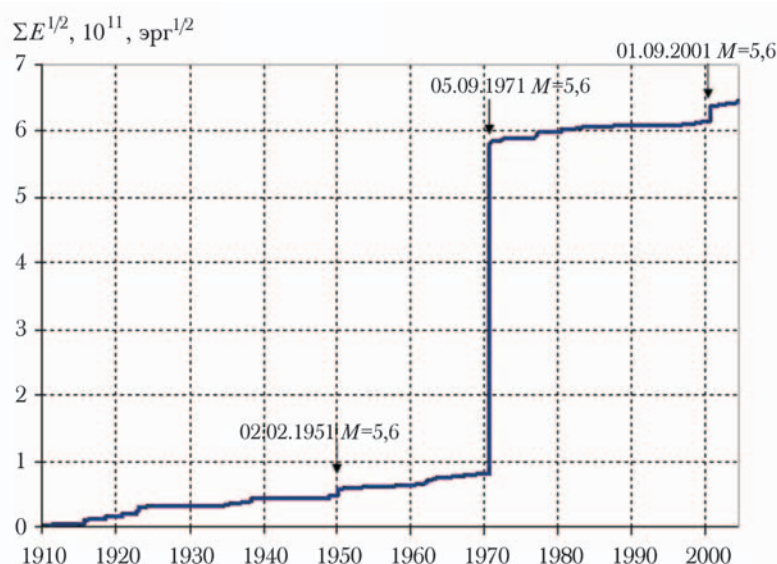


Рис. 2.2. Временной ход высвобождения нормированной (на время в 1 год и площадь 1000 км<sup>2</sup>) условной упругой деформации для юга о. Сахалин ( $\varphi = 45,8^{\circ} - 48,1^{\circ} \text{ N}$ ;  $\lambda = 140,5^{\circ} - 145^{\circ}.3 \text{ E}$ ) по данным регионального каталога [Региональный каталог..., 2006].

Fig. 2.2. Time curve representing release of conventional elastic deformation, normalized for one year's term and 1000 км<sup>2</sup> of the area and constructed based on the Regional Catalogue. South of Sakhalin ( $\varphi = 45,8^{\circ} - 48,1^{\circ} \text{ N}$ ;  $\lambda = 140,5^{\circ} - 145^{\circ}.3 \text{ E}$ ) [Regional Catalogue..., 2006].

от побережья. Самым сильным сейсмическим событием здесь было Остромысовское землетрясение 1962 г. ( $M = 4,8$ ).

Такое распределение землетрясений можно объяснить тектоническим строением южного Сахалина, о чем подробно сказано в гл.1. Здесь, вдоль западных и восточных склонов Западно-Сахалинских гор, располагаются два крупных глубинных разлома (Западно-Сахалинский и Центрально-Сахалинский), ограничивающие крупный блок земной коры длиной 1000 км и шириной 10–50 км, суживающийся к югу в одну дизъюнктивную зону [Харахинов, 1984]. Данная структура является относительно молодым (плиоценовым) образованием, здесь продолжают идти активные тектонические процессы, обусловленные в основном сжатием островной суши в субширотном направлении. Восточная же часть южного Сахалина представляет собой довольно старый (поздне меловой) и стабильный участок земной коры [Мельников, 1987], тектонические процессы здесь выражены слабее.

На рис. 2.3 представлена временная развертка возникновения сейсмических событий с  $M \geq 4,0$  в недрах южной части Сахалинского региона в течение последних 100 лет. Не трудно заметить, что стадии заметной активизации сейсмичности на графике сменяются значительными по времени относительно спокойными периодами. Такая квазицикличность сейсмического процесса на

юге Сахалина была замечена сейсмологами. И.Н. Тихонов рассчитал, что для южного сегмента Центрально-Сахалинского разлома средняя длительность спокойных интервалов между соседними фазами активизации составляет  $13,73 \pm 3,05$  года [Тихонов, 1997]. Последнее десятилетие прошлого века характеризовалось отсутствием землетрясений с магнитудой  $M > 4,0$  после Синегорского землетрясения 1988 г. ( $M = 4,1$ ). Затишье прервалось несколькими заметными землетрясениями в Западно-Сахалинских горах в 1997–1999 гг., а в 2001 г., через 13 лет после Синегорского землетрясения, произошел Такойский рой.

Помимо квазицикличности сейсмичности в работе [Злобин, Бобков, 2003] была выявлена также годовая миграция слабых землетрясений вдоль упомянутого сегмента разлома. Наблюдаются схождение и пересечение линий активности. После схождения линий активности имело место практически полное затишье в сейсмичности данного участка разлома, как это наблюдалось в 2000 году (рис. 2.4).

График высвободившейся условной упругой деформации (рис. 2.2) позволяет оценить относительную энергию наиболее сильных землетрясений. Кроме уже упоминавшихся Монеронского и Такойского сейсмических событий отчетливой ступенькой на этом графике выделяется Анивское землетрясение 1951 г. ( $M = 5,5$ ) и серия земле-

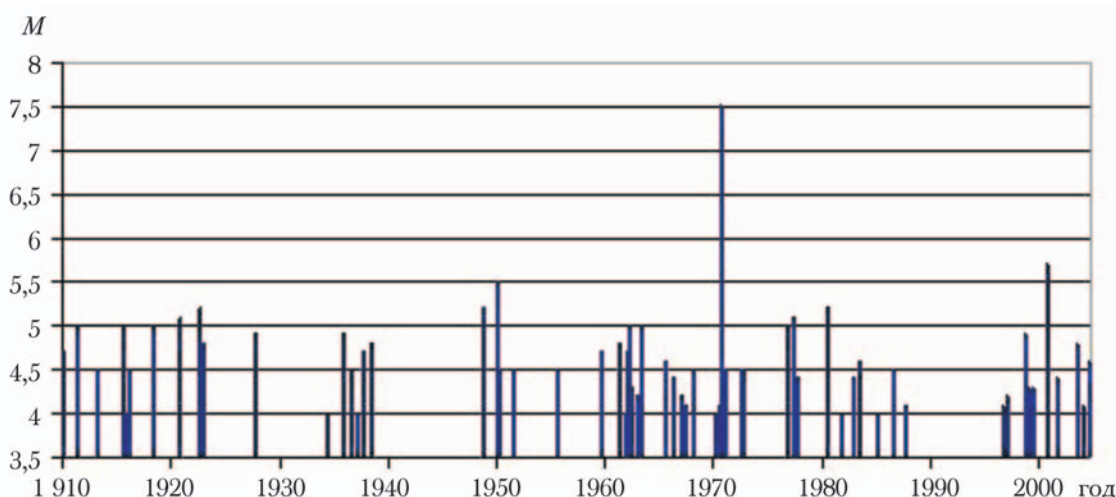


Рис. 2.3. Временная развертка возникновения сейсмических событий с  $M \geq 4,0$ , зарегистрированных на юге о. Сахалин ( $\varphi = 45,8^\circ - 48,1^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 140,5^\circ - 145^\circ .3 \text{ E}$ ) за 1905–2005 гг. по данным регионального каталога [Региональный каталог..., 2006].

Fig. 2.3. Temporal graph representing development of seismic events with  $M \geq 4,0$ , recorded on the south of Sakhalin ( $\varphi = 45,8^\circ - 48,1^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 140,5^\circ - 145^\circ .3 \text{ E}$ ) within the 1905–2005 years' period based on the Regional Catalogue [Regional Catalogue..., 2006].

трясений с  $M = 4,8-5,2$ , произошедших в 1923–1924 гг. в Западно-Сахалинских горах.

Сравнить сейсмичность южного Сахалина с другими территориями можно при помощи графика повторяемости (рис. 2.5). На графике представлена повторяемость землетрясений всего Сахалина за 100 лет – в виде

числовых значений магнитудных диапазонов (квадраты) и аппроксимирующей прямой. На него наложены значения повторяемости землетрясений южного Сахалина (кружки). Как видно из графика, землетрясения малых магнитуд в диапазоне  $M = 3,0-5,0$  происходят на юге острова чаще,

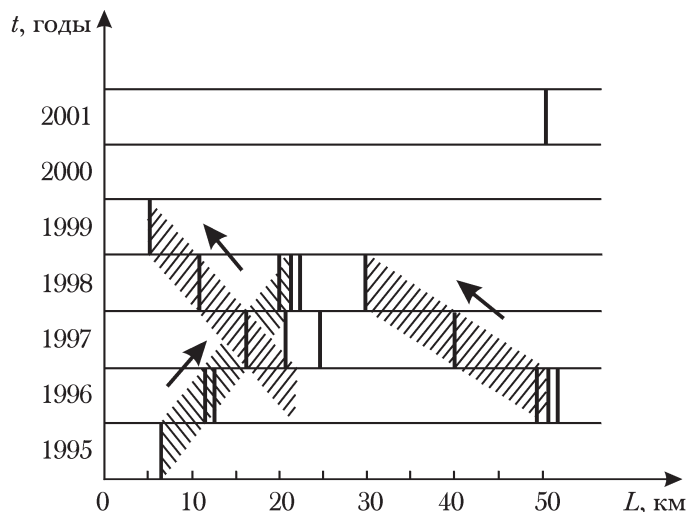


Рис. 2.4. Миграция во времени положения очагов землетрясений в зоне Апреловского разлома.

Вертикальными отрезками линий показано положение эпицентров землетрясений относительно линии разлома. Заштрихованы полосы миграции очагов землетрясений. Стрелками показано направление миграции. Нулевой пикет разлома (ПК0) расположен – на южном окончании разлома, а ПК50 – на северном окончании разлома.

Fig. 2.4. Migration of the earthquake foci over time within the Aprelovsky fault.

Vertical lines show hypocenters' locations with respect to the fault line. Dashed strips represent hypocenters' migration. Arrows show migration vector. Fault's zero observation station (ПК0) – southern end of the fault; the station №50 (ПК50) marks a northern end of the fault.

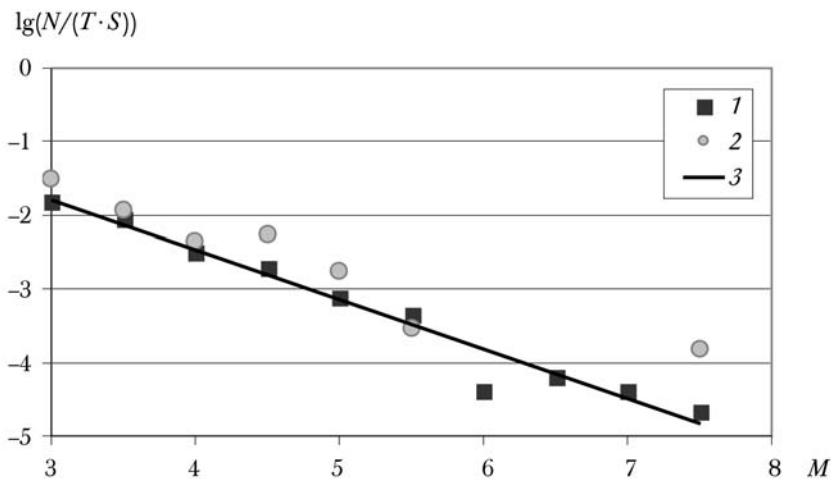


Рис. 2.5. Повторяемость землетрясений Сахалинского региона за 1905–2005 гг. по данным регионального каталога [Региональный каталог..., 2006].

1 – значения повторяемости землетрясений Сахалинского региона магнитудного диапазона  $M-M + 0,4$ , нормированные на время 1 год и площадь  $1000 \text{ км}^2$ ; 2 – значения повторяемости магнитудного диапазона для территории южного Сахалина; 3 – прямая, аппроксимирующая значения 1.

Fig. 2.5. Recurrence rate for the Sakhalin region earthquakes occurred within the 1905–2005 years' period based on the Regional Catalogue [Regional Catalogue..., 2006].

1 – Recurrence values for the Sakhalin earthquakes in the magnitude range  $M-M + 0,4$ ; magnitudes, normalized for one year's period and area of  $1000 \text{ км}^2$ ; 2 – Recurrence values in the above-mentioned magnitude range for the southern Sakhalin; 3 – Straight line approximates values in the item 1.

чем в целом по региону, однако наблюдается явный дефицит сильных событий с  $M = 5,0$  и выше. Землетрясения в диапазоне  $M = 6,0-7,4$  вообще не регистрировались на юге Сахалина за 100 лет наблюдений, если не считать афтершоков Монеронского землетрясения, которые не учитывались при построении графика.

Такое распределение магнитуд землетрясений можно объяснить тем, что земная кора во многих районах южного Сахалина разбита на небольшие фрагменты. Упругие напряжения здесь не могут достигать больших значений, необходимых для реализации сильных землетрясений, поэтому раз-

рядка напряжений происходит в виде более слабых толчков или серий землетрясений. Действительно, рои землетрясений являются характерной формой реализации сейсмических событий для юга Сахалина.

Монеронское землетрясение с  $M = 7,5$  является единственным событием такой силы, произошедшим на Сахалине за 100 лет. Оно хорошо ложится на график повторяемости для всего Сахалинского региона, но значительно превышает ожидаемое значение для территории южного Сахалина. Монеронское землетрясение является событием регионального масштаба с периодом повторяемости приблизительно раз в 100 лет.

## 2.2. Краткое описание сильных ( $M \geq 5,5$ ) землетрясений

Наиболее сильными сейсмическими событиями, произошедшими на юге о. Сахалин за 100 лет инструментальных наблюдений (до 2005 г.), являются Анивское землетрясение 1951 г. ( $M = 5,5$ ), Монеронское землетрясение 1971 г. ( $M = 7,5$ ) и Такойский рой землетрясений 2001 г. ( $M = 5,6$ ).

Анивское землетрясение возникло 2 февраля в 16 час 45 мин (3 февраля, 3:45 сахалинского времени). Название землетрясению дано по ближайшему к макросейсмическому эпицентру крупному населенному пункту. Очаг землетрясения находился на глубине около 20 км. На рис. 2.6 показана схема поверхностного эффекта Анивского

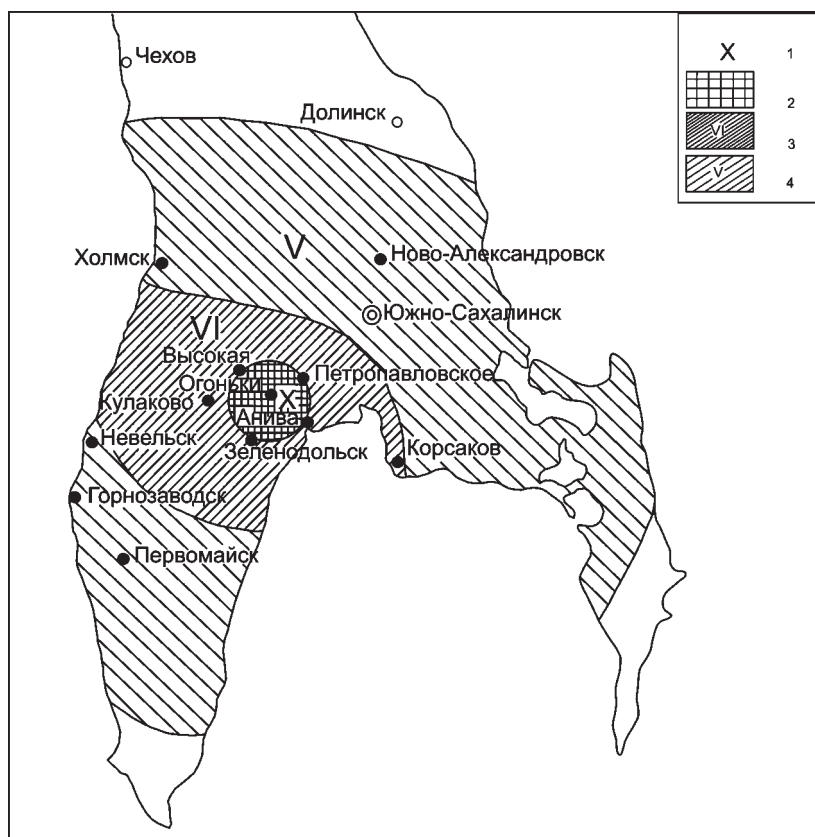


Рис. 2.6. Схема поверхностного эффекта Анивского землетрясения 2 февраля 1951 г.

1 – макросейсмический эпицентр (пос.Подгорное); 2–4 – зоны 7-го, 6-го и 5-го балла, соответственно [Соловьев и др., 1967].

Fig. 2.6. Surface (macroseismic) effects of the Aniva earthquake of February 2, 1951.

1 – macroseismic epicenter (Podgornoye village); 2–4 – areas of 7, 6 and 5 intensity points MSK-64 scale, respectively [Soloviev et al., 1967].

землетрясения, опубликованная в работе С.Л. Соловьева с соавторами (1967).

Сильнее всего землетрясение проявилось в пос. Подгорное Анивского района, где почти во всех домах деревянной или каркасно-засыпной постройки развалились печи и осыпалась штукатурка, сила сотрясений оценивается в 7–8 баллов. В пос. Огоньки землетрясение проявилось с интенсивностью 7 баллов; в г. Анива, поселках Куликово, Петропавловское, Высокое, Зеленодольск сотрясения были так же довольно сильными – 5–6 баллов. Землетрясение ощущалось на всей территории южного Сахалина, в том числе, в областном центре с интенсивностью в 5 баллов. После основного землетрясения жители Анивского района в течение двух месяцев ощущали повторные толчки. Сила аф-

тершоков была от 2 до 6 баллов. Один из сильных повторных толчков ощущался в г. Корсаков с интенсивностью 5–6 баллов.

Эпицентр Монеронского землетрясения ( $M = 7,5$ ), произошедшего 5 сентября 1971 г. в 18 час 35 мин (6 сентября, 5:35 сахалинского времени), располагался в Татарском проливе севернее о-ва Монерон. Это самое сильное сейсмическое событие, произошедшее в Сахалинском регионе за период инструментальных наблюдений. Оно сопровождалось многочисленными повторными толчками (рис. 2.7).

Эпицентральная область землетрясения имеет эллипсообразную форму, вытянутую в северо-северо-восточном направлении. Полоса эпицентров самых сильных афтершоков довольно узкая, около 10 км при длине

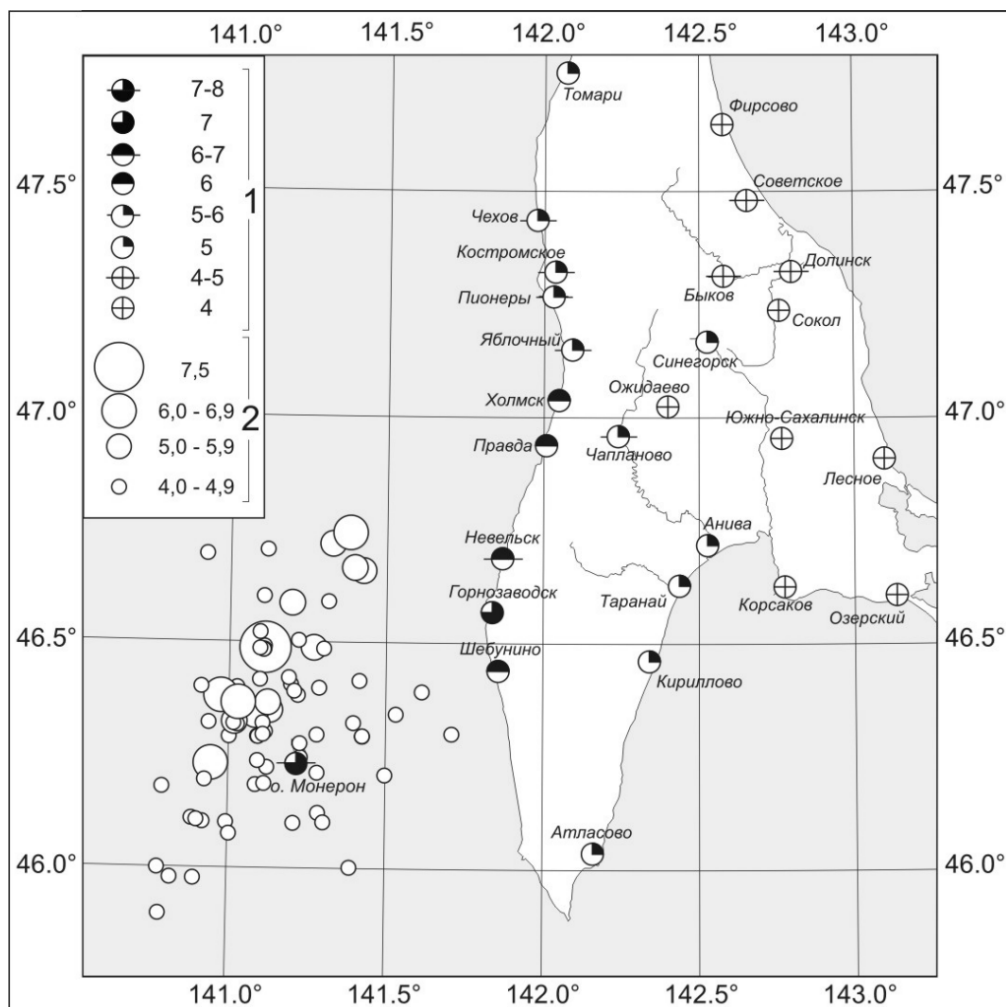


Рис. 2.7. Монеронское землетрясение 5 сентября 1971 г., его крупные афтершоки и макросейсмический эффект по данным [Региональный каталог..., 2006; Макросейсмический эффект..., 1977].

1 – интенсивность сотрясений в населенных пунктах, баллы; 2 – магнитуды толчков.

Fig. 2.7. Moneron earthquake of September 5, 1971, its major aftershocks and macroseismic effects based on the Regional Catalogue [Regional Catalogue..., 2006; Macro seismic effects..., 1977].

1 – intensity of shocks in populated areas, MSK-64 scale; 2 – magnitudes of shocks

около 65 км. По расчетам Е.А. Воробьевой Монеронское землетрясение явилось следствием смещения юго-восточного крыла разлома вверх и на юго-запад [Воробьева, 1977]. Вектор подвижки наклонен к горизонту под углом  $\approx 42^\circ$ . При этом смещение дна было таким, что вызвало цунами высотой до 2 м [Монеронское землетрясение..., 1973].

Афтершоковый процесс Монеронского землетрясения развивался, в основном, в течение месяца и был наиболее активным в первые несколько дней после главного толчка, а затем стал затухать, но сильные афтершоки фиксировались в очаговой области еще в течение шести лет.

Наиболее сильно Монеронское землетрясение проявилось на о.Монерон, здесь, почти в центре плейстосейстовой области, обнаружены значительные деформации грунта, крупные обвалы и оползни, трещины в грунте, особенно крупные в северной, северо-западной и восточной частях острова. В находящихся на острове зданиях метеостанции и маяка разрушены печные трубы, отмечались трещины в стенах. Интенсивность сотрясений здесь оценивается в 7–8 баллов [Макросейсмический эффект..., 1997].

На западном побережье Сахалина землетрясения с наибольшей силой ощущались в Шебунино и Горнозаводске, находящихся в 50 км от эпицентра. Здесь так же отмечались трещины в стенах, обвал штукатурки. Сила сотрясений составляла 7 баллов. В значительном числе пунктов, расположенных на эпицентральной дистанции 100–120 км сила сотрясений оценивается в 5–6 баллов. Причем отмечается вытянутость плейстосейстовой области в северном направлении вдоль основных геологических структур, возможно, это связано с протяженностью очага на северо-северо-восток либо со значительным затуханием энергии сейсмических волн на узких зонах дробления и других тектонических нарушениях под Западно-Сахалинскими горами.

В июле-сентябре 2001 года на южном Сахалине произошла серия землетрясений средней силы, доставившая, однако, беспокойство жителям из-за близости очагов землетрясений к населенным пунктам. Самый сильный толчок магнитудой  $M = 5,6$  произошел 1 сентября в 13 час 08 мин (2 сентября

00:08 по местному времени), однако некоторые предшествующие и последующие толчки с магнитудой  $M = 4,5$ – $5,2$  ненамного уступали ему по силе. Поэтому данные события относят к рою землетрясений. Начало сейсмическому процессу в очаговой зоне Такойского роя положило ощутимое землетрясение, произошедшее 23 июля с магнитудой  $M = 3,3$ . Довольно сильные землетрясения с  $M = 4,5$  произошли 6 и 8 августа, после чего интенсивность процесса стала спадать. 1 сентября 2001 г. произошли самые сильные толчки, шесть из которых превысили магнитуду  $M = 4,0$ , сильнейший толчок серии произошел 1 сентября в 13:08 и имел магнитуду  $M = 5,2$ . В течение 2–4 сентября сейсмическая активность продолжала оставаться высокой, произошло еще четыре события, превысившие  $M = 4,0$ . Однако количество зафиксированных землетрясений уменьшилось. В последующие дни активность стала уменьшаться, но возвращение к естественному сейсмическому фону, характерному для данной территории произошло только через год.

Эпицентры землетрясений роя расположены компактно и приурочены к сети тектонических нарушений, связанных с Центрально-Сахалинским разломом. Однако, скорее всего не связаны с подвижками по его основному сместителю. На это указывает весь набор макросейсмических наблюдений и особенно отсутствие видимых свежих следов проявления подвижек (трещин в грунте, уступов в рельефе и т.д.) в непосредственной близости к выходу основного сместителя [Эпицентральные наблюдения..., 2001]. На Быковско-Синегорском участке Тымь-Поронайская разломная зона имеет очень сложное чешуйчато-надвиговое строение [Мельников, 1987].

Очаговая область Такойского роя имеет размеры 10 на 12 км и наклонена на восток. Первый этап сейсмического процесса, связанный с августовскими землетрясениями, происходил в восточной части очаговой зоны на глубинах 10–14 км, а события второго этапа, включающего наиболее сильные сентябрьские землетрясения, произошли в западной части очаговой зоны на несколько меньшей глубине.

Согласно определению механизма очага сильнейшего толчка Такойского роя (01.09 в

13:08,  $M = 5,2$ ), а также групповых обобщенных механизмов более слабых толчков [Такойское землетрясение..., 2007], в очагах Такойской серии землетрясений основными действующими были близгоризонтальные сжимающие напряжения. Характерная дислокация – взброс. В очагах афтершоков суммарный механизм и направления подвижек по плоскостям аналогичны главному толчку.

Землетрясение 1 сентября в 13:08 с  $M = 5,2$  произошло в густонаселенном районе на расстоянии 3–4 км от близлежащих поселков, где оно проявилось интенсивностью до 7 баллов. Детальное полевое обследование [Эпицентральные наблюдения..., 2001] обнаружило многочисленные свежесломанные деревья, свежие оползни и вывалы корней трещиноватых пород, отмеченные на обрывистых склонах русел рек. В качестве заметных сопутствующих явлений отмечаются изменения в характере грифонной деяте-

льности Южно-Сахалинского «грязевого» вулкана.

Наиболее сильно землетрясение ощущалось в поселках Углезаводск и Сосновка Долинского района, где зарегистрирована интенсивность в 7 баллов (рис.2.8). В других населенных пунктах, окружающих очаговую зону, интенсивность достигала от 5 до 6–7 баллов. Другие толчки серии так же вызывали сильные сотрясения, но не превышающие 5–6 баллов. Всего с начала Такойской серии до конца года работниками сейсмостанции «Южно-Сахалинск» зафиксировано 27 ощутимых землетрясений в Долинском районе, однако несомненно, что некоторые слабые ощутимые толчки 1–4 сентября выпали из внимания на фоне более сильных событий. Последний сильный афтершок Такойской серии, вызвавший в п.Углезаводск сотрясения в 5 баллов, произошел 4 августа 2002 г. ( $M = 4,2$ ).

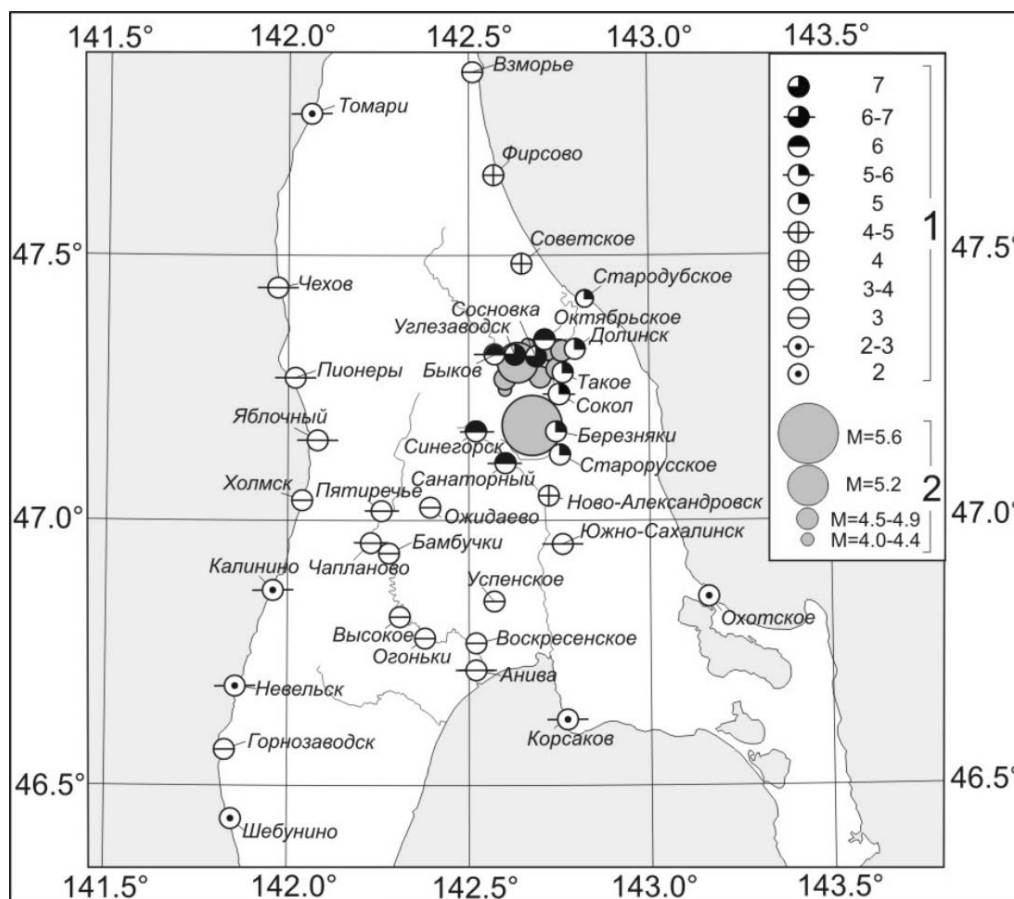


Рис. 2.8. Такойское землетрясение 1 сентября 2001 г. в 13 час 08 мин, его макросейсмический эффект и другие землетрясения Такойского роя 2001 г. по данным [Региональный каталог..., 2006; Такойское землетрясение..., 2007]. 1 – интенсивность сотрясений в населенных пунктах, баллы; 2 – магнитуды толчков.

Fig. 2.8. Takoi earthquake of September 1, 2001, 13:08, its macroseismic effects and other earthquakes of the 2001 Takoi cluster based on the Regional Catalogue [Regional Catalogue..., 2006; Takoi earthquake..., 2007].

1 – intensity of shocks in populated areas, MSK-64 scale; 2 – magnitudes of shocks.



# ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЮГО–ЗАПАДЕ ОСТРОВА САХАЛИН

### Аннотация

Дано описание предвестников, положенных в основу долгосрочного прогноза, составленного сахалинскими сейсмологами в декабре 2005 г. При этом решающая роль отводилась предвестникам типа сейсмических брешей. Брешь первого рода в районе г. Невельск была обнаружена в результате картирования очагов известных сильных землетрясений вдоль границы тектонических плит, простирающейся восточнее Японских островов и о-ва Сахалин. Существование в том же районе сейсмической брешы второго рода (области затишья неглубоких землетрясений с магнитудой  $M \geq 3,0$ ) было установлено по данным локальной сети цифровых станций «Datamark». На основании размеров области затишья были рассчитаны магнитуда ожидаемого события и его наиболее вероятное местоположение.

### Referat

Description of the earthquake precursors, used as a foundation for a long-term forecast made up by the Sakhalin seismologists in December 2005, is given. The main role in it was given to precursors of the seismic gap type. The gap of the first kind in the Nevelsk area was identified in mapping of the known strong earthquakes to have taken place along the tectonic plates border laying to the east off Japanese islands and Sakhalin. Availability of the second kind seismic gap (quite area of the shallow  $M \geq 3,0$  earthquakes) within the same area was established using local network of Datamark digital stations. Based on the sizes of the gap area the magnitude of the possible event and its most probable location were predicted.

### 3.1. Характер активизации сейсмичности в юго–западной части о–ва Сахалин в 2003–2005 гг.

После двух разрушительных землетрясений на Сахалине (Нефтегорского 1995 г.,  $M_s = 7,2$  и Углегорского 2000 г.,  $M_s = 7,0$ ) внимание сахалинских сейсмологов было привлечено к Южному Сахалину и Северному Хоккайдо, как одним из наиболее вероятных районов возникновения сильного землетрясения в ближайшие годы. Основная особенность коровой сейсмичности Южного Сахалина (территории южнее  $48^\circ$  с.ш., включая шельф) состоит в том, что она приурочена к двум основным разломным зонам – Центрально-Сахалинской, проходящей вблизи областного центра, и Западно-Сахалинской, протягивающейся вдоль западного побережья острова (рис. 3.1). Они ограничивают поднятие Западно-Сахалинских гор с запада и с востока. Добавим, что кроме этих зон, юго-западнее острова существует не менее мощная Ребун-Монеронская зона разломов.

Возможность возникновения землетрясений с  $M_s \geq 7,5$  доказана, по крайней мере, для двух из них: Ребун-Монеронской зоны

(землетрясение 1971 г.,  $M_s = 7,5$ ) и Центрально-Сахалинской (по результатам палеосейсмологических исследований); зона Западно-Сахалинского разлома на юге острова изучена слабо. За всю историю аблюдений с 1905 г. по 2005 г. здесь, начиная примерно с широты  $46,5^\circ$  с.ш., не отмечалось землетрясений с  $M > 5,0$  (рис. 3.1). В восточной части Южного Сахалина также есть несколько разломов, но меньших по масштабу, их сейсмическая активность проявляется слабее, и вероятность возникновения здесь сильного землетрясения, по-видимому, невелика.

С помощью автономных цифровых станций DATAMARK удалось зафиксировать, начиная с 2003 г., заметное оживление сейсмичности вдоль Западно-Сахалинской зоны разломов, которое носило явно кольцевой характер [Анализ текущей сейсмической..., 2005]. Оно проявилось в виде двух стадий активизации, завершившихся Костромским землетрясением 30 мая 2004 г.,  $M_s = 4,8$ , которое можно связывать с зоной Западно-Сахалинского разлома, и Монерон-

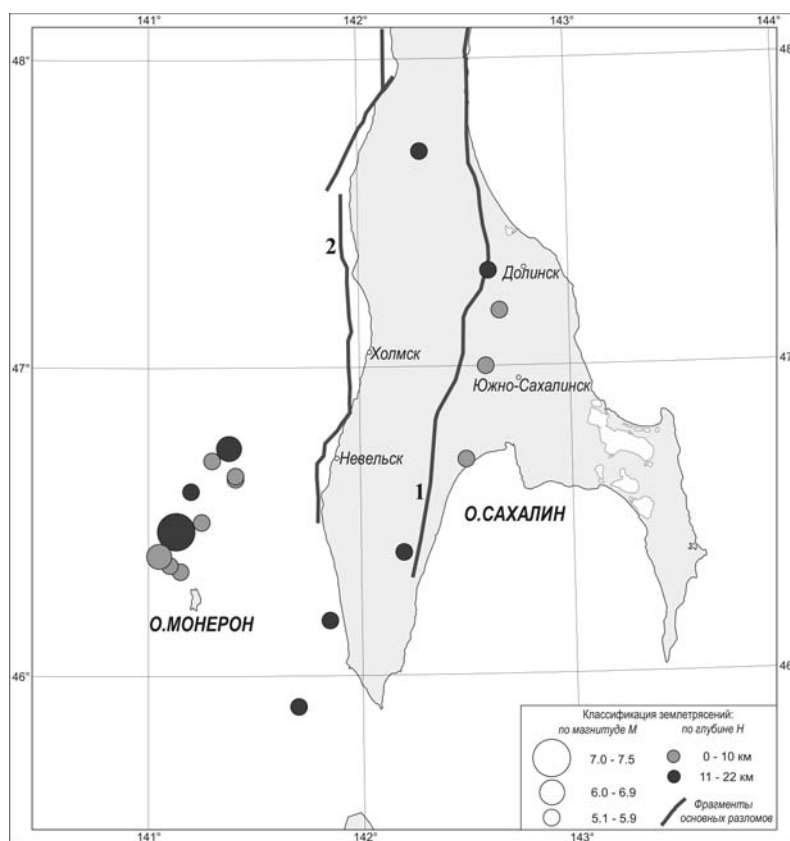


Рис. 3.1. Карта эпицентров коровых землетрясений юга острова Сахалин с  $M \geq 5,1$  за период 1905–2005 гг. [Региональный каталог землетрясений, 2006] и основные разломные зоны земной коры.

Цифрами 1, 2 обозначены, соответственно, Центрально-Сахалинская и Западно-Сахалинская системы разломов. Скопление эпицентров землетрясений в районе острова Монерон показывает положение начальной части Ребун-Монеронской зоны разломов.

Fig. 3.1. Epicenter map of the crustal earthquakes with magnitudes  $M \geq 5,1$  occurred in the southern Sakhalin within the 1905–2005 years' period [Regional Catalogue..., 2006] and main fault zones of the Crust.

1 and 2 represent central Sakhalin and western Sakhalin fault systems, respectively. Clustering of epicenters within the Moneron area shows location of initial part of the Moneron-Rebun fault zone.

ским землетрясением 18 декабря 2004 г.,  $M_s = 4,7$ , произошедшим в зоне очага землетрясения 1971 г. с  $M_s = 7,5$ . (рис. 3.2).

На данном рисунке, на фоне стационарного хода сейсмичности, видны ограниченные прямоугольниками участки нелинейного нарастания числа слабых толчков перед этим основным событием, а также последующее затухание афтершоковых серий толчков. Следует отметить и продолжающуюся после Такойского роя 2001 г.,  $M_{s,max} = 5,6$  активность в зоне Центрально-Сахалинского разлома. Таким образом, на фоне общего спада активности на севере и в центральной части острова, на юге Сахалина наблюдалось определенное оживление сейсмичности в зонах всех трех главных глубинных разломов.

Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных в течение трех лет до начала реализации описываемого долгосрочного прогноза, представлена на рис. 3.3. Она показывает, что современная сейсмичность приурочена, в основном, к выявленным разломным зонам. Исключение составляет кластер землетрясений, расположенный северо-восточнее г. Холмск вблизи пос. Костромское, который отвечает Костромскому землетрясению 30 мая 2004 г. ( $M_s = 4,8$ ) и его афтершокам.

Также обращает на себя внимание глубокое сейсмическое затишье в районе населенных пунктов Горнозаводск и Невельск, где в последующие два года будут происходить основные сильные землетрясения.

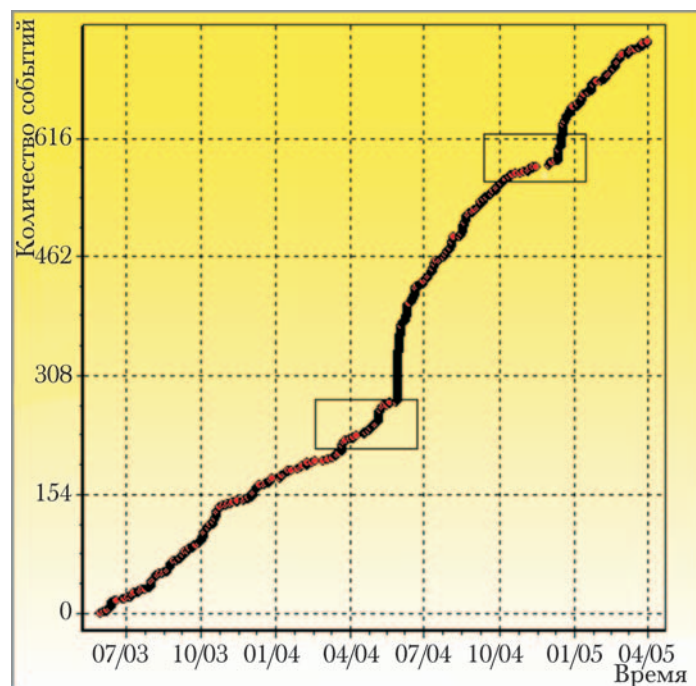


Рис. 3.2. График зависимости от времени кумулятивной суммы числа сейсмических толчков с  $M \geq 1,5$ , зарегистрированных на юге Сахалина за период 1 июня 2003 г. – 4 апреля 2005 г.

Прямоугольные области ограничивают участки кумулятивной кривой, непосредственно предвещающие наиболее сильные землетрясения 30 мая 2004 г. ( $M_S = 4,8$ ) и 18 декабря 2004 г. ( $M_S = 4,7$ ).

Fig. 3.2. A plot of cumulative number of shocks versus time for the shocks with magnitudes  $M \geq 1,5$  recorded in the south of Sakhalin in the period from June 1, 2003 till April 4, 2005.

Rectangular sections limit the cumulative curve portion directly preceding the strongest earthquakes of May 30, 2004 ( $M_S = 4,8$ ) and December 18, 2004 ( $M_S = 4,7$ ).

### 3.2. Долгосрочный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 г.

История прогноза Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. берет свое начало с публикации в 1997 г. статьи [Тихонов, 1997], в которой была исследована многолетняя динамика сейсмического режима на юге Сахалина после Монеронского землетрясения 1971 г. с  $M_S = 7,5$ . Как известно, это событие возникло юго-западнее острова Сахалин, и его очаг располагался в пределах Ребун-Монеронской системы разломов.

Процитируем один абзац из работы [Тихонов, 1997]: «Длительный период постепенного снижения уровня сейсмичности привел к образованию зоны сейсмического затишья. Она была уверенно картирована с 1980 г. и по настоящее время на западном шельфе острова с небольшой сухопутной частью в районе гг. Холмск–Шебунино. Как долго будет длиться это затишье? Ответ на этот вопрос могут дать расчеты с помощью методов среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений с  $M \sim 5$  и более».

Такой вывод был сделан на основе анализа данных весьма разреженной региональ-

ной сети наблюдений за 1961–1992 гг. и более детального каталога мелкофокусных землетрясений юга Сахалина за июнь 1992 г. – февраль 1997 г., составленного Н.В. Краевой [Краева, 1997] по данным станции «IRIS-2». Последний каталог обеспечивал представительность событий с  $M > 2,6$  на расстояниях  $\Delta \geq 70$  км, однако и этого было недостаточно для уверенного картирования границ зоны затишья на шельфе острова. По этой причине прогноз не был оформлен документально.

Картирование очагов известных сильных землетрясений восточнее Японских островов и Сахалина вдоль границы тектонических плит, простирающейся на 1800 км от г. Ниигата (о. Хонсю) до Северного Сахалина, позволило установить наиболее вероятные места будущих сильных землетрясений [Тихонов, 2006] (рис. 3.4). Они отвечали областям, в которых на начало нового тысячелетия длительное время (порядка 100 и более лет) не происходили сильные ( $M \sim 7$ ) землетрясения. Согласно К. Моги [Моги, 1988] такие области называются сейсмическими бре-

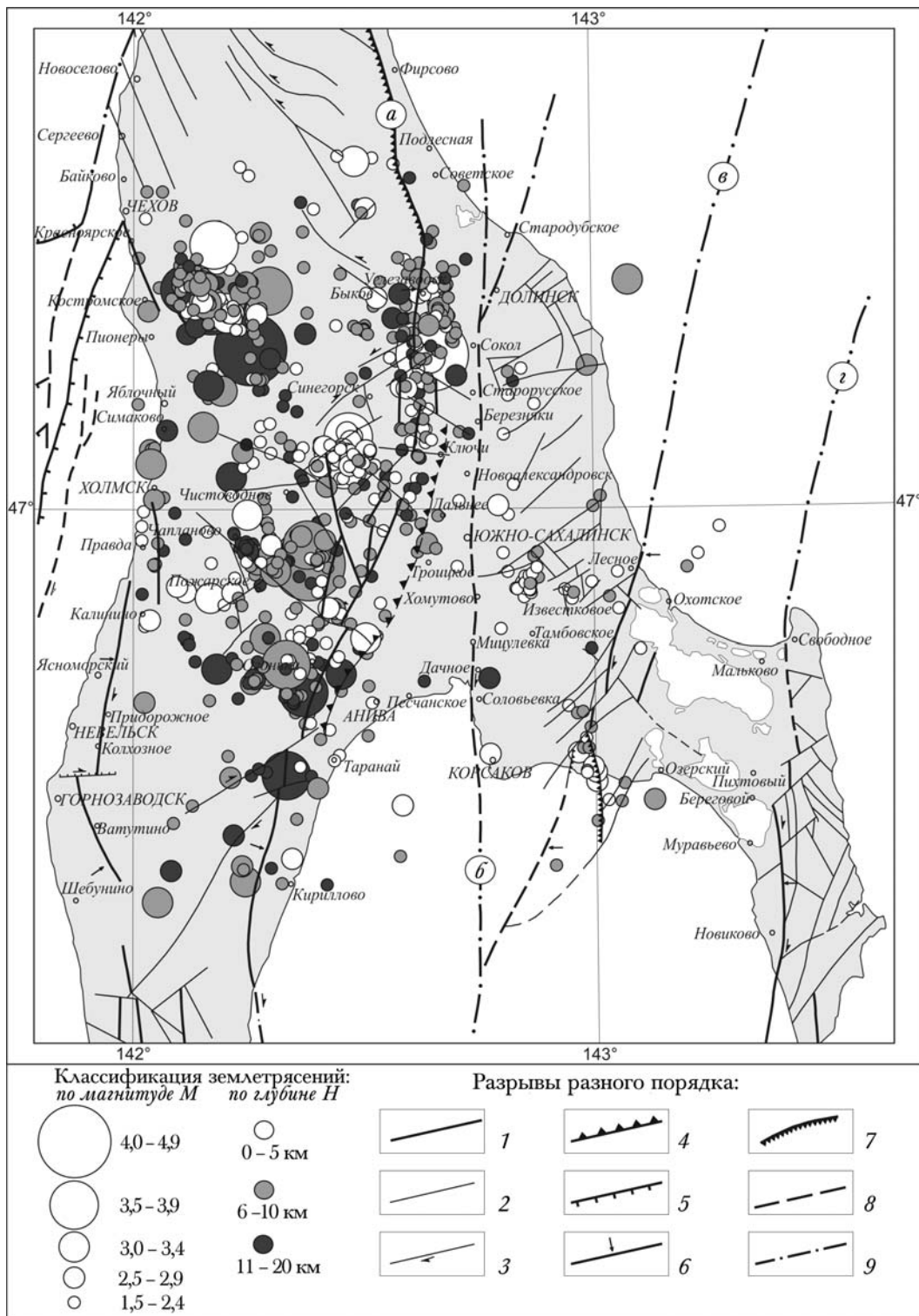


Рис. 3.3. Карта эпицентров мелкофокусных землетрясений юга острова Сахалин с  $M \geq 1,5$  за период с июня 2003 г. по июнь 2006 г. по данным сети цифровых сейсмических станций «Datamark» и «DAT» (каталог Ким Ч.У.) и дислокации разрывных нарушений разного ранга согласно [Рождественский, 1993].

1 – региональные глубинные разломы ( $a$  – Центрально-Сахалинский,  $b$  – Сусунайский,  $в$  – Мерейский,  $г$  – Тонино-Анивский); 2 – локальные разрывы; 3 – сдвиги; 4 – взбросы и надвиги; 5 – сбросы; 6 – сдвиги, трансформированные во взбросы (стрелки указывают направление взброса); 7 – обновленные взбросы и зоны сжатия сдвигов; 8 – погребенные разрывы; 9 – предполагаемые разрывы.

Fig. 3.3. Epicenter map for the small foci earthquakes with  $M \geq 1,5$  over the south of Sakhalin occurred in the period from June 2003 up to June 2006 based on the «Datamark» and «DAT» network of digital seismic stations (Catalogue by Kim Ch.U.) and dislocations of faulting areas of different rank after Rozhdestvensky [Rozhdestvensky, 1993].

1 – Regional deep faults ( $a$  – Central Sakhalin,  $b$  – Susunaisky,  $в$  – Mereisky,  $г$  – Tonino-Anivsky); 2 – local faults; 3 – strike-slip faults; 4 – reverse faults; 5 – normal faults; 6 – strike-slip faults transformed into reverse faults (arrows show direction of reverse fault); 7 – renewed reverse faults and strike-slip' compression zones; 8 – buried faults; 9 – probable faults.

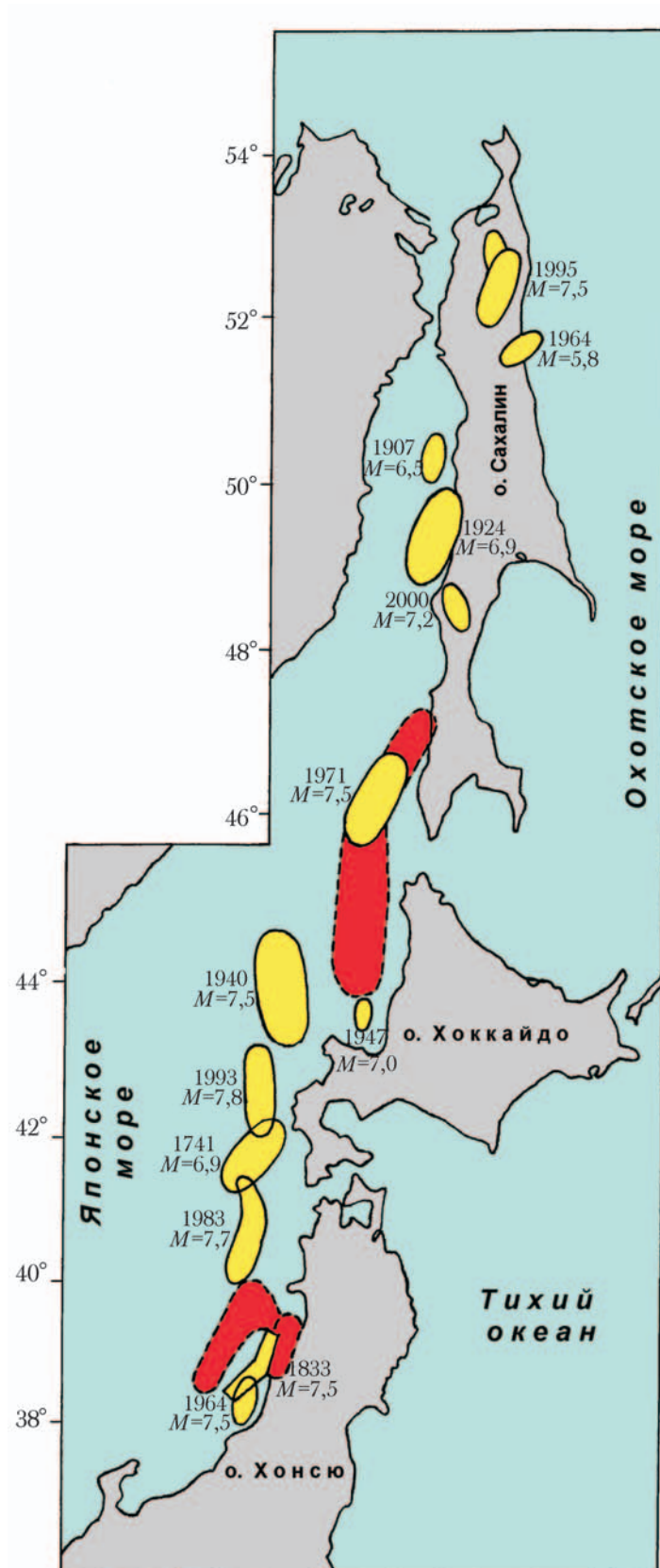


Рис. 3.4. Карта очагов известных сильных землетрясений Сахалина и восточной части Японского моря (желтые овалы) и наиболее вероятных мест будущих сильных событий (красные области), построенная Ким Ч.У. (ИМГиГ ДВО РАН) в 2001 г.

Fig. 3.4. Foci map of the known strong earthquakes occurred in Sakhalin and eastern Sea of Japan (yellow ovals) and of the most probable future events (areas in red), constructed by Kim Ch. U. (IMG & G FEB RAS) in 2001.

шами (seismic gaps) первого рода. Для юга Сахалина опасность представляли две сейсмические брешы: вблизи побережья о-ва Хоккайдо, и в пределах вышеупомянутой второй системы разломов, на юго-западном шельфе о-ва Сахалин [Тихонов, 2006] (рис. 3.5).

Участки, где сейсмическая активность снижается и в течение нескольких лет наблюдается затишье (отсутствие толчков, начиная с некоторого магнитудного порога), по терминологии К. Моги относятся к брешам второго рода. Вернуться к вопросу картирования границ подобной зоны затишья на шельфе острова и оформить выводы в виде

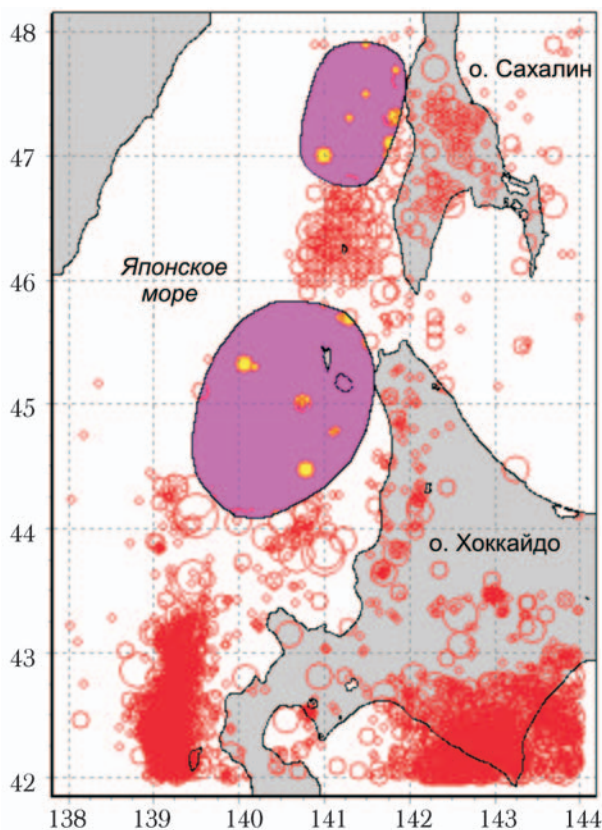


Рис. 3.5. Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 3,0$ , зарегистрированных с 1923 по 2005 гг. вблизи западного побережья о-вов Сахалин, Хоккайдо и примерное положение двух сейсмических брешей.

Эпицентры на верхней половине карты ( $\varphi \geq 45,5^\circ$ ) взяты по данным российского каталога, а на нижней половине карты – по данным каталога Японского метеорологического агентства.

Fig. 3.5. Epicenter map for the earthquakes with  $M \geq 3,0$ , recorded since 1923 until 2005 year western coasts of Sakhalin and Hokkaido and approximate locations of the two seismic gaps.

Epicenters in the top half of the map ( $\varphi \geq 45,5^\circ$ ) are taken from the Russian catalogue and those in the bottom half are taken from the Catalogue of the Japanese Meteorological Agency.

долгосрочного прогноза сейсмологам (И.Н. Тихонову, Ч.У. Киму, А.И. Иващенко и Л.Н. Поплавской) удалось только в декабре 2005 года (см. табл. 3.1.) [Тихонов, 2006; Тихонов, Ким, 2008]. Этому способствовала организация на юге острова Сахалин сети цифровых автономных сейсмических станций «Datamark» и «DAT». В результате тщательного анализа данных цифровой сети с середины 2003 г. были установлены важнейшие предвестниковые эффекты готовящегося сильного землетрясения.

Обоснованием прогноза послужили следующие предвестники: (1) сейсмическая брешь первого рода (рис. 3.6) – область отсутствия сильных землетрясений в течение 100 и более лет в пределах Западно-Сахалинской системы глубинных разломов земной коры; (2) сейсмическая брешь второго рода (рис. 3.7) – область сейсмического затишья размером  $90 \times 60$  км, выявленная по данным

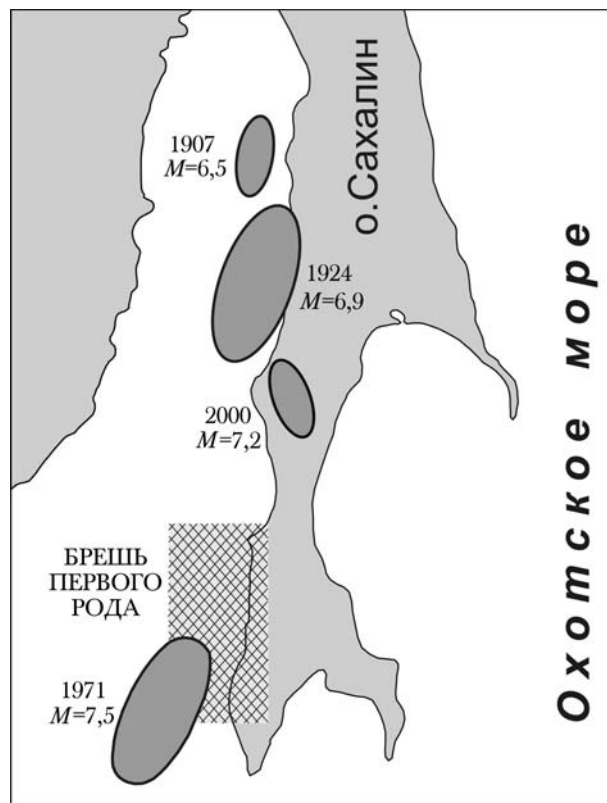


Рис. 3.6. Очаги известных к 2005 г. сильных землетрясений вблизи западного побережья о-ва Сахалин (овалы серого цвета) и примерное положение сейсмической брешы первого рода (заштрихованная область).

Fig. 3.6. Foci of the strong earthquakes occurred near the western Sakhalin coast around 2005 (grey ovals) and approximate location of the seismic gaps of the first kind (dashed area).

Таблица 3.1

## Перечень основных параметров прогнозируемого события [Тихонов, 2006]

Дата начала и окончания тревоги	Магнитуда и глубина землетрясения	Положение эпицентра землетрясения	Вероятность возникновения землетрясения	Максимальный ожидаемый макросейсмический эффект, в баллах шкалы MSK-64
январь 2006–июль 2013 гг.	$M_S = 6,0-7,2$ $h = 0-30$ км	см. в тексте	$\geq 75\%$	9,0 (в эпицентре) 8,0 (на побережье)

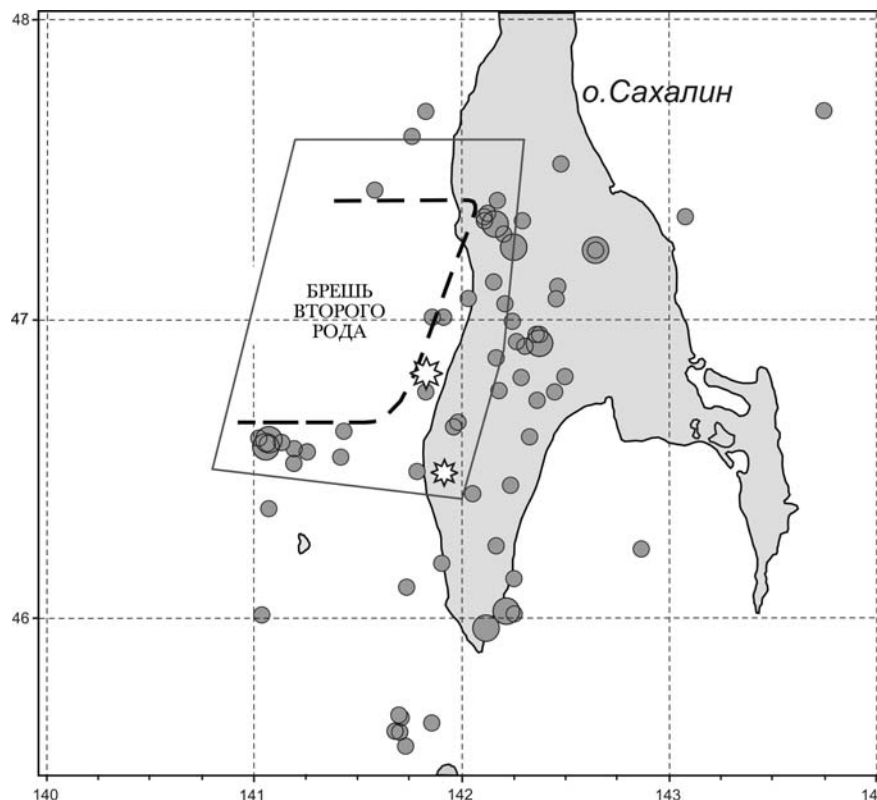


Рис. 3.7. Положение сейсмической брешы второго рода, установленное по положению эпицентров коровых землетрясений с  $M \geq 3,0$  за 1993–2005 гг. по данным системы «IRIS-2» (сейсмическая станция «Южно-Сахалинск») и сети станций «Datamark», «DAT».

Пунктирная кривая – контур сейсмической брешы второго рода. Область внутри полигона – предполагаемый район расположения эпицентра прогнозируемого землетрясения. Малая и большая звездочки – фактическое положение эпицентров Горнозаводского 17(18) августа 2006 г. ( $M_W = 5,6$ ) и Невельского 2 августа 2007 г. ( $M_W = 6,2$ ) землетрясений по данным каталога Ким Ч.У. (ИМГиГ ДВО РАН).

Fig. 3.7. Location of the seismic gap of the second kind established by the position of the  $M \geq 3,0$  crustal earthquakes' epicenters for 1993–2005 using data from the IRIS -2 system (seismic station Yuzhno-Sakhalinsk) and the Datamark, DAT stations' network.

Dashed line shows contours of the seismic gap of the second kind. Area inside the polygon is an estimated location of the predicted earthquake. Small and big asterisks show actual epicentral location of the Gornozavodsk earthquake ( $M_W = 5,6$ ) of August 17(18), 2006 and that of Nevelsk earthquake of August 2, 2007 ( $M_W = 6,2$ ), respectively, based on the catalogue by Kim Ch. U. (IMG&G FEB RAS).

сети цифровых станций «Datamark», в которой, по крайней мере, с середины 2003 г. не наблюдались мелкофокусные землетрясения с магнитудой  $M \geq 3,0$ .

Вероятное положение эпицентра главного толчка было определено в пределах сейсмической брешы второго рода с небольшими допусками (рис. 3.8) в пределах следующего полигона: (47,6° с.ш.; 141,2° в.д.); (46,5° с.ш.;

140,8° в.д.); (46,4° с.ш.; 142,0° в.д.); (46,9° с.ш.; 142,2° в.д.); (47,6° с.ш.; 142,3° в.д.).

Магнитуда прогнозируемого события ( $M_{LH}$ ) оценивалась двумя способами. В первом способе использовалась формула К. Такаки [Такаки, 1980]:

$$\lg R = 0,33M - 0,07,$$

связывающая линейный размер брешы второго рода ( $R$ ) с магнитудой ожидаемого со-

бытия ( $M$ ). Согласно этой формуле  $M = 6,1$ . Во втором подходе используются два корреляционных соотношения: Р.З. Тараканова (1995) –  $\lg L = (0,5 \pm 0,01)M - (1,77 \pm 0,07)$  и Н.В. Шебалина (1961) –  $L \approx 1/3R$ , где  $L$  – линейный размер зоны афтершоков. Подставляя второе соотношение в первое, получим:  $\lg R = (0,5 \pm 0,01)M - (1,77 \pm 0,07) + \lg 3$ . Эта формула дает оценку  $M = 6,6$ . Из двух оценок магнитуды (6,1 и 6,6) предпочтительнее выбрать вторую, учитывая возможность реализации неблагоприятного сценария. Разброс этих оценок и неопределенность задания коэффициентов в формуле Р.З. Тараканова определили диапазон, в котором может находиться прогнозируемая магнитуда  $M_{LN} = 6,6 \pm 0,6$ . Для глубины очага взят интервал 0–30 км, отвечающий диапазону глубин гипоцентров известных событий в районе тревоги.

Дата окончания тревоги определялась исходя из данных о средней продолжительности существования областей затишья (~ 10 лет) пе-

ред сильными землетрясениями западного побережья Японских о-вов и Сахалина, а также времени уверенного картирования данной области затишья (не менее 2,5 лет).

Ожидаемый макросейсмический эффект (в баллах шкалы MSK-64) рассчитывался для неблагоприятного сценария, то есть, при условии возникновения землетрясения с магнитудой, близкой к максимальной, и для трех возможных положений эпицентра (рис. 3.8).

Описанный выше прогноз был опубликован в 2006 г. [Тихонов, 2006]. В августе того же года он был рассмотрен и утвержден Российским экспертным Советом (РЭС) по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска. С учетом этого в августе 2006 года были проведены командно-штабные учения Министерства по Чрезвычайным Ситуациям России по теме «Ликвидация последствий разрушительного землетрясения, цунами в Сахалино-Курильском регионе».

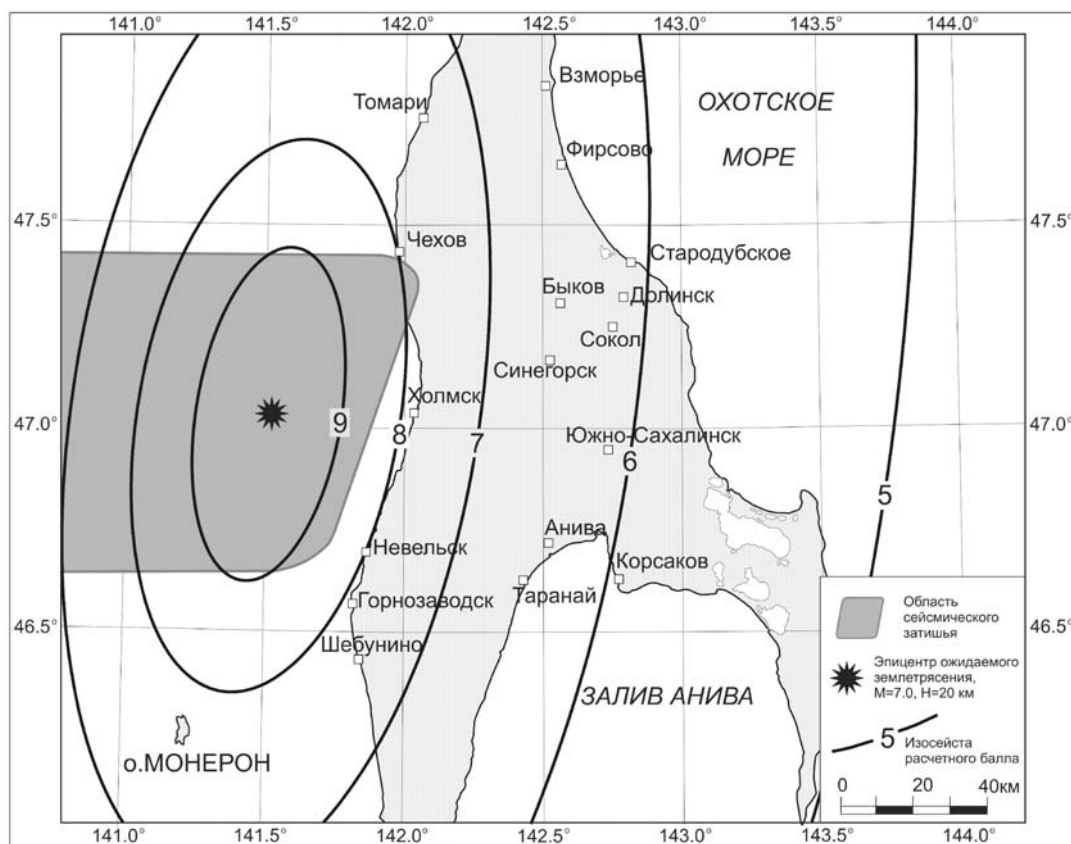


Рис. 3.8. Ожидаемый макросейсмический эффект (в баллах шкалы MSK-64) в случае возникновения землетрясения с  $M_S = 7,0$  на глубине 20 км в центральной части зоны сейсмического затишья (расчет Л.Н. Поплавской, выполненный в декабре 2005 г.).

Fig. 3.8. Predicted macroseismic effects (in intensity points of the MSK-64 scale) in case of occurrence of the  $M_S = 7,0$  earthquake at the depth of 20 км in the center of the seismic gap area (based on calculation by L.N. Poplavskaya performed in December of 2005).



# АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ ПЕРЕД ГОРНОЗАВОДСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 2006 г.

### Аннотация

Горнозаводского землетрясение 2006 г. явилось началом реализации долгосрочного прогноза, рассмотренного в предыдущей главе. Оно предвлялось рядом аномальных геофизических эффектов, описанных в данной главе. Наряду с традиционными предвестниками, в частности, удалось с помощью спутникового радиоальтиметра уверенно отследить влияние процессов подготовки очага на отражающую способность поверхности суши. Радиоальтиметр представляет собой радар, излучающий в надир и принимающий сигнал, рассеянный назад подстилающей поверхностью. В результате за 33 суток до Горнозаводского землетрясения были зафиксированы значимые аномалии мощности радиосигнала, рассеянного поверхностью по отношению к долговременным фоновым значениям. С помощью гидроакустической системы регистрации в замкнутом водоеме вблизи г. Холмск за 21 час 22 мин до начала землетрясения установлено появление около 250 серий однотипных сигналов, значительно превышающих уровень помех. За 11 часов до возникновения землетрясения наблюдалось полное их исчезновение, а также отсутствие и после реализации землетрясения.

### Referat

Gornozavodsk earthquake of 2006 laid foundation for implementing long-term forecast discussed in the previous chapter. The earthquake was preceded with a number of anomalous geophysical phenomena described in this chapter. Besides traditional precursors it was possible in particular to reliably identify impact of the focus preparation process on the land surface reflectance, using satellite radio altimeter. Radio altimeter is a radar emitting to the nadir point and receiving signals dissipated by the underlying surface. As a result, 33 days before the Gornozavodsk earthquake the significant power anomalies of the surface-dissipated radio signal were registered (with respect to the long-term background values). Using hydro acoustic recording system, installed in an enclosed pond near the city of Kholmok, 250 series of uniform signals, significantly exceeding noise level, were registered 21 hours 22 min. before the earthquake commencement. 11 hours before the earthquake they were found to have completely disappeared; they didn't reappear following the earthquake either.

## 4.1. Спутниковый мониторинг поверхности суши на юге о-ва Сахалин

В данном разделе рассмотрена возможность использования спутниковой радиоальтиметрии для дистанционного мониторинга процесса подготовки сильного землетрясения. Известно, что в зоне дилатансии в период подготовки землетрясения могут изменяться диэлектрические свойства горных пород, а также шероховатость поверхности. Можно ожидать, что эти процессы приведут к появлению аномалий мощности радиосигнала, рассеянного поверхностью по отношению к фоновым значениям.

Радиоальтиметр представляет собой радар, излучающий в надир и принимающий сигнал, рассеянный назад подстилающей поверхностью. Радиоальтиметры создавались для измерения возвышения водной поверхности и предназначены для работы над океа-

ном. Однако в последние годы обсуждаются возможности использования радиоальтиметрических измерений для мониторинга поверхности суши [Papa, Legresy, Remy, 2003]. В настоящее время имеется опыт успешного применения таких измерений для определения толщины ледового покрова Гренландии и Антарктиды [Remy et al., 1996; Remy et al., 1999], мониторинга внутренних водоемов [Alsdorf et al., 2001] и т.п.

Радиоальтиметры, размещенные на спутниках CNES/NASA Topex-Poseidon и Jason-1, работают в диапазонах микроволнового излучения Ku (13,6 GHz, 2,2 см) и C (5,4 GHz, 5,5 см) диапазонов.

В последние годы предприняты успешные попытки классификации свойств поверхности суши по данным измерений радиоло-

кационного сечения рассеяния  $\sigma_0$  в С- и Ку-диапазонах с помощью двухчастотного альтиметра CNES/NASA Торех–Poseidon [Papa, Legresy, Remy, 2003]. Величина  $\sigma_0$  характеризует мощность радиосигнала, рассеянного поверхностью, и определяется ее диэлектрическими свойствами и шероховатостью [Legresy et al., 2005]. Это позволяет селективно выбирать поверхности с различными свойствами.

Альтиметрический спутник CNES/NASA Jason-1, находящийся в настоящее время на орбите, осуществляет измерения свойств поверхности Земли вдоль треков шириной около 5 км с периодом повторения 9,91 сут. Миссия Торех–Poseidon закончилась в январе 2006 г., и данные измерений Торех–Poseidon с 1992 г. находятся в свободном доступе на ftp-сервере PODAAS. Постоянно обновляемые данные измерений, полученные со спутника Jason-1 с 2002 г. по текущий момент, также находятся на ftp-сервере PODAAS, при этом в GDR вместо  $\sigma_0$  над сушей приведены значения параметра AGC (automatic gain control) для С и Ку диапазонов, пропорциональные  $\sigma_0$ . Имеющаяся на настоящий момент база данных позволяет определить средние

величины параметров принимаемого сигнала (например,  $\sigma_0$  или AGC) выделять аномалии на их фоне.

Для анализа было выбрано Горнозаводское землетрясение 17 августа 2006 г. с магнитудой  $M_W = 5,6$ , произошедшее южнее г. Холмск Сахалинской области, где имеется обширный материал наземных наблюдений подготовки землетрясения. На рис. 4.1 представлена карта района землетрясения и 136-ой трек спутника Jason-1. На рис. 4.2б показаны разрезы вдоль 136-го трека величина AGC для Ку-диапазона, полученные в конце 2005–2006 годах. Важной особенностью этих зависимостей является резкое отличие формы зависимости, полученной 14 июля 2006 г. (за 33 суток до землетрясения), от других зависимостей. Для сравнения на рис. 4.2а показаны такие же разрезы величины AGC вдоль 136 трека, полученные в конце 2004–2005 годах. Аномалии, подобной той, которая была обнаружена 14 июля 2006 г., не наблюдается.

Кроме того, были проанализированы временные ряды значений AGC в точке с координатами  $47,4^\circ$  с.ш.  $142,0^\circ$  в.д. Эта точка

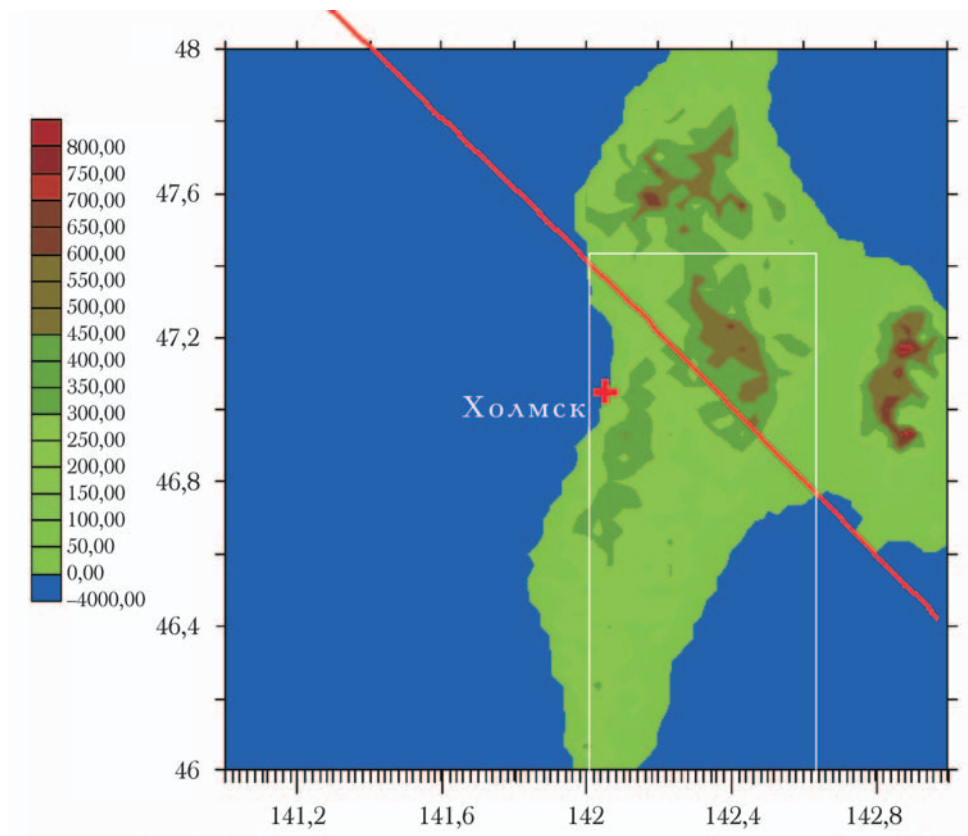


Рис. 4.1. Карта южной части о. Сахалин. Красная линия – 136-ой трек спутника Jason-1.

Fig. 4.1. Map of the southern Sakhalin. Red line represents 136<sup>th</sup> trek of the Jason-1 satellite.

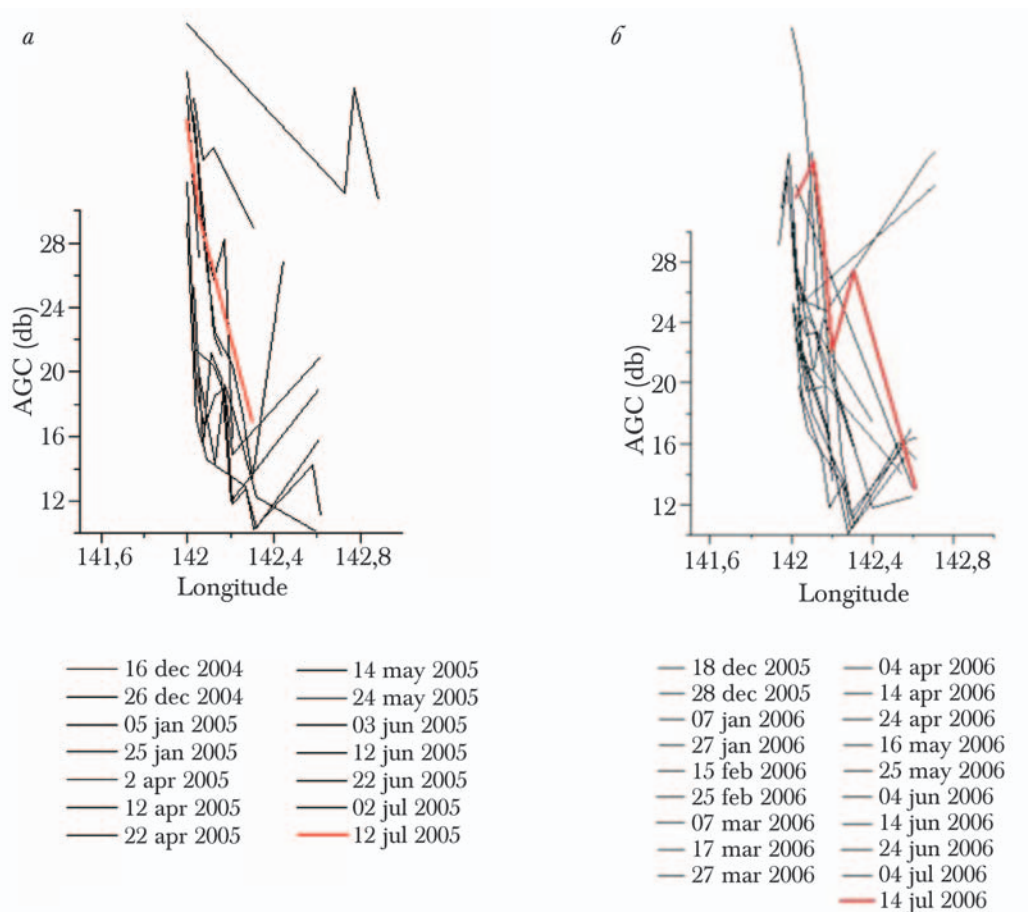


Рис. 4.2. Величина AGC, пропорциональная мощности радиолокационного сигнала, принимаемого альтиметрическим радаром спутника Jason-1 по наблюдениям с 16 декабря 2004 г. по 12 июля 2005 г. (а) и с 18 декабря 2005 г. по 14 июля 2006 г. (б).

Fig. 4.2. AGC value proportionate to the intensity of the radar signal, received by the Jason-1 satellite's altimetric radar during observational studies performed from December 16, 2004 till July 12, 2005 (a) and from December 18, 2005 till July 14, 2006 (b).

была выбрана по причине того, что в ней в большинстве GDR Jason-1 имеются данные измерений. Поскольку диэлектрические свойства подстилающей поверхности меняются в зависимости от времени года, то для сравнения были выбраны данные, полученные в один и тот же сезон (с середины апреля до середины августа) с 2002 по 2006 гг. Были вычислены спектры от этих временных рядов, которые также представлены на рис. 4.3. Можно отметить значительное усиление спектральной плотности относительно

высокочастотных (с периодами меньше 100 суток) флуктуаций в 2004–2005 гг. и ослабление их – в 2006 г. Эту особенность иллюстрирует рис. 4.4, на котором показана зависимость дисперсии флуктуаций радиолокационного сечения рассеяния для временных рядов в 2002–2006 гг.

Следует оговориться, что эти результаты необходимо рассматривать только как предварительные, требуется сопоставление флуктуаций радиолокационного сечения рассеяния с данными наземных наблюдений.

#### 4.2. Наземный мониторинг аномальных эффектов различной природы

Спокойная стадия развития сейсмического режима на юге о-ва Сахалин наблюдалась до 1997 года, после чего стали проявляться первые признаки активизации сейсмичности, вызвавшие, как сказано выше, серьезные

опасения у сахалинских сейсмологов. В декабре 2005 г. был сделан долгосрочный прогноз сильного землетрясения в юго-западной части о-ва Сахалин, материалы которого описаны в предыдущей главе.

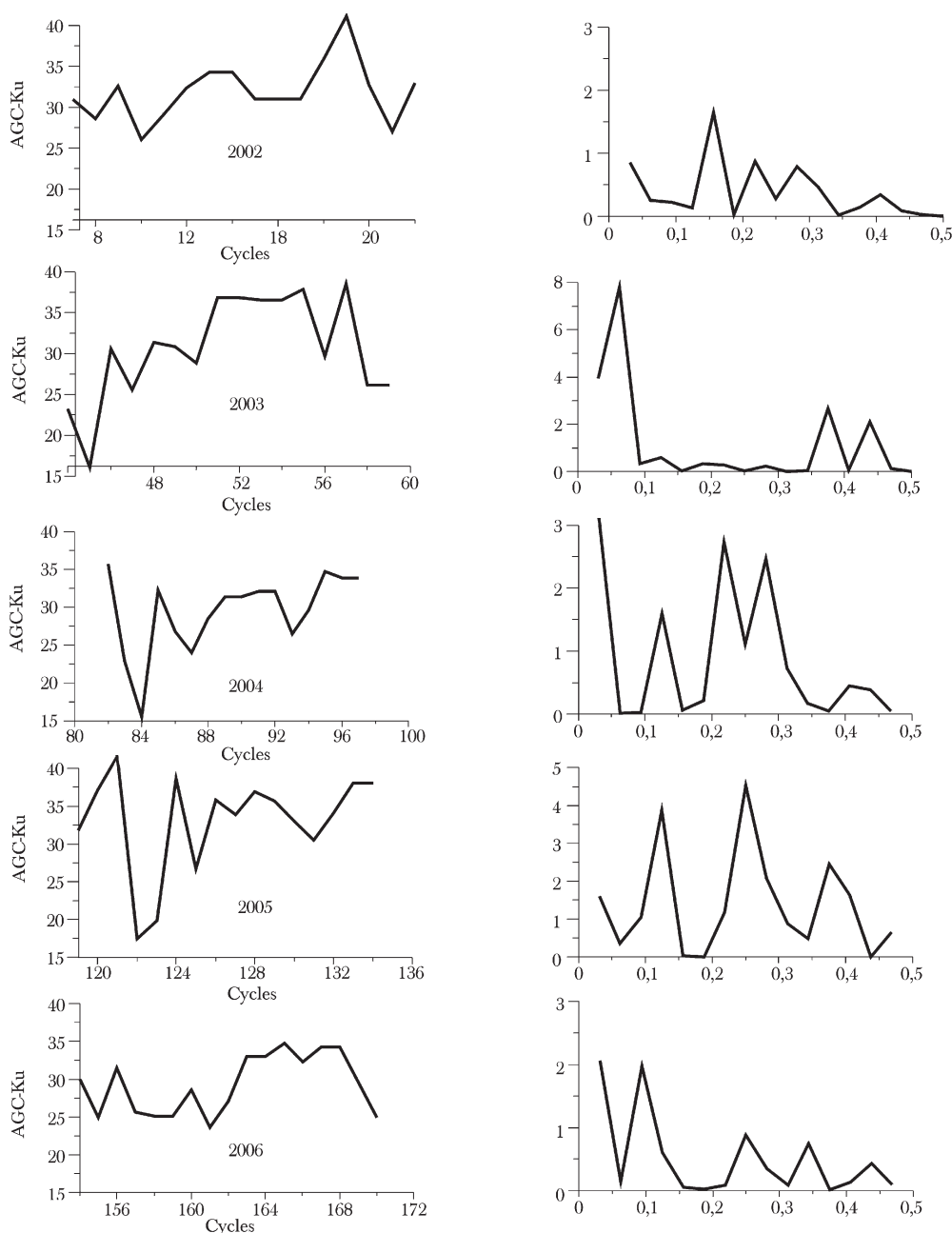


Рис. 4.3. Временные ряды AGC в точке с координатами  $47,4^{\circ}$  с.ш.,  $142^{\circ}$  в.д. для сезонов с середины апреля по середину августа с 2002 по 2006 гг. (левая колонка) и спектры этих временных рядов (правая колонка).

Fig. 4.3. AGC time series for the point with coordinates  $47,4^{\circ}$  N,  $142^{\circ}$  E for the seasons from mid-April to mid August, the years 2002–2006 (left column) and spectra of these time series (right column).

Начатый после этого процесс отслеживания возможных средне- и краткосрочных предвестников в исследуемом районе дал практические результаты, начиная с июля 2006 г., когда стали поступать сведения о различных аномальных явлениях [Левин, Ким, Тихонов, 2007]. Перечислим лишь некоторые из них:

- устойчивый запах сероводорода на акватории Татарского пролива, отмеченный местными рыбаками;
- обострение сейсмического затишья, фиксируемое по записям цифровых сейсмо-

станций «Datamark», расположенных на западном побережье острова («Калинино», «Ожидаево», «Холмск»);

- наличие необычной корреляции в появлении шумов на записях сейсмостанций «Калинино» и «Холмск»;

– резко нелинейный характер зависимости кумулятивной суммы числа сейсмических событий от времени (рис. 4.5). Это достаточно информативный краткосрочный предвестник. Ранее было установлено, что он отмечается на Южном Сахалине перед всеми землетрясениями с  $M > 4,0$  [Тихонов, 2003].

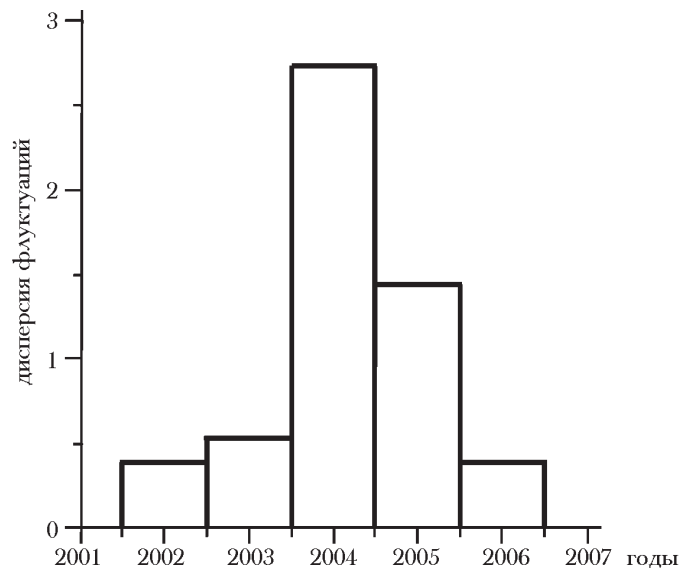


Рис. 4.4. Дисперсия флуктуаций радиолокационного сечения рассеяния с периодом менее 100 суток в точке с координатами  $47,4^\circ$  с.ш.  $142^\circ$  в.д. в апреле-августе 2002–2006 гг.

Fig. 4.4. Dispersion of the radar cross section scattering fluctuations with less than 100 days period for the point with coordinates  $47,4^\circ$  N,  $142^\circ$  E. in April–August of 2002–2006.

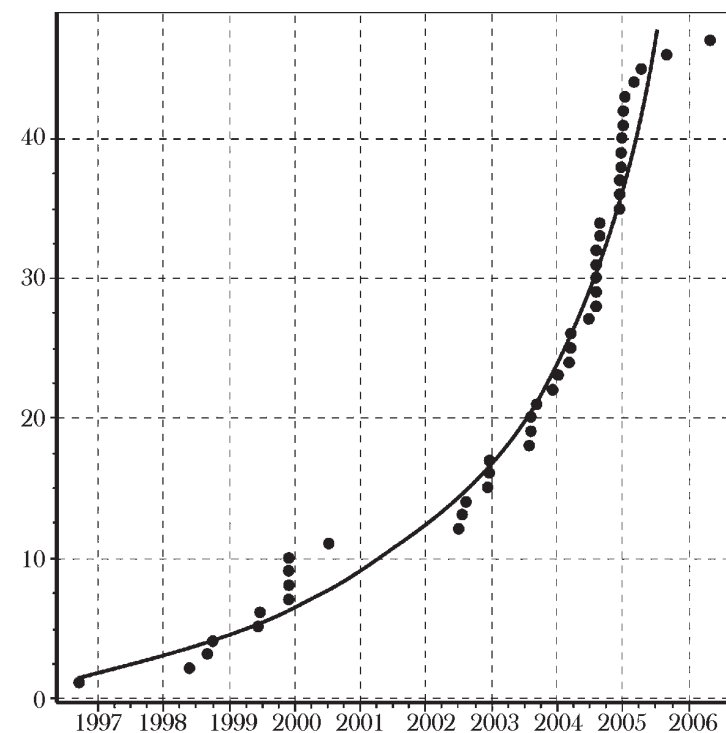


Рис. 4.5. Моделирование временной зависимости кумулятивной суммы числа землетрясений с магнитудами  $M \geq 3,0$ ,  $h < 30$  км, произошедших с сентября 1996 года по май 2006 года в пределах площадки ( $45,5^\circ$ – $46,75^\circ$  с.ш.,  $140,8^\circ$ – $142,2^\circ$  в.д.) на юго-западном шельфе острова Сахалин.

Гладкая кривая – результат моделирования по методу саморазвивающихся процессов (СРП) [Мальшев, Тихонов, Дугартыренов, 1992]. Вертикальная асимптота для гладкой кривой дает время в очаге сильного землетрясения. В данном случае оно отвечает дате 26 августа 2007 года. Параметры уравнения СРП:  $V_0$  (начальная скорость процесса) = 0,  $\gamma$  (параметр нелинейности) = 1,0, коэффициент  $K = 0,04436$ .

Fig. 4.5. Simulated temporal relationship for the cumulative number of earthquakes with  $M \geq 3,0$ ,  $h < 30$  км, occurred on the south-western shelf of Sakhalin within  $45,5^\circ$ – $46,75^\circ$  N.,  $140,8^\circ$ – $142,2^\circ$  E. area from September 1996 till May 2006.

Smooth curve is a product of modeling after the method of self-developing processes [Malyshev, Tikhonov, Dugartsyrenov, 1992]. Vertical asymptote for the smooth curve represents origin time (date) within the strong earthquake foci. In this case it corresponds to the date of August 26, 2007. Parameters of the self-development method equation are as follows:  $V_0$  (initial velocity of the process) = 0,  $\gamma$  (parameter of non-linearity) = 1,0,  $K_0$  factor = 0,04436.

Исключение составили наблюдения за уровнем воды в гидрогеологических скважинах. Мониторинг гидрогеодеформационного поля на Южном Сахалине проводит ФГУП «Сахалинская геологоразведочная экспедиция». По сообщениям ведущего гидрогеолога О.Н. Назировой аномальных колебаний уровня воды перед Горнозаводским

землетрясением 17(18) августа 2006 г. не отмечалось. Даже на Холмском наблюдательном пункте (2709), расположенном в пределах г. Холмск, то есть наиболее близко к эпицентру, регистрировался достаточно стабильный уровень при отсутствии аномальных вариаций.

#### 4.3. Сейсмогидроакустические наблюдения в замкнутом водоеме вблизи г.Холмск

В связи с напряженной прогнозной обстановкой на юго-западе Сахалина в Холмском районе, с середины августа 2006 г. в замкнутом водоеме вблизи г. Холмска (район р. Малка) была установлена мобильная система параллельной регистрации сейсмических и гидроакустических сигналов [Землетрясение 17(18) августа..., 2007]. Гидроакустические (ГА) приемники были размещены в водоеме и соединялись кабелем с системой сбора данных, которая так же, как и сейсмическая подсистема располагалась на суше. Координаты станции:  $47,117^\circ$  с.ш. и  $142,096^\circ$  в.д. (рис. 4.6). Место установки станции является закрытой охраняемой зоной и вероятность регистрации антропогенных сигналов незначительна. Данная система, разработанная специалистами четырех организаций – МГиГ ДВО РАН, СКБ САМИ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск), ИО РАН и ООО «Гео-Прибор» (г. Москва), располагалась непосредственно в зоне подготовки землетрясения (в 60 км от его будущего эпицентра).

Станция включает в себя сейсмическую, гидроакустическую подсистему и систему сбора данных, общую для обеих подсистем. Сейсмическая подсистема реализована на основе молекулярно-электронного сейсмометра СМЕ 4011 (разработка и изготовление МФТИ, г.Москва). Гидроакустическая подсистема реализована СКБ САМИ ДВО РАН и включает в себя 2 разнесенных на 25 метров друг от друга гидрофона кругового обзора и усилительный модуль. Система сбора данных реализована с использованием модуля Е440, производства ЗАО «Л-Кард». Эта станция разрабатывалась как передвижная полевая система, которая может устанавливаться в местах, где предполагается подготовка землетрясений и с помощью которой возможно осуществление оперативного прогноза.

Сейсмическая часть системы постоянно записывает три канала (два горизонтальных и один вертикальный); частотный диапазон записываемого сигнала от 0,017 до 20 Гц, частота дискретизации 200 Гц. Гидроакустическая часть системы содержала в момент описываемого эксперимента 2 гидрофона с частотным диапазоном от 1 до 70 Гц при частоте дискретизации 200 Гц. Сейсмические и

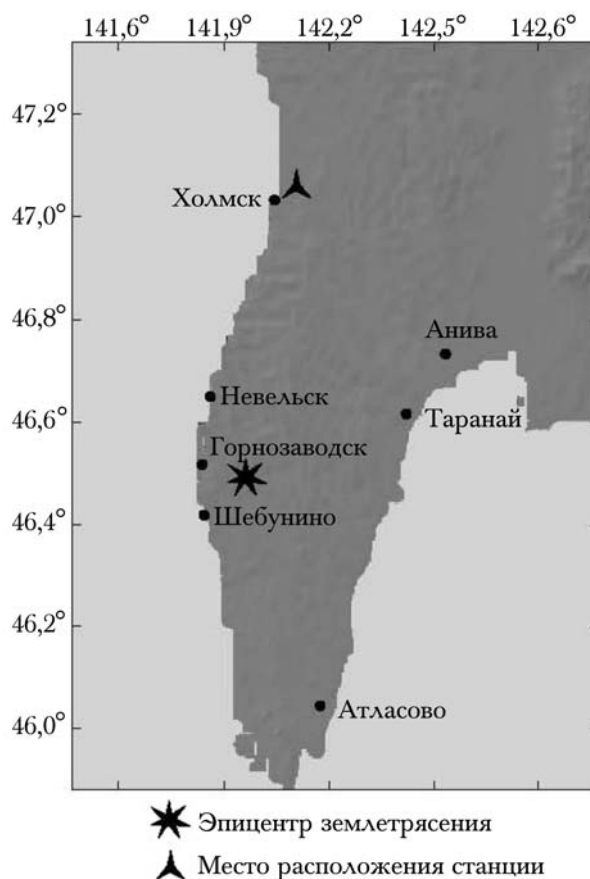


Рис. 4.6. Карта юго-западной части острова Сахалин, на которой отмечены эпицентр главного толчка Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. и место постановки сейсмогидроакустической станции.

Fig. 4.6. Map of the southern Sakhalin showing epicenter of the main shock of the Gornozavodsk earthquake ( $M_W = 5,6$ ) of August 17(18), 2006 and the location of the seismo-hydroacoustic deployment.

гидроакустические каналы были синхронизированы, всего регистрировалось 5 каналов, длительность одной записи 6 часов, ее объем 41,2 Мб, каждый канал записи содержит 4320000 отсчетов. Отладка обеих подсистем и запуск на постоянную работу были осуществлены 11 августа. Для локации источника сигнала количество гидроакустических каналов и база между гидрофонами была увеличена в процессе продолжения эксперимента (3 канала, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной 100 м).

Одна из задач эксперимента заключалась в исследовании характера волновой картины в диапазоне высокочастотных акустических сигналов (1–70 Гц) на критической стадии подготовки сильного землетрясения (за несколько часов до его возникновения). Из литературных источников известно [Купцов, 2005], что в этот период над очаговой областью идет интенсивный процесс образования мелких трещин с формированием дилатантной зоны. Из-за быстрого затухания сигналов в земной коре данный процесс поддается регистрации только гидрофонами.

На гидроакустических каналах, начиная с записи за 16.08.2006 г. с 3:30:00 до 19:30:00 (время далее везде дано по Гринвичу), начинают появляться серии однотипных сигналов (цуги). Первый цуг появился в 18:57:05.5, за 21 час 22 мин и 40 с до начала землетрясения. Всего на этой записи выделено 13 цугов. На двух следующих записях выделено 243 цуга однотипных сигналов. На сейсмических каналах в этот период времени никаких существенных изменений сигнала не отмечается.

Характерный отрезок сжатой записи с серией цугов приведен на рис. 4.7а (запись за 17.08.2006 г., начало отрезка в 01:30:30, конец – в 4:23:50, его длительность 2 час 53 мин 20 с). На рис. 4.7б показан один цуг сигналов из представленной серии (начало фрагмента в 01:30:40, длительность – 50 с), а на рис. 4.7в выделен один сигнал из этого цуга (начало этого фрагмента в 01:30:40, длительность – 5 с).

Количество сигналов в цуге менялось в достаточно широких пределах (от 7 до 130), так же, как и расстояние между двумя соседними цугами (от 1 с до нескольких минут). В то же время сами сигналы внутри цуга расположены достаточно стабильно. Интересно отметить, что интервал времени между сиг-

налами меняется в очень незначительных пределах ( $0,796 \pm 0,05$  с), так же, как величина амплитуда и длительность самих сигналов. К концу цуга сигналы несколько ослабевают по амплитуде и имеют не столь резко очерченную форму. Первые сигналы в каждом цуге имеют значительное превышение амплитуды над фоновым значением (в 3–7 раз) и поэтому легко могут быть выделены из записи (как аппаратным, так и программным способом). В спокойном состоянии амплитуда фона достаточно стабильна.

На основе сравнительного анализа двух ГА каналов можно считать, что все сигналы внутри одного цуга возникали из одной области (одного источника), а сигналы разных цугов появлялись из разных источников. Длинные цуги иногда появляются как результат суперпозиции двух серий сигналов. Использование трех гидрофонов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника с базой 100 м, позволит решить проблему точной локации источника сигнала.

Сам характер отдельного сигнала (рис. 4.7в) указывает на то, что высокочастотные составляющие сигнала срезаны и по этой записи мы не имеем возможности определить такие характеристики очага микро-разрушений как глубину, размер излучающего источника и его энергетическую характеристику (магнитуду).

После 05:13:04 17 августа (за 11 часов и 6 минут до начала главного толчка) такого типа сигналы перестают регистрироваться. Подобные сигналы не были обнаружены ни после землетрясения, ни после афтершоков (просмотрено еще 4 записи по 6 часов каждая). На рис. 4.8 представлена запись самого землетрясения, зарегистрированного всеми каналами станции. Аналогично выглядят и записи афтершоков на станции. Перед афтершоками цуги сигналов не наблюдаются. В этих случаях процесс подготовки сейсмического события короткий и приповерхностные дилатантные зоны не формируются.

В работе [Купцов, 2005], близкие по характеру сигналы фиксировались на Камчатке за несколько десятков часов (иногда более чем за сутки) до сейсмического события и они исчезали за несколько часов до главного толчка. В работе [Sasorova, Levin, Mогозов, 2005] была предложена иерархическая

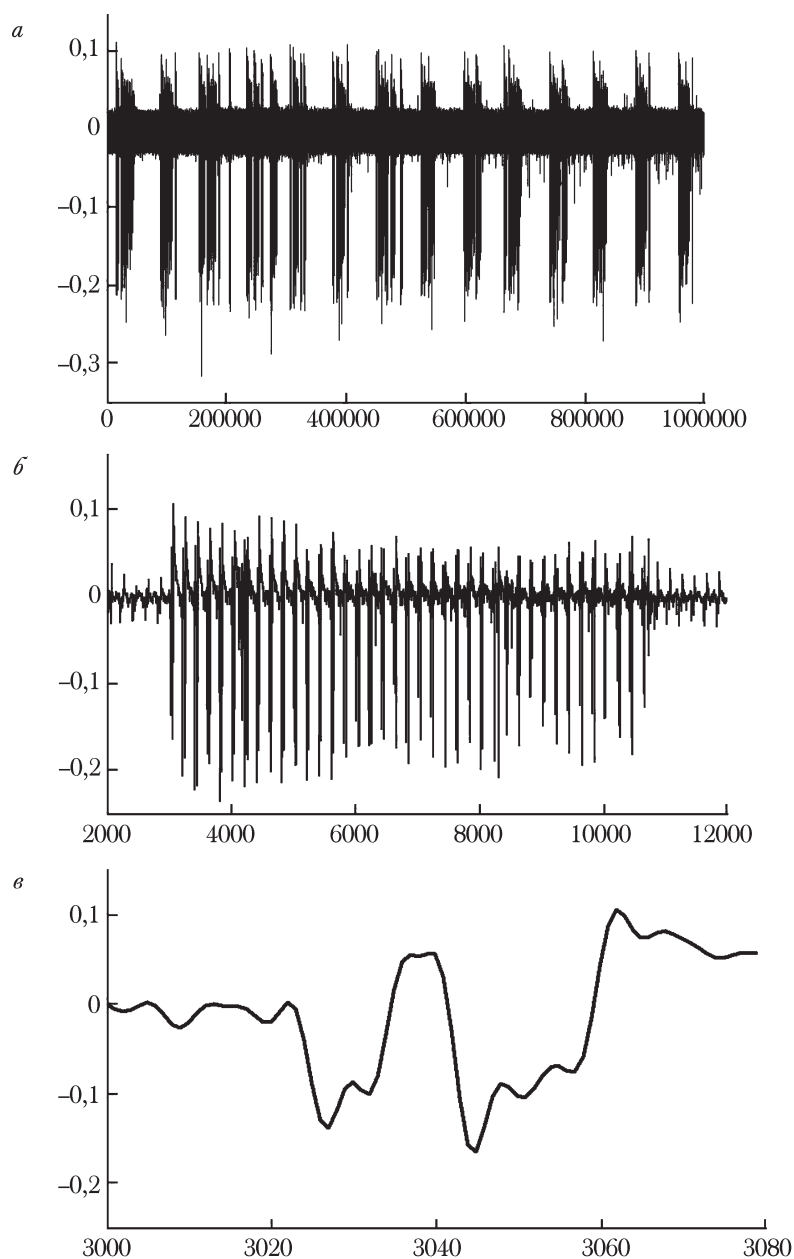


Рис. 4.7. Серия цугов с сигналами, зарегистрированная первым гидроакустическим каналом станции (*a*); *b* – один цуг из представленной серии; *v* – один сигнал из начальной части цуга.

На всех фрагментах по горизонтальной оси – количество отсчетов (длительность отсчета 0,005 с), по вертикальной оси амплитуда сигнала в мВ. Пример взят из записи за 17.08.2006, начало записи 1:30:00 (время по Гринвичу), начало фрагмента *a* в 01:30:30, его длительность 2 ч 53 мин и 20 с.

Fig. 4.7. Series of wave trains with signals recorded by the first hydro acoustic channel of the station (*a*); *b* – one wave train from the represented series; *v* – one signal from initial portion of the train. All fragments on the horizontal axis represent number of counts (duration of one count is 0,005 sec.), vertical axis shows signal amplitude in mV.

The example is taken from the record of August 17, 2006. Start of recording is 1:30:00 (Greenwich time), recording of the fragment *a* was started at 01:30:30 and was performed for 2 hours 53 minutes and 20 sec.

схема эволюции акустических сигналов в зоне подготовки землетрясения. Сначала появляются сигналы от микроразрушений в среде из-за увеличения механической нагрузки до критического размера. Они возникают на большой площади (в зависимости от магнитуды готовящегося события), за десятки часов до основного толчка. Как начало, так и прекращение регистрации таких сигнала

лов может служить признаком того, что подготовка землетрясения вступает в критическую стадию. Окончание регистрации сигналов есть признак того, что в течение нескольких последующих часов, возможно возникновение землетрясения, что зона подготовки землетрясения начинает сужаться до эпицентральной зоны и в ней начинают возникать трещины большего масштаба. Вся зона



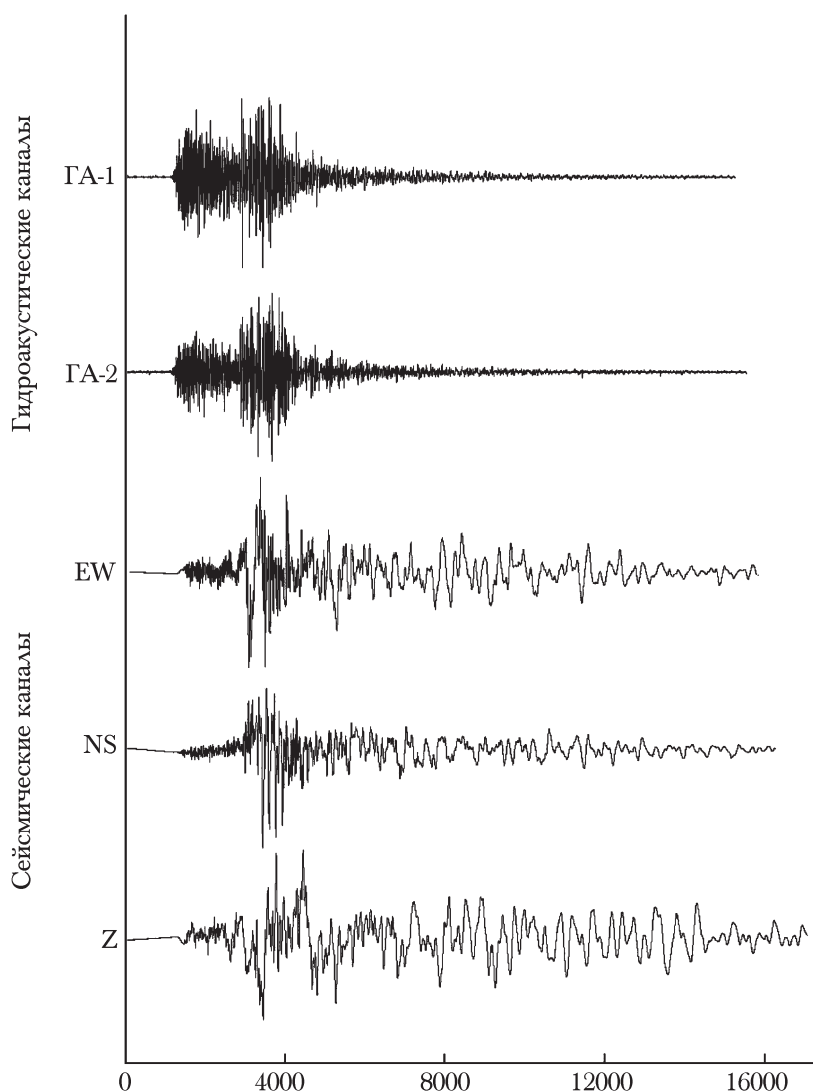


Рис. 4.8. Землетрясение вблизи пос. Горнозаводск, Холмский район Сахалинской области 17.08.2006 г., зарегистрированное в 16:20:08 всеми каналами сейсмогидроакустической станции (начало записи в 13:30:00). Магнитуда  $M = 5,6$ , координаты эпицентра  $46,586^\circ$  с.ш. и  $141,857^\circ$  в.д., глубина очага – 12 км. Сейсмические каналы на рисунке загрублены (уменьшение амплитуды сигнала) в 100 раз, гидроакустические в – 10 раз.

Fig.4.8. Earthquake near Gornozavodsk village, Kholmsk district of the Sakhalin Region, August 17, 2006, recorded at 16:20:08 by all the channels of the seismohydroacoustic station (start of recording – (13:30:00). Magnitude  $M = 5,6$ , epicenter coordinates –  $46,586^\circ$ N and  $141,857^\circ$ E, focal depth – 12 км. Seismic channels are shown in a reduced fashion in the figure (signal amplitude is shown as being less) by 100 times, and hydro acoustic ones are reduced by 10 times.

вокруг водоема в случае Холмского землетрясения принадлежала области подготовки землетрясения. Когда область подготовки начала сжиматься до размеров эпицентральной зоны, регистрация сигналов в водоеме прекратилась.

В данном натурном эксперименте была разработана схема комбинированного прогноза землетрясений, основанная на долгосрочном прогнозе, с определением области подготовки землетрясения, его магнитуды, глубины, и оперативном прогнозе на основе гидроакустических данных, полученных при полевых обследованиях в районе предпола-

гаемого события. Разработана передвижная полевая станция, которая параллельно фиксирует ГА и сейсмические сигналы и может устанавливаться в области подготовки сильного землетрясения. Для совершенствования системы оперативного прогноза землетрясений целесообразно в будущем устанавливать несколько станций такого типа в предполагаемой области подготовки сейсмического события.

Несомненно, они будут иметь большое практическое значение в будущем при обработке комплекса краткосрочных предвестников землетрясений.

# ГОРНОЗАВОДСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17(18) АВГУСТА 2006 г. – НАЧАЛО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗА

### Аннотация

Проанализированы действия оперативных служб Сахалинского филиала ГС РАН после возникновения данного события. Приведено детальное описание динамики развития очагового процесса, механизма очага главного толчка. Оценка основных параметров Горнозаводского землетрясения выполнена в двух вариантах: по данным локальной сети автономных цифровых сейсмических станций, расположенных на юге о-ва Сахалин, и по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений. Описаны результаты макросейсмического обследования последствий землетрясения и его афтершоков. Сделано уточнение долгосрочного прогноза, описанного в гл. 3.

### Referat

Actions by appropriate prompt monitoring and processing services of the Sakhalin Branch of the Geophysical Service of RAS were analyzed following the event. Detailed description of the focal process development dynamics and main shock mechanism is given. Estimation of the major Gornozavodsk parameters was performed in two versions: using the data from local network of self contained stations deployed on the south of Sakhalin and using a complex of local, regional and global observational data. The findings of the earthquake macroseismic effects and aftershocks survey are presented. A rectification of the detailed forecast, described in the chapter 3, is made.

## 5.1. Действия оперативных служб Сахалинского филиала ГС РАН

Ночью 18 августа 2006 года в 2 час 20 мин сахалинского времени (17 августа в 15 час 20 минут по Гринвичу) многие жители Южной части Сахалина были разбужены интенсивными сотрясениями. Сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» зафиксировала умеренное по магнитуде землетрясение. Дежурная смена (вед. инженер И.В. Мухина и техник О.Б. Тихонова) через 20 минут после начала регистрации передала следующую информацию о землетрясения оперативным дежурным Главного Управления МЧС по Сахалинской области, Центра цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СахУТМС), Информационно-обрабатывающего Центра Геофизической службы РАН (ИОЦ ГС РАН, г. Обнинск): координаты эпицентра 46,8° с.ш., 142,5° в.д., магнитуда 6,5, ощущалось в гг. Холмск, Невельск, Корсаков, пос. Огоньки, м. Крильон с силой 4 балла. Интенсивность сотрясений (ощущаемость) передана по наблюдениям на метеостанциях в этих населенных пунктах.

На рис. 5.1–5.3 приведены фрагменты журнала «Штормов» станции «Южно-Саха-

линск», в котором фиксируются все документы, передаваемые в рамках Службы срочных донесений. Для оперативности передачи по линиям связи все телеграммы в рамках этой службы проходят с грифом «шторм».

В 3 час 37 мин сахалинского времени были отправлены уточненные данные: магнитуда 5,6. В 6 час 45 мин в ИОЦ ГС РАН (г. Обнинск) направлено дополнение о предварительной оценке интенсивности сотрясений (ощущаемости) в г. Южно-Сахалинск. При оперативной обработке использовались комплекты видимой записи, а затем, после того как волновая картина была, в основном, прописана, гальванометрические комплекты (на осциллографной фотобумаге, что требует большего количества времени) и данные цифрового комплекса «Айрис-2».

По записи (рис. 5.4) основного толчка даже на цифровом комплексе «Айрис-2», на которой можно менять длину развертки, было достаточно сложно определить параметры землетрясения по одной станции даже опытным дежурным (Мухина И.В. проработала на станции 35 лет, Тихонова О.Б. – 30 лет).



Рис. 5.1. Фрагмент записи дежурной сменой информации о землетрясении и копия донесения, отправленного в ИОЦ ГС РАН, в журнале срочных сообщений станции «Южно-Сахалинск».

Fig. 5.1. Portion of the written entry about the earthquake put down by on-duty shift and copy of the report sent to the Data Processing Center of the Geophysical Service of the Russian Academy of Science in the emergency notification log of the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station.

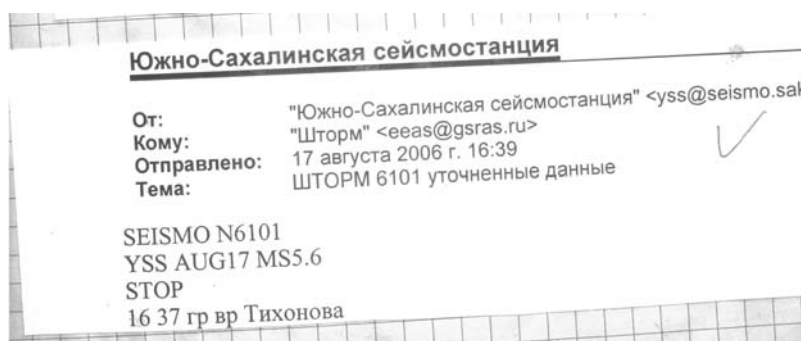


Рис. 5.2. Копия уточненного донесения в ИОЦ ГС РАН из журнала срочных сообщений станции «Южно-Сахалинск».

Fig. 5.2. Copy of the updated report to the Data Processing Center of the Geophysical Service of the Russian Academy of Science from the emergency notification log of the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station.

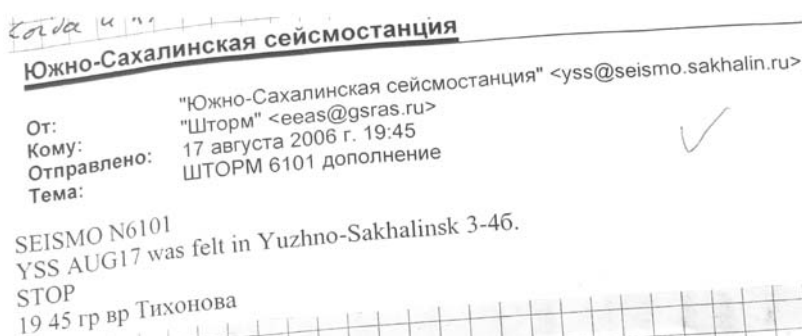


Рис. 5.3. Копия донесения в ИОЦ ГС РАН из журнала срочных сообщений сейсмической станции «Южно-Сахалинск».

Fig. 5.3. Copy of the report sent to the Data Processing Center of the Geophysical Service of the Russian Academy of Science from the emergency notification log of the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station.

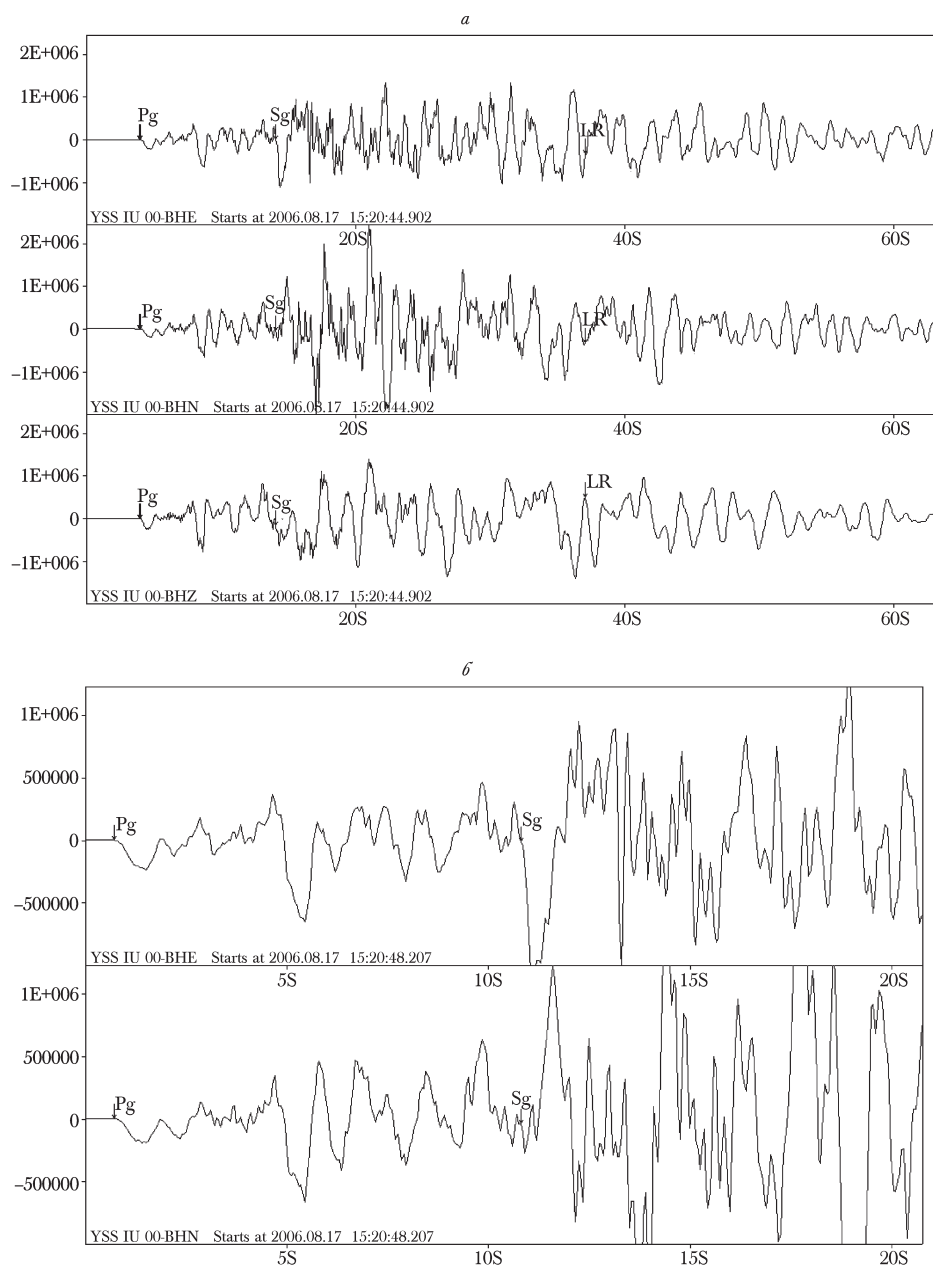


Рис. 5.4. Запись землетрясения 18 августа 2006 г. ( $M = 5,6$ ) с эпицентром вблизи пос.Горнозаводск с помощью цифрового комплекса «Айрис-2» на станции «Южно-Сахалинск».

$a$  – исходная запись,  $b$  – растянутая начальная часть записи.

Fig. 5.4. Record of the earthquake of the August 18, 2006 ( $M = 5,6$ ) with epicenter near Gornozavodsk town. The record was made using IRIS-2 digital system at the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station.

( $a$  – original record,  $b$  – initial portion of the record).

В оперативном режиме для таких умеренных по магнитуде землетрясений на Сахалине работает только одна станция – «Южно-Сахалинск», что снижает точность определения параметров землетрясения (в частности, координат эпицентра), а для местных землетрясений и магнитуды толчка.

Сейсмические станции «Углегорск», «Тымовское» и «Оха» регистрируют землетрясения круглосуточно. Но дежурные работают только в рабочее время, поэтому даже

по телефонному запросу ответ от них приходит с большой задержкой.

В 7 час 17 мин сахалинского времени была получена первая информация с параметрами землетрясения с сейсмостанции «Углегорск» (только времена вступлений  $P$ - и  $S$ -волн).

Сводка с сейсмостанции «Углегорск» (энергетический класс  $K = 12,2$ ; координаты эпицентра  $47,0^\circ$  с.ш.,  $141,2^\circ$  в.д.) была получена только в 9 час 19 мин.

19 августа в 14 час 45 мин сахалинского времени в ИОЦ ГС РАН (г. Обнинск) в ответ на запрос было передано уточненное донесение: координаты эпицентра  $46,5^\circ$  с.ш.,  $141,95^\circ$  в.д., магнитуда 5,6, ощущалось в пос. Горно-

заводск и Шебунино – 6 баллов, г. Невельск – 5 баллов, пос. Огоньки – 4 балла, г. Южно-Сахалинск – 3–4 балла, г. Корсаков – 3 балла.

## 5.2. Результаты наблюдений с помощью локальной сети цифровых станций

*Сеть цифровых сейсмических станций на юге о-ва Сахалин, особенности ее функционирования.* Вначале кратко коснемся системы стационарных сейсмологических наблюдений на Сахалине. Она весьма разрежена и в настоящее время постоянно работают только 4 сейсмические станции Сахалинского филиала ГС РАН («Южно-Сахалинск», «Углегорск», «Тымовское» и «Оха»), которые расположены друг от друга на расстоянии более 250 км. Они оснащены, в большинстве своем, аналоговыми сейсмографами непрерывной регистрации с записью на фотобумагу. Только сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» имеет в своем распоряжении широкополосную цифровую сейсмологическую систему IRIS-2. При определении параметров землетрясений Дальнего Востока региональной сетью, как правило, привлекаются данные мировых агентств. Представительная магнитуда регистрируемых землетрясений на Сахалине составляет около 3,5 и выше.

Последние годы ощутимые результаты в повышении детальности наблюдений дает налаженная работа локальной сети автономных цифровых сейсмических станций на юге о-ва Сахалин. Еще в 1995 г. по результатам экспедиционных работ в районе Нефтегорского землетрясения была продемонстрирована высокая эффективность цифровых станций по регистрации афтершоков данного катастрофического землетрясения. В 1995 году в рамках сотрудничества с Исследовательским Центром по прогнозу землетрясений Хоккайдского университета впервые начались работы по регистрации слабых землетрясений на юге Сахалина при помощи четырех автономных цифровых сейсмических станций типа Datamark-LS8000SH. До 2001 года эти исследования проводились только в летний период, а после регистрации Такойского роя землетрясений 2001 года начались круглогодичные наблюдения.

В настоящее время наблюдения за слабыми землетрясениями проводятся девятью цифровыми автономными станциями DAT (производитель – фирма «Clover Tech», Япония) двух модификаций: с накопителями данных на магнитной ленте и на жестком мобильном диске. Станции используются в комплекте с датчиками 3Dlite (производитель – компания «Lennartz Electronic», Германия). Комплект аппаратуры работает в режиме непрерывной регистрации. Автономность работы в зависимости от типа накопителя станции составляет 1–2 месяца. Встроенные часы станций корректируются каждые 6 часов по сигналам Глобальной навигационной системы GPS, чем обеспечивается точность временной привязки записей 10 мс.

Наблюдения с помощью комплекса временных цифровых станций осуществляются на временно обустроенных выносных пунктах согласно требованиям СНиП (табл. 5.1). Выбор пунктов регистрации проводился по следующим приоритетам: обеспечение сохранности аппаратуры, наличие подъездных путей и допустимый уровень помех.

Группа отдела полевых наблюдений СФ ГС РАН время от времени сталкивается с различными препятствиями, возникающими при эксплуатации сейсмических станций. Основной причиной перерывов в наблюдениях в условиях юга Сахалина оказалась высокая влажность. При этом нарушаются стыковочные соединения кабельных трасс, выходят из строя цифровые накопители станций. Последнее замечание касается накопителей на магнитной ленте. В пунктах «Холмск» и «Колхозное», расположенных непосредственно в эпицентральной зоне Невельского землетрясения, наблюдается высокий микросейсмический фон из-за близости морского побережья. Это создает дополнительные трудности при интерпретации записей цифровых станций.

Таблица 5.1

## Данные о расположении временных цифровых станций на юге о-ва Сахалин

№	Места расположения станции	Код станции	Координаты станции		
			широта, град.	долгота, град.	высота, м
1	пос. Колхозное, Невельский р-н	KKH	46,656° с.ш.	141,907° в.д.	10
2	Фермерское хозяйство «Белые скалы», Анивский р-н	BSK	46,839° с.ш.	142,318° в.д.	50
3	Стационар ИМГиГ ДВО РАН «м. Острый», Долинский р-н	OSM	47,245° с.ш.	143,010° в.д.	30
4	пос. Загорское, Долинский р-н	ZGR	47,303° с.ш.	142,493° в.д.	120
5	пос. Ожидаево, Холмский р-н	OJD	47,029° с.ш.	142,399° в.д.	230
6	маяк Корсаковский, Корсаковский р-н	KRS	46,610° с.ш.	142,801° в.д.	100
7	рыбозаводный завод «Долинка» вблизи п. Лесное, Корсаковский р-н	LSN	46,958° с.ш.	143,031° в.д.	30
8	рыбозаводный завод «Мальково», Корсаковский р-н	MLK	46,769° с.ш.	143,354° в.д.	10
9	окраина г. Холмск	KHL	47,076° с.ш.	142,076° в.д.	10

*Методика определения основных параметров землетрясений.* При составлении каталога землетрясений параметры их определялись с помощью программы NYPO71. Программное обеспечение вместе с сейсмическими станциями были предоставлены Исследовательским Центром по прогнозу землетрясений Хоккайдского Университета.

Программа обработки основана на решении системы уравнений, связывающих координаты гипоцентра землетрясений и координаты регистрирующих станций:

$$(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + H = v_i^2(t_i - t_0)^2,$$

где  $X, Y, H, t_0$  – координаты гипоцентра и время возникновения землетрясения (время в очаге);  $x_i, y_i, t_i$  – координаты сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение, и времена прихода сейсмических волн на эти станции ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $v_i$  – эффективные скорости распространения сейсмических волн, численно равные отношению расстояния по прямой от  $i$ -ой станции до гипоцентра ко времени пробега сейсмической волны по лучу.

Методы локальной гипоцентрии активно развиваются и в нашей стране [Бурмин, 1992; Бурмин, Ахметьев, 1994, Бурмин, 2007]. Нужно отметить, что современные программы оценки гипоцентрии весьма сложны и имеют большое число параметров

настройки, априорный выбор которых не всегда очевиден, а результат сильно зависит от выбора настроечных значений параметров. Кроме того, программы построены так, что в процессе счета меняются веса фаз в зависимости от невязок и гипоцентрального расстояния в сложном сочетании с весами, заданными как параметр счета. При этом программа часто оказывалась «слишком умной», отбрасывая значительную часть верных данных в угоду нескольким ошибочным, что заметно искажает результат.

При хорошем окружении гипоцентра большим числом станций все современные программы дают близкие результаты, слабо зависящие от начального приближения и скоростной модели. Однако, когда окружение станциями эпицентра далеко не идеально и станций не слишком много, как в нашем случае, то оценка положения гипоцентра толчка опять, как в эпоху ручных определений, превращается в искусство.

Чтобы минимизировать субъективный фактор, обычно используются следующие принципы. Максимально прорабатывается вопрос скоростной модели и выбирается оптимальный вариант модели. Начальный вариант скоростного разреза для гипоцентрии юга о-ва Сахалин был заимствован из данных глубинного сейсмического зондирования. Далее по группе уверенно определенных собы-

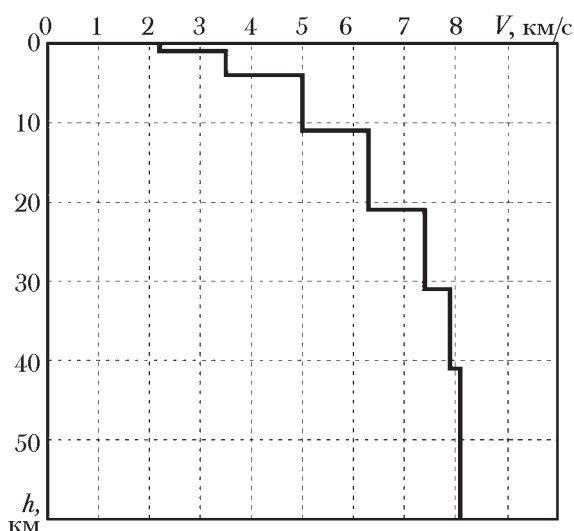


Рис. 5.5. Окончательный вариант скоростного разреза для юга о-ва Сахалин.

Fig. 5.5. Final version of the velocity section for the south of the Sakhalin island.

тий устанавливались стационарные поправки, которые затем были введены во все вычисления. Окончательный вариант скоростного разреза скорректирован по данным определения параметров промышленных взрывов на юге Сахалина (рис. 5.5). Используя метод перебора начальной глубины, выбирается решение с минимальными невязками.

Оценка энергетической величины землетрясений является еще более сложной задачей. Для землетрясений юга о-ва Сахалин используется номограмма, построенная по данным записей основных толчков и афтершоков Углегорского 2000 г. и Такойского 2001 г. землетрясений сетью цифровых сейсмических станций DAT и приведенная к магнитуде, рассчитанной по цифровой аппаратуре IRIS на сейсмической станции «Южно-Сахалинск» (рис. 5.6). Значения магнитуд настоящей номограммы сравнивались с соответствующими магнитудами, рассчитанными по формуле, предложенной в Японии для сейсмических станции типа DAT.

Как отмечено выше, расположение сети цифровых сейсмических станций юга Сахалина относительно эпицентров землетрясений на западном побережье острова не оптимально. Под оптимальной системой сейсмологических наблюдений будем понимать такую систему, которая регистрирует без пропусков события заданного класса из заданной области с минимальными погрешностями в определении параметров гипоцентров

[Бурмин, 2007]. Решение задачи оптимизации сети и оценки распределения погрешностей было предложено В.Ю. Бурминым для случая определения координат гипоцентра и времени в очаге.

Для оценки эффективности нашей системы сейсмологических наблюдений мы обратились к автору задачи для вычисления погрешностей параметров гипоцентров землетрясений юга Сахалина, который любезно откликнулся на наше предложение. В качестве исходных данных были привлечены координаты сейсмических станций, скоростные разрезы юга Сахалина, амплитудно-частотные характеристики цифровых станций, номограмма для определения энергетической величины землетрясений по данным цифровых станций. На карте юга Сахалина нанесены пункты расположения сейсмических станций и распределение погрешностей в определении эпицентров (рис. 5.7).

*Инструментальные данные о главном толчке и афтершоках первых суток.* Основные параметры Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г., определенные по данным сети станций «Datamark» оказались следующими: время в очаге (по Гринвичу) – 15 час 20 мин 34,1 с; координаты эпицентра –  $\varphi = 46,51^\circ \pm 0,01^\circ$  с.ш.;  $\lambda = 141,92^\circ \pm 0,02^\circ$  в.д.; глубина очага  $h = 7 \pm 2$  км; магнитуда  $M_s = 5,6$ .

Динамику развития афтершокового процесса в течение первых суток можно проследить на рис. 5.8. Основной кластер афтершоков образовался на суше спустя 3 часа после главного события (рис. 5.8a), а далее направление магистрального разрыва обозначилось более четко за счет процесса растрескивания в северо-западном направлении с выходом на акваторию Татарского пролива. Длину разрыва ( $L$ , в км) можно оценить на основе соотношения, предложенного Р. Сато [Sato, 1979]:

$$\log L = 0,5M_W - 1,85.$$

При  $M_W = 5,6$   $L = 8,9$  км, что согласуется с линейным размером облака афтершоков, сформировавшегося в первые 3 часа разрядки напряжений.

Протекание афтершокового процесса происходило по нетипичному сценарию. Наибольшая активность процесса была кратковременной и завершилась практиче-

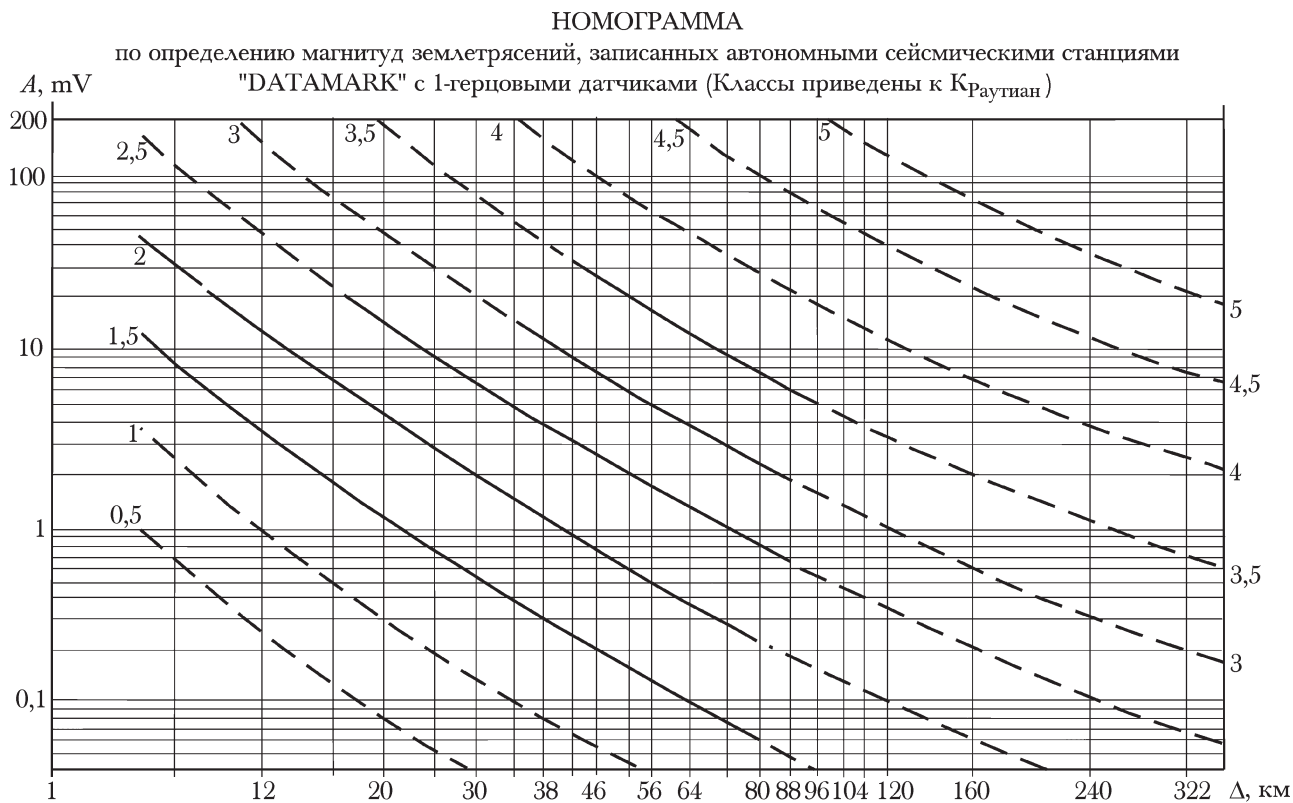


Рис. 5.6. Номограмма по определению магнитуд землетрясений, записанных автономными цифровыми станциями, оснащенными датчиками с собственным периодом 1 Гц.

Fig. 5.6. Nomogram used to estimate earthquake magnitudes recorded by self-contained digital stations equipped with 1 Hz natural period sensors.

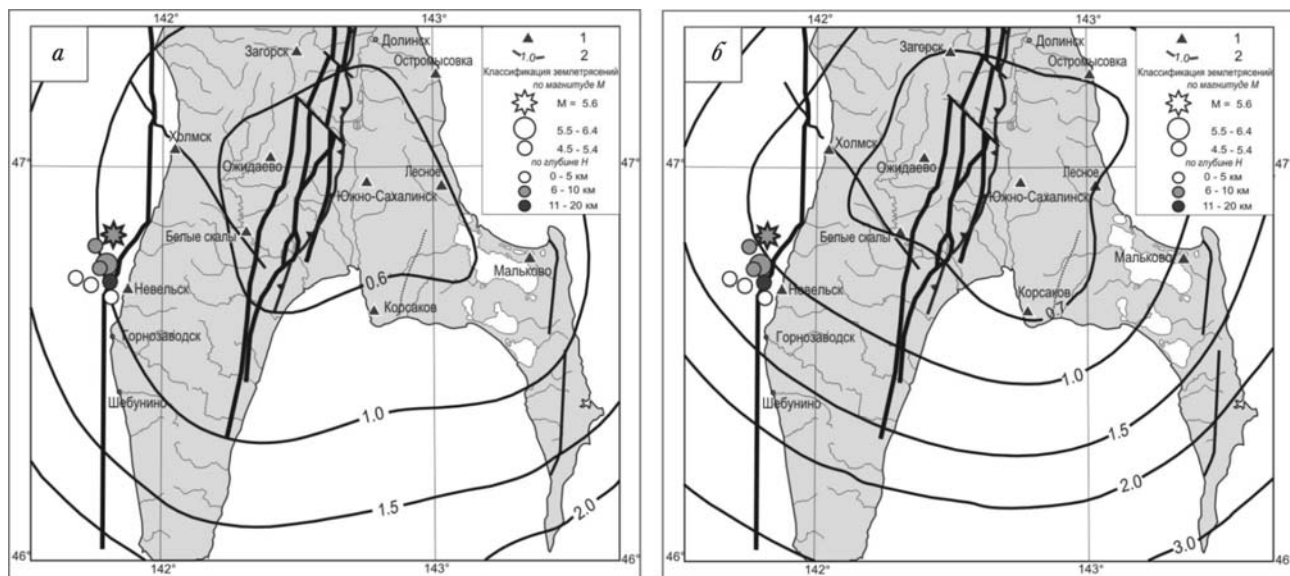


Рис. 5.7. Карта расположения автономных цифровых сейсмических станций DAT с распределением погрешностей по широте (а) и долготе (б) при определении эпицентров землетрясений юга Сахалина.

Fig. 5.7. Location map of the DAT self-contained digital stations with errors' distribution in estimation of the south of Sakhalin earthquakes epicenters by latitude (a) and longitude (b).



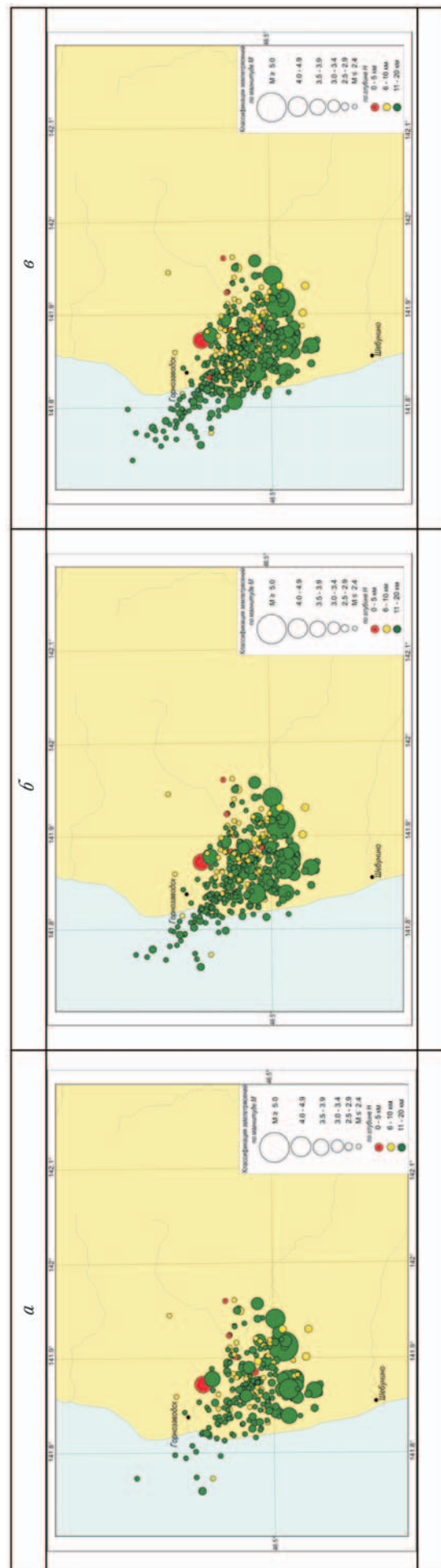


Рис. 5.8. Развитие афтершокового процесса после Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. по данным сети сейсмических станций «Datamark». *а* – эпицентры афтершоков с  $M \geq 1,7$  за первые 3 часа после главного толчка, *б* – спустя 12 часов, *в* – спустя сутки.

Fig. 5.8. Development of the aftershock process following Gornozavodsk earthquake of August 17, 18, 2006 based on the «Datamark» stations data. *a* – aftershock epicenters with  $M \geq 1,7$  for the first 3 hours after the main shock, *б* – 12 hours after, *в* – one day after.

ски в течение первых суток. За этот период удалось определить основные параметры более 500 землетрясений с  $M \geq 1,7$ . Наиболее сильными оказались два толчка с  $M_s = 4,3$  и  $4,5$ . Первый возник спустя 5 мин, а второй – спустя 7 часов 20 мин после главного события. На рис. 5.9 показан график затухания повторных толчков.

Нетипичность проявления повторных толчков видна также на графике повторяемости землетрясений (рис. 5.10)

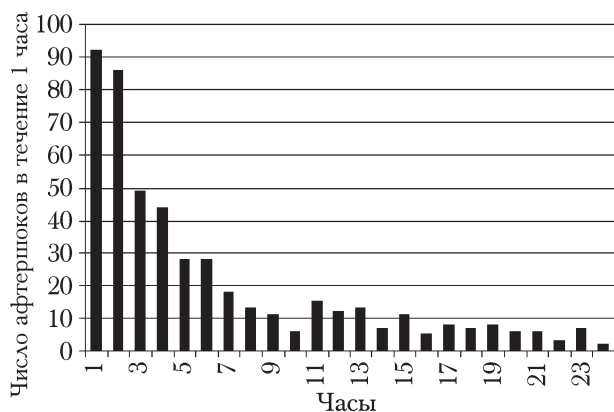


Рис. 5.9. Затухание афтершокового процесса в очаге Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. в течение первых суток после главного толчка. Гистограмма построена по выборке землетрясений с  $M \geq 1,7$ , зарегистрированных сетью сейсмических станций «Datamark».

Fig. 5.9. Attenuation of the aftershock process in the focal zone of the Gornozavodsk earthquake of August 17(18), 2006 during the first days elapsed since the main shock. The histogram was constructed using sample of the earthquakes with  $M \geq 1,7$  recorded by the «Datamark» seismic stations' network.

### 5.3. Параметры главного толчка и механизм очага по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений

Для определения параметров основного толчка Горнозаводского землетрясения использовались данные 44 сейсмических станций (рис. 5.11). Его эпицентр располагался в Татарском проливе, недалеко от берега, напротив пос. Ватутино. Координаты гипоцентра составили:  $\varphi = 46,53^\circ \pm 0,03$  в.ш.;  $\lambda = 141,77^\circ \pm 0,12$  в.д.,  $h = 15$  км; магнитуда  $MLH = 5,9$ .

Глубина очага землетрясения (табл. 5.2) была определена по фазам  $pP$ ,  $sP$ ,  $sS$ , отраженным вблизи эпицентра, с использованием таблиц из работы [Поплавский, Куликов, Поплавская, 1988] и в среднем составила  $h = 15 \pm 2$  км.

$$\log N = a - bM,$$

где  $N$  – кумулятивная сумма числа толчков с магнитудой больше, чем  $M$ , а  $a$  и  $b$  – эмпирические постоянные. Из рис. 5.10 видно, что график носит нелинейный характер из-за дефицита событий с магнитудами  $M = 4,1-5,1$ , которые на  $0,5-1,5$  меньше магнитуды основного толчка. На основе изложенных фактов можно сделать вывод, что процесс разрядки упругих напряжений был локальным и Горнозаводское землетрясение 17(18) августа 2006 г. не сняло избыточные напряжения в зоне бреши второго рода, описанной выше.

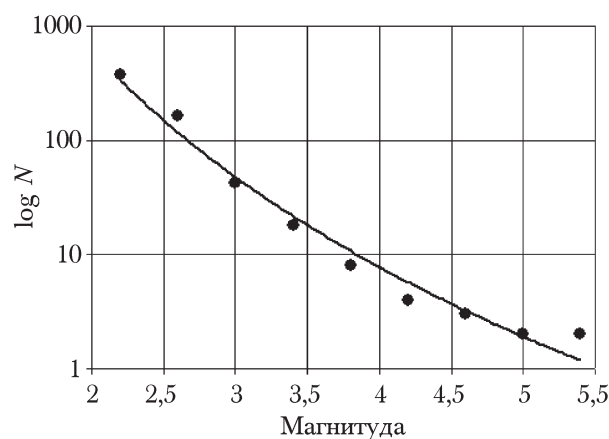


Рис. 5.10. График повторяемости афтершоков Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. в течение первых суток после главного толчка.

Fig. 5.10. Recurrence curve for the aftershocks of the Gornozavodsk earthquake of August 17(18), 2006 during the first day elapsed since the main shock.

Для сравнения в табл. 5.3 приведены основные параметры этого события по данным различных сейсмологических агентств.

Для каждого из решений в табл. 5.3 был определен механизм очага Горнозаводского землетрясения (табл. 5.4). В первом варианте были использованы сведения о 244 знаках первых движений в волнах  $P$  и  $PG$  на записях сейсмических станций Дальнего Востока и мира. Определения выполнялись с помощью программы «МЕХАНИЗМ» [Массовое определение механизмов..., 1979]. Затем ЭВМ-решения уточнялись по сочетанию знаков в волнах  $SV$ ,  $SH$  [Поплавская, Нагорных, Рудик, 2001]. Данные о механизме оча-

Таблица 5.2

## Определение глубины очага Горнозаводского землетрясения 17.08.2006 г.

Станция	Код	$\Delta$ , град	$i(e)-P$ , сек	$i(e)-S$ , сек	$HpP-P$ , км	$HsP-P$ , км
UGL	2,6	5,9 8,9		13	15	
TIY	4,4		8,7			13
HABR	4,9	4,5 9,9		11	17	
GRNR	5,5	4,2		10		
OKH	7,1	5,1		15		
SKR	10,3	7,1			17	
ZEA	11,7	3,9 7,8	10,8	15	18	15

Таблица 5.3

## Основные параметры Горнозаводского землетрясения 17.08.2006 г. по данным различных сейсмологических агентств

№ п/п	Агентство	$T_0$			Эпицентр		$h$ , км	Магнитуда
		час	мин	с	$\varphi$ , N	$\lambda$ , E		
1	SHKL	15	20	33,5	46,53	141,77	15	5,9
2	SHKL	15	20	34,1	46,51	141,92	7	5,6
3	NEIC	15	20	38	46,58	141,86	13	5,5*
4	HRVD	15	20	38,5	46,54	141,77	18	5,6*

\* Приведена магнитуда  $M_w$ .

1. SHKL (параметры землетрясения, полученные по совместным данным локальных, региональных и глобальных наблюдений с помощью комплекса программ MGP).
2. SHKL (параметры землетрясения определены по данным локальной сети цифровых станций DATAMARK по программе «HYPOINVERSE»).
3. NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США (Голден, Колорадо, США).
4. HRVD – Сейсмологический центр Гарвардского университета (Кембридж, Массачусетс, США).

Таблица 5.4

## Механизмы Горнозаводского землетрясения 17.08.2006 г. по данным различных агентств

№ п/п	$T_0$			$M$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
	ч	мин	с		T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	15	20	33,5	5,9	56	340	29	194	16	94	28	67	122	150	39	39
2	15	20	34,1	5,6	53	354	37	180	03	88	28	58	135	146	53	41
3	15	20	38,0	5,5*	84	01	06	162	02	252	348	43	98	157	47	82
4	15	20	38,5	5,6*	77	233	04	343	09	75	347	35	95	162	55	87

га приведены в табл. 5.4. Их интерпретация позволяет установить, что очаг землетрясения находился под воздействием близгоризонтального сжатия, ориентированного субширотно, и более круглого субмеридионально-

го растяжения (рис. 5.12, табл. 5.4 №1). Ось промежуточного напряжения близгоризонтальна и ориентирована субмеридионально.

Одна из возможных плоскостей разрыва (NP1 в табл. 5.4) имеет северо-восточное про-



стирание и крутое падение на восток-юго-восток. Подвижка в данной плоскости разрыва носит характер взброса, при этом юго-восточное крыло разрыва поднялось и сместилось к юго-западу. Вторая возможная плоскость разрыва (NP2 в табл. 5.4) имеет

юго-восточное простирание с падением на запад, при этом западное крыло разрыва поднялось и сместилось на юго-восток. По обеим плоскостям произошла подвижка типа взброса, с правосторонней (по NP1) или левосторонней (по NP2) сдвиговыми компонентами движения.

## 5.4. Результаты обследования последствий землетрясения и его афтершоков

### 5.4.1. Макросейсмические проявления (в баллах) на юге о-ва Сахалин

Горнозаводское землетрясение ощущалось по всему югу Сахалина, макросейсмические сведения собраны по 93 населенным пунктам (табл. 5.5). Максимальная интенсивность сотрясений достигала 7 баллов в поселках Горнозаводск (эпицентральной расстояние  $\Delta = 6$  км), Лопатино ( $\Delta = 8$  км), Селезнево ( $\Delta = 10$  км) и Шебунино ( $\Delta = 12$  км).

По данным табл. 5.5 была построена карта пункт-балл, которая, в свою очередь была

аппроксимирована с помощью теоретических изосейст (рис. 5.13). В качестве макросейсмического эпицентра взят центр области афтершоков первых суток Горнозаводского землетрясения ( $\varphi = 46,525^\circ$  с.ш.;  $\lambda = 141,865^\circ$  в.д.), а глубина принята равной средней расчетной глубине афтершоков ( $h \approx 12$  км). Сам предположительный очаг Горнозаводского землетрясения, включающий эпицентры афтершоков первых суток, имеет размеры  $15 \times 7$  км, вытянут в диагональном северо-западном направлении, эпицентр главного толчка находится в море у западной границы афтершоковой области.

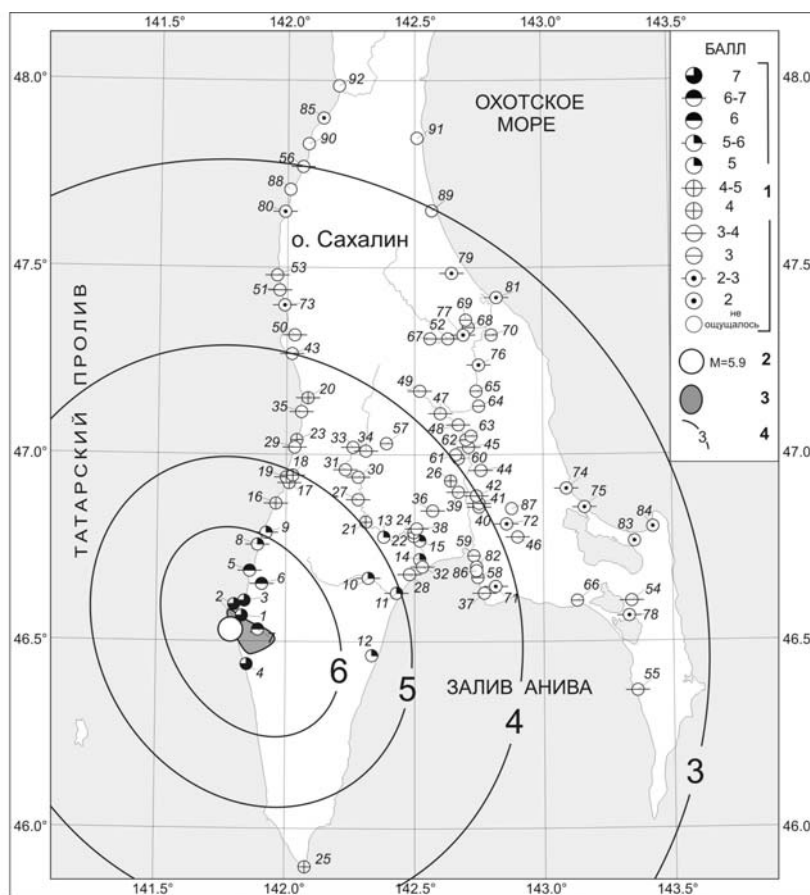


Рис. 5.13. Макросейсмический эффект Горнозаводского землетрясения 2.08.2007 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – магнитуда землетрясения; 3 – область афтершоков первых суток; 4 – теоретические изосейсты.

Fig. 5.13. Macro seismic effects of the Gornozavodsk earthquake of August 2, 2007.

1 – intensity in the MSK-64 scale; 2 – earthquake magnitude; 3 – aftershock's area within the first days; 4 – theoretical isoseists.

**Таблица 5.5**  
**Подробные данные о проявлениях Горнозаводского землетрясения 17 августа 2006 г. в отдельных населенных пунктах**

№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев				Движение предметов				Звон стекла	Выпескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балл
					Испуг в %				Колесные бани							Тип здания	Степень повреждения		
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колесные бани								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
7 баллов																			
1	пос. Горнозаводск	6	16	100	100				+	+	+	+	+	+	А-Б	3-4*	Порывы водопроводных труб, трещины на дорогах	8*	
2	пос. Лопатино, Невельского р-на	8	18	100	100				+	+	+	+	+	+	А-Б	3-4	Оползни и обвалы на карьере, порывы водопроводных труб	7	
3	пос. Селезнево	10	4	100	100				+	+	+	+	+	+		3		7	
4	пос. Шебунино	11	10	100	100				+	+	+	+	+	+	А-Б	3-4	Порывы водопроводных труб, трещины в грунте	7	
6-7 баллов																			
5	г. Невельск	19	20	100	40	30	30		+	+	+	+	+	+	А-Б	3-4*	Порывы водопроводных труб, трещины в грунте	8*	
6	пос. Колхозное (Невельского р-на)	19	9	100	100				+	+	+	+	+		А-Б	3	Трещины в грунте до 15 см, нарушение стыков водопроводных труб	6-7	
6 баллов																			
7	пос. Вагутино	9	3	100	100					+	+	+		+	А-Б	2-3	Сильные порывы водопроводных труб	6	

№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев					Движение предметов			Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балла
					Испуг в %					Движение предметов						Тип здания	Степень повреждения		
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колесование								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
5–6 баллов																			
8	пос. Ясно-морский	27	2	100		50	50			+	+	+						5–6	
9	пос. Заветы Ильича	31	4	100	30	20	50			+	+	+						5–6	
10	пос. Зелено-дольск	44	8	100		80	20			+	+	+						5–6	
11	пос. Таранай	51	9	100	40	40	20			+	+	+	+					5–6	
5 баллов																			
12	пос. Кириллово	44	11	70		50	20	30		+	+							5	
13	пос. Огоньки	53	5	100	100					+	+	+	+					5	
14	г. Анива	60	20	100		50	50			+	+	+						5	
15	пос. Воскресенское	62	5	100		60	40			+	+	+		+				5	
4–5 баллов																			
16	пос. Калинино	40	5	80			80	20		+	+	+						4–5	
17	пос. Прибой	48	3	80		40	40	20		+	+	+						4–5	
18	пос. Правда	48	13	80	20	40	20	20		+	+			+				4–5	
19	Серные источники	48	5	80			80	20		+	+	+						4–5	
20	пос. Яблочный	73	7	70		60	40			+	+	+						4–5	
4 балла																			
21	пос. Высокое	52	5	90		90	10			+	+							4	

№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев				Движение предметов			Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балла
					Испуг в %				Движение предметов						Тип здания	Степень повреждения		
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колёбанье							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
22	пос. Петропавловское	57	11	60		20	40	40		+	+	+		+				4
23	г. Холмск	60	28	80			80	20			+	+						4
24	п/л «Артеж»	62	**	50		50	50		+	+							4	
25	м. Крильон	71	**														4	
26	пос. Троицкое	79	19	60		10	50	40		+	+	+						4
3-4 балла																		
27	пос. Пожарское	54	4	90			90	10		+	+	+						3-4
28	пос. Золотое рыбное	56	1	-			100				+	+						3-4
29	пос. Поляково	58	2	-			80	20			+	+						3-4
30	пос. Бамбучки	59	3	70			70	30			+	+						3-4
31	пос. Чапраново	59	9	90			90	10			+	+						3-4
32	пос. Рыбакское	60	6	80			80	20		+	+	+						3-4
33	пос. Пятиречье	65	7	60			60	40		+	+	+						3-4
34	пос. Чистоводное	67	4	80			80	20			+	+						3-4
35	пос. Симаково	68	3	-			100				+	+						3-4
36	пос. Успенское	70	12	40			40	60			+	+						3-4
37	г. Корсаков	76	17	60			60	40			+	+						3-4
38	пос. Мишулевка	78	9	50			70	30			+	+						3-4
39	пос. Новотроицкое	79	11	60		10	50	40			+	+	+					3-4



№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев						Движение предметов			Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балл
					Испуг в %						Падение	Движение	Колесница				Тип здания	Степень повреждения		
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не испугались	Не испугались	Не испугались										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
40	с. Листви- ничное	82	3	-			80	20			+	+						3-4		
41	пос. Христо- форовка	83	6	50			80	20		+	+	+						3-4		
42	пос. Хомутово	83	5	50			70	30			+	+						3-4		
43	пос. Пионеры	84	7	75			85	15			+	+						3-4		
44	г. Южно- Сахалинск	88	54	50		14	70	16		+	+	+						3-4		
45	пос. Луговое	89	5	40		60	20	20			+	+						3-4		
46	пос. Чапаево	90	8	50			80	20		+	+	+						3-4		
47	пос. Санатор- ный	90	5	50			80	20		+	+	+						3-4		
48	пос. Ключи	91	5	50			80	20			+	+						3-4		
49	пос. Сине- горск	91	5	50		50	35	15		+	+	+						3-4		
50	пос. Костром- ское	90	10	50		50	35	15			+	+						3-4		
51	г. Чехов	102	11	80		10	70	20		+	+	+						3-4		
52	пос. Углеза- водск	108	6	60		60	20	20			+	+						3-4		
53	пос. Ново- сибирское	106	3	60		20	60	20			+	+						3-4		
54	пос. Пихтовый	119	5	60			80	20		+	+	+						3-4		
55	пос. Новиково	122	12	70		30	50	20		+	+	+						3-4		
56	г. Томари	139	16	80		10	80	20			+	+						3-4		

№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев				Движение предметов			Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балла	
					Испуг в %				Падение	Движение	Колесование				Тип здания	Степень повреждения			
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3 балла																			
57	пос. Ожидаево	72	**							+			+						3
58	пос. Первая Падь	75	3	-			70	30			+								3
59	пос. Соловьевка	76	12	50			50	50			+	+							3
60	пос. Дальнее	85	5	30			70	30			+	+							3
61	пос. Елочка	85	3	80			100				+								3
62	пос. Новая Деревня	90	3	-			80	20			+	+							3
63	пос. Новоналександровск	92	5	-			90	10			+	+							3
64	пос. Березники	99	3	30			30	70											3
65	пос. Старорусское	102	5	-			75	25			+	+							3
66	пос. Озерский	103	11	80			80	20		+	+	+							3
67	пос. Быков	105	5	70			70	30			+	+							3
68	пос. Октябрьский	114	6	50			70	30			+	+							3
69	пос. Ручьи	116	9	-			80	20			+	+							3
70	г. Долинск	117	8	30			70	30			+	+							3
2-3 балла																			
71	пос. Раздольное	80	7				60	40			+	+							2-3
72	пос. Тамбовское	88	2				50	50			+	+							2-3

№	Название пункта	Δ, км	Число опросных листов	Пробуждение в %	Ощущение очевидцев				Движение предметов			Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах	I, балла
					Испуг в %				Падение	Движение	Колесование				Тип здания	Степень повреждения		
					Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
73	пос. Красно-ярское	98	4				20	80			+							2-3
74	пос. Лесное	108	5				50	50			+							2-3
75	пос. Охотское	111	4	50			50	50		+								2-3
76	пос. Сокол	108	7	30			55	45		+								2-3
77	пос. Покровка	112	5	50			50	50			+							2-3
78	пос. Береговой	118	4	50			50	50			+							2-3
79	пос. Советское	125	3				70	30			+							2-3
80	пос. Новоселово	125	5				10	90			+							2-3
81	пос. Стародубское	126	12	30			30	70			+							2-3
2 балла																		
82	пос. Третья Падь	67	4				30	70			+							2
83	пос. Мальково	114	**								+							2
84	пос. Свободное	127	**				20	80										2
85	пос. Пензенское	154	10				50	50			+							2
* Данные Г.А.Коффа (НИИЦ «Геориск» РАЕН, г. Москва).																		
** Сведения, полученные по телефону.																		
Не опущали: пос. Вторая Падь, пос. Восточка, пос. Урожайное, пос. Фирсово, пос. Неводское, пос. Взморье, пос. Ильинский, пос. Парусное.																		

Полученные в результате обследования значения балльности в населенных пунктах и взятые относительно центра области афтершоков первых суток значения гипоцентрального расстояния дают возможность рассчитать уравнение среднего макросейсмического поля для макросейсмического эффекта Горнозаводского землетрясения [Шебалин, 1974, 2003]. Расчетное соотношение имеет вид:

$$I = 12,13 - 4,59 \lg R,$$

где  $I$  – интенсивность сотрясений на гипоцентральном расстоянии  $R$  от условного макросейсмического гипоцентра.

Формула для вычисления среднего радиуса изосейст:

$$r_i = 1,29 \sqrt{10^{0,44(12,03-I)} - 12^2}.$$

Также необходимо учесть вытянутость очаговой области Горнозаводского землетрясения. Для этого при построении эллипс изосейст был увеличен на 4 км в направлении его главной оси и уменьшен на столько же по второй оси [Шебалин, 1974, 2003]. В соответствии с определенным механизмом главного толчка, эллипсы изосейст повернуты по часовой стрелке на угол  $150^\circ$ , что совпадает с ориентацией области афтершоков первых суток и ориентацией нодальной плоскости  $NP_2$ , которую по нашему мнению и следует принять за плоскость – сместитель в очаге Горнозаводского землетрясения 17 августа 2006 года с  $M = 5,9$ .

#### 5.4.2. Повреждение жилых и производственных зданий, трещины в грунтах

Более всего от Горнозаводского землетрясения пострадал пос. Лопатино, где землетрясение совершенно разрушило два довольно ветхих жилых дома (фото 1). Здесь и далее приводятся ссылки на фотографии, содержащиеся в Приложении 1.

Чудом обошлось без жертв: хозяйка одного дома ночевала в г. Невельск, во втором доме молодые люди в столь поздний час смотрели телевизор, поэтому успели выпрыгнуть, когда на них начала падать стена. Остальные дома поселка тоже получили повреждения различной степени тяжести.

Очень сильно пострадал пос. Шебунино, где в момент землетрясения погас свет и заклинило несколько входных дверей: люди в полной темноте пытались покинуть квартиры и не могли открыть двери. Примерно в 50 квартирах упали водонагревательные титаны. Особенно сильно пострадал один пятиэтажный дом, который стал непригоден для проживания: он весь покрылся трещинами, а в одной квартире провисла потолочная плита (фото 2).

На территории Шебунино, возле реки, в грунте возникли глубокие трещины (фото 3). В поселке Горнозаводск наиболее пострадало здание интерната, где перед самым землетрясением был закончен ремонт к новому учебному году (фото 4). На стенах и потолках учебных кабинетов, коридоров и спальной детей возникли крупные трещины и упали большие куски штукатурки. Паники не было, благодаря хорошей организационной работе, проводимой персоналом интерната с воспитанниками: старшие дети взяли на руки младших и вынесли из здания.

Приведем также результаты макросейсмического обследования, выполненного проф. Г.Л. Коффом при участии инженер-геолога А.М. Ивановой (НИЦ «Геориск» РАЕН, г. Москва). В процессе этого обследования изучалась территория муниципального образования «Невельский муниципальный район», а также ряд зданий и сооружений в пос. Горнозаводск (жилой дом по адресу ул. Кирпичная, д. 4а, здание школы-интерната для коррекции детей с отклонениями в развитии) и в г. Невельск (зданий котельных на ул. Береговой и котельной «Вакканай»). Обследовались также ряд проездов в г. Невельск и территория угольного карьера Лопатинский, на западном борту которого располагается эпицентр землетрясения.

*Пос. Горнозаводск, ул. Кирпичная, дом 4а.* Здание 32-квартирное, крупноблочное, построено в 1980–1981 гг. После землетрясения в здании появились тонкие трещины в торцевых стенах. Осели лестничные пролеты между 1 и 2 этажами в двух подъездах, а также основания двух крылец. Наблюдаются широкие сквозные трещины в основании крылец, а также широкие трещины в бетонной подготовке двух крылец. На 4 и 5 эта-

жах в 2 квартирах произошло падение тяжелых шкафов, а также отрыв и падение газовых колонок в ваннных комнатах. Исходя из характера и приуроченности повреждений, можно считать, что произошла осадка дома в южном – юго-восточном направлениях.

По улице Кирпичной распространены трещины на проезжей части, шириной 1–5 мм, длиной 2–4 м. Ориентация трещин северо-запад – юго-восток. В квартирах на 4 и 5 этажах первого подъезда имеются раскрытые горизонтальные трещины на стыке потолочного перекрытия и несущей торцевой стены. Наблюдаются раскрытые крупные трещины длиной от 1 до 2–3 м в северной стене первого подъезда с вывалами из внутренней стены и откалывании больших кусков штукатурки.

*Пос. Горнозаводск, ул. Кирпичная, школа-интернат.* Перед крыльцом школы-интерната в бетонном покрытии наблюдаются протяженные сейсмотрецины и микросбросы с амплитудой до 50 мм с опущенным восточным – юго-восточным и приподнятым западным – северо-западным крыльями. Ориентация микросбросов юго-восток – северо-запад, что соответствует ориентации грабена, к которому приурочено русло р. Лопатинки, а также протяженные оползневые стенки в районе расположения эпицентра. Наблюдается отрыв крыльца от несущей фасадной стены школы-интерната. Во внутренних перегородках четырехэтажного здания школы-интерната на уровне 2–3 этажей

наблюдаются раскрытые сквозные трещины шириной до 30–40 мм, преимущественно вертикальной ориентации. Повреждены отдельные висячие лампы. Здание школы-интерната не может далее эксплуатироваться и подлежит капитальному ремонту с последующим усилением.

*Г. Невельск, ул. Береговая, котельная №10.* Отмечена в несущей торцевой северной стене идущая от фундамента до крыши раскрытая вертикальная трещина длиной более 6 м, с раскрытием от 2 до 4–5 мм. Трещина отмечается как внутри шлакобетонных блоков, так и в цементе между блоками. Здание котельной №10 подлежит дальнейшему обследованию, включая обследование фундаментов, и капитальному ремонту.

*Г. Невельск, ул. Береговая, котельная «Вакканай».* В южной торцевой стене основного здания котельной наблюдается горизонтальная раскрытая трещина шириной от 5 до 10 мм и длиной до 7 м. Здание котельной подлежит тщательному обследованию и в дальнейшем капитальному ремонту.

В г. Невельск и пос. Горнозаводск наблюдалось массовое падение дымовых труб. Также отмечается нарушение и разрыв стыков подземных водоводов на многих участках с фонтанированием воды из поврежденных водоводов через грунт засыпки траншей и дорожное покрытие. В эпицентральной зоне отмечены участки склонов со свежими раскрытыми трещинами и обвальным разрушением пород.

### 5.5. Краткосрочный прогноз более сильного сейсмического события

Сильное землетрясение с  $M_W = 5,6$ , произошедшее 17(18) августа 2006 г. вблизи пос. Горнозаводск (рис. 5.8), показало, что процесс реализации долгосрочного прогноза перешел в активную фазу. Установив аномальность хода афтершокового процесса в течение первых 6 суток, и проанализировав ряд других геофизических данных, И.Н. Тихонов и Ч.У. Ким (ИМГиГ ДВО РАН) пришли к выводу, что это землетрясение является предвестником более сильного прогнозируемого события.

Учитывая сказанное, ими был составлен по состоянию на 23 августа 2006 г. уточненный по времени прогноз сроком на 7,5 меся-

цев, названный краткосрочным. Здесь необходимо сделать пояснение относительно классификации прогнозов по их заблаговременности. По этому вопросу единого взгляда, к сожалению, не выработано. Вот как об этом пишет В.Г. Кособоков (2005): «Общепринято разделение по времени, которое устанавливает довольно свободные границы между долгосрочными прогнозами (на ближайшие десятки лет), среднесрочными (на ближайшие годы), краткосрочными (на ближайшие месяцы-недели) и неотложными (на ближайшие часы)». Так, к примеру, в работе [О необходимости федеральной программы..., 2005] краткосрочными прогнозами

считаются прогнозы с заблаговременностью в дни-часы, а в статье [Шебалин, 2005] – с периодом ожидания несколько месяцев. В данном вопросе мы придерживаемся точки зрения П.Н. Шебалина.

Процитируем только один из четырех пунктов, положенных в основу этого краткосрочного прогноза:

*«Землетрясение 17(18) августа 2006 г. ( $M_s = 5,6$ ), возникшее в районе западного побережья юга Сахалина, является форшоком будущего сильного события вблизи брешы второго рода (см. рис. 3.7 – прим. редактора). Данное заключение основано на следующих фактах:*

*– это событие умеренное, имеет магнитуду на 1,0 ниже среднего значения магнитуды ( $M_{cp} = 6,6$ ) по долгосрочному прогнозу от 22 декабря 2005 г. для данного района, поэтому оно не сняло избыточные напряжения в зоне брешы второго рода;*

*– в очаговой зоне данного умеренного толчка наблюдается явно аномальный характер развития афтершокового процесса. Он проявляется в большом дефиците толчков с  $M = 3,0$  и более, а также в отсутствии обычно наблюдаемых афтершоков с магнитудами ( $M - 1$ ) ( $\pm 0,5$ ), то есть, в диапазоне 4,1–5,1. За 6 суток с момента главного толчка зарегистрировано только 2 события с магнитудами не более 3,8;*

*– описанный выше характер затухания активности характерен после возникновения сильных форшоков в Сахалинском регионе.*

*Возможно возражение по данному заключению: в схожих геологических условиях вблизи г. Румои (о. Хоккайдо) 14 декабря 2004 г. наблюдалось землетрясение с  $M_s = 6,1$ , не сопровождавшееся более сильным толчком. Ответ на данное возражение: подготовка этого землетрясения происходила без образования брешы второго рода. Распределение эпицентров землетрясений с  $M \geq 3,0$  в круговой области ( $R = 120$  км) вокруг эпицентра Румойского толчка остается неизменным в течение более 35 лет. Главный толчок 14 декабря 2004 г. и его афтершоки только добавили плотный кластер эпицентров в существовавшее поле эпицентров.*

*Таким образом, наблюдаемое ныне развитие сейсмической ситуации на юге Сахалина обнаруживает свойства, присущие форшоковой стадии сильного землетрясения. Поэтому сейсмическое событие 17(18) августа 2006 г. с  $M_W = 5,6$ , по-видимому, следует рассматривать как форшок – предвестник более сильного землетрясения».*

Такое обширное цитирование фрагмента текста нигде неопубликованного краткосрочного прогноза Невельского землетрясения 2 августа 2007 г., на наш взгляд, представляется здесь вполне уместным по следующим соображениям. Во-первых, оно служит документальным свидетельством правильности оценки сейсмологической ситуации, выработанной спустя всего 6 дней после Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. Во-вторых, подмеченные особенности аномального хода афтершокового процесса после данного землетрясения свойственны и для других сейсмических толчков умеренных магнитуд, возникающих перед главными событиями. Этот важный факт следует иметь в виду при последующих краткосрочных прогнозах сахалинских землетрясений.

Таким образом, краткосрочный прогноз был своевременным и методически правильным, хотя оправдался не полностью, так как Невельское землетрясение произошло примерно на 4 месяца позже указанного в прогнозе срока.

В сопроводительном письме, направленном в РЭС 23 августа 2006 г., в частности, было сказано следующее: *«Сейсмологами ИМГиГ ДВО РАН в декабре прошлого года был сделан долгосрочный прогноз сильного землетрясения на юго-западном шельфе о-ва Сахалин. Недавнее землетрясение 17(18) августа 2006 г. с магнитудой 5,6, возникшее в прогнозируемом районе, отчасти подтвердило обоснованность данного заключения.*

*Тщательный анализ сейсмической ситуации, сложившейся после данного землетрясения, приводит к выводу о том, что подготовка прогнозировавшегося ранее землетрясения в указанном районе, по-видимому, перешла в краткосрочную стадию развития. В этой связи в лаборатории сейсмологии Института подготовлен «Краткосрочный прогноз землетря-*

*сения с магнитудой  $M_S = 6,0-7,2$  в районе западного побережья юга Сахалина (по состоянию на 23 августа 2006 г.)» (авторы: И.Н. Тихонов, Ким Ч.У.), который направляю на Ваше рассмотрение».*

Разрушительное землетрясение с магнитудой  $M_W = 6,2$ , произошедшее 2 августа в 13 часов 37 мин сахалинского времени (2 часа 37 мин по Гринвичу) в Татарском проливе вблизи г. Невельск, полностью укладывает-

ся в рамки описанного выше долгосрочного (от 22 декабря 2005 года) прогноза сильного землетрясения на юго-западе о-ва Сахалин. Оно произошло в южной части области сейсмической брешы второго рода (рис. 3.7) и оказалось приуроченным к Западно-Сахалинской системе глубинных разломов земной коры, протягивающейся вдоль западного побережья острова. Подробное изложение результатов изучения данного события содержится в гл. 6.

# НЕВЕЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2 АВГУСТА 2007 г. – ПОЛНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА

### Аннотация

Анализ данного события и его последствий выполнен по той же схеме, что и для Горнозаводского землетрясения 2006 г. Возникновение нескольких афтершоков, сопоставимых по силе с основным толчком, обусловило сложную картину динамики развития очагового процесса, затруднило оценки механизма этих очагов и их вклад в интегральный макросейсмический эффект. Существенную помощь в понимании наблюдаемых очаговых процессов оказал анализ данных спутниковой радиоинтерферометрии. При этом использовались косейсмические смещения земной поверхности, связанные с Невельским землетрясением, которые были зафиксированы японским спутником ALOS в полосе шириной около 10 км и протяженностью около 30 км от п. Лопатино до п. Калинино. Радарная съемка района исследований выполнена 28 июля и 23 августа 2007 г. В итоге, методом инверсии косейсмических смещений земной поверхности, была построена дислокационная модель очага Невельского землетрясения с учетом сейсмологических данных.

### Referat

Analysis of the event and its effects was performed per procedure used for the Gornozavodsk earthquake of 2006. As some aftershocks turned out to be comparable in intensity with the main shock this phenomena resulted in a complicated picture of the focal process development. It also made estimation of their focal mechanisms and their contribution to the general macroseismic effects difficult. Analysis of the satellite radio interferometric data turned out to be very supportive in understanding of the focal processes observed. The data on co-seismic motions of the Earth surface, associated with the Nevelsk earthquake and recorded by the Japanese ALOS satellite within the strip 10 км wide and 30 км long from Lopatino to Kalinino villages were used. Radar surveys of the earthquake area were performed on July 28 and August 23, 2007. Eventually, a dislocation model for the Nevelsk earthquake focus taking into account seismic data was constructed using Earth surface co-seismic motions' inversion method.

### 6.1. Действия оперативных служб Сахалинского филиала ГС РАН после главного толчка

2 августа в 13 час 37 мин Сахалинского времени (2 часа 37 мин по Гринвичу) на сейсмической станции «Южно-Сахалинск» было зафиксировано сильное местное землетрясение. Дежурной сменой (вед. инженер Н.В. Коргун и инженер М.В. Федотова) через 20 минут после момента регистрации землетрясения были получены предварительные параметры эпицентра этого землетрясения по данным обработки записи цифровой станции IRIS и аналоговой записи каналов пониженной чувствительности. Оптическая запись землетрясения коротко- и длиннопериодной аппаратурой была нечитаема, поскольку вышла за пределы регистрируемого диапазона (рис. 6.1). Этот рисунок иллюстрирует работу аппаратуры, предназначенную для работы в оперативном режиме как по службе предупреждения об угрозе цунами, так и по службе срочных донесений о

сильных землетрясениях. Комплекс аппаратуры видимой записи был установлен на станции «Южно-Сахалинск» в начале 70-х годов.

Затем дежурная смена передала основные параметры землетрясения оперативным дежурным Главного Управления МЧС по Сахалинской области и Центра цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: координаты эпицентра 46,7° с.ш. 141,6° в.д., агнитуда 6,6, интенсивность сотрясений в г. Южно-Сахалинск до 4 баллов.

В 14 часов сахалинского времени было получено сообщение из Петропавловска-Камчатского: координаты 45,4° с.ш. 142,3° в.д., магнитуда 6,9.

В 14 часов 16 минут уточненные данные были переданы оперативному дежурному ГУ МЧС и в Центр цунами: магнитуда – 6,8.



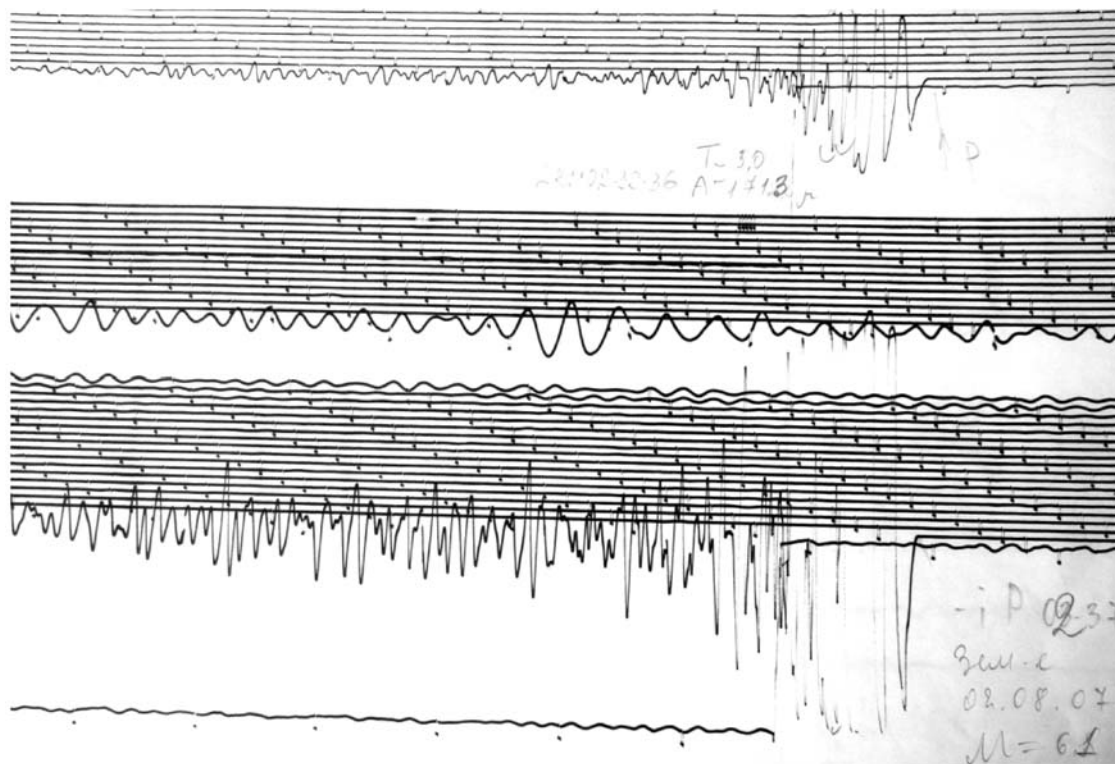


Рис. 6.1. Запись Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. аппаратурой видимой записи СКД-УП-СПР (горизонтальная составляющая  $E-W$  с увеличением  $V = 200$  вверху и  $V = 1000$  внизу).

Fig. 6.1. Record of the Nevelsk earthquake of August 2, 2007 using СКД-УП-СПР visible record instrumentation ( $E-W$  horizontal component is given with  $V = 200$  times magnification on the top and  $V = 1000$  magnification in the bottom part).

В это же время отправлена информация и в Информационно-обрабатывающий центр ГС РАН (ИОЦ ГС РАН, г. Обнинск), сообщено также об интенсивности сотрясений (ощущаемости) по наблюдениям на метеостанциях и телефонным звонкам граждан: г. Невельск – 6 баллов, г. Холмск – 5 баллов, г. Южно-Сахалинск – 4 балла. На рис. 6.2, 6.3 приведены фрагменты этих сообщений из журнала срочных сообщений.

В 14 час 24 мин сахалинского времени было получено сообщение с сейсмостанции «Южно-Курильск». В 18 час 5 мин переданы уточненные данные оперативным дежурным ГУ МЧС по Сахалинской области и в Центр цунами: магнитуда – 6,1.

В 21 час 21 мин переданы окончательные параметры землетрясения в ИОЦ ГС РАН (г. Обнинск): координаты  $46,6^\circ$  с.ш.  $141,6^\circ$  в.д., магнитуда – 6,0.

Такое большое число уточнений и изменений координат и особенно магнитуды зем-

летрясения было обусловлено следующими причинами:

- работой с волновой картиной одиночной станции (см. раздел 5.1);
- наложением записи Р-волны на запись далекого землетрясения;
- значительной сложностью определения времени вступления S-волны именно для этого землетрясения на станции «Южно-Сахалинск». В частности, афтершоки имели более четкие вступления;
- сложностью оценки магнитуды местных землетрясений, которая определяется в поверхностных волнах с большими погрешностями, в том числе, и из-за нерешенного вопроса со значениями калибровочных функций для эпицентральных расстояний менее  $1^\circ$ .

На рис. 6.4 приведены записи горизонтальных компонент этого землетрясения, зарегистрированные цифровым комплексом «Айрис-2».

2 августа  
 в центр цунами Р-01 38° 52' ш.  
 в центр цунами  
 для МЧС: 2 августа в 13<sup>h</sup> 38<sup>m</sup> сах. вр  
 зм-е М=6,6 коорд.  
 46,7° N 141,6° E  
 прин. Корнун  
 н. Чесалина 13<sup>h</sup> 57<sup>m</sup> сах. вр.  
 н. Чесалина 13<sup>h</sup> 57<sup>m</sup> сах. вр.  
 прин. Корнун  
 уточнение в центр цунами, для МЧС:  
 зм-е в 13<sup>h</sup> 37<sup>m</sup> сах. вр. коорд. 46,6° N  
 141,1° E  
 прод. след.

предает. М=6,8.  
 прин. Корнун  
 прин. Чесалина, Саянов 14<sup>h</sup> 10<sup>m</sup>

От: "Южно-Сахалинск сейсмостанция" <yss@seismo.sakhalin.ru>  
 Кому: "EEAS" <eeas@gsras.ru>; "SKR" <seismo\_skr@seismo.sakhalin.ru>  
 Отправлено: 2 августа 2007 г. 3:24  
 Тема: ИСПРАВЛЕНИЯ К ШТОРМУ 7105

SEISMO N7105 YSS AUG02 MPZ IP023753 FMSDW,DSW MPN QS3800 MPZ LR XM3810  
 T10A2091. (( FOCUS 023739.8 LAT 46.6N LON 142.1E D0.5 MAG MS6.8 WAS FELT IN:  
 NEVELSK 6 BALLOV, KHOLMSK 5 BALLOV, YUZHNO-SAKHALINSK 4 BALLA ))  
 STOP  
 KORGUN 03-22 GMT

От: "Operator" <oppets3@emsd.iks.ru>  
 Кому: "Бахтиярова Г. М." <galiya@emsd.iks.ru>; "Сенюков2" <jaschuk@emsd.iks.ru>; "МЧС" <od@kamfire.iks.ru>; "Срочное донесение" <eeas@gsras.ru>; "Срочное Sakhalin" <yss@sakhalin.ru>; "Цунами" <tsunam@mail.ru>  
 Отправлено: 2 августа 2007 г. 3:01  
 Тема: SEISMO

SEISMO N7222 PET  
 AUG02  
 LPZ IP024043.2 FM,DSW XM4051.4 T10.7A9.2 SPZ XM4052.1 T1.1A70.2  
 MPZ XM4054.2 T9.3A11.9 LPN IS4309.6 XM4320.7 T21.2A54.6 MPN XM4333.6  
 T9.2A54.6 MPE XM4336.7 T9.2A45.2 LPZ LR XM4628.6 T13A224.8 (( FOCUS  
 023737.2 LAT 45.4N LON 142.3E DEP 33. D13.1 MAG MPL6.5 MS6.9 ))  
 STOP  
 02-54 ШУБИНА

С Горнодобывающей, Шейдлинской, Невалянской  
 нет связи.  
 Звонки из Южно-Сах.: небольшие толчки,  
 качание предметов виселиц,  
 особенно на верев. этажер.  
 прин. Корнун, Федотова.  
 Звонок из Амурск: лж. сотрясение.  
 Звонок из Чабва: существенные толчки

NNNN 0240  
 ЗЦЗЦ 010 4848/=H089  
 ММСХ31 СХЛН 020200  
 ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ  
 32145 020238 ВСВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 6 БАЛЛОВ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ 2 СЕК  
 РАЗРУШЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫ БОРЦОВА=  
 Невельск

Рис. 6.2. Первая и вторая страница журнала срочных сообщений сейсмической станции «Южно-Сахалинск» по Невельскому землетрясению 2 августа 2007 г.

Fig. 6.2. The first and second pages in the emergency notification log book of the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station with entries describing Nevelsk earthquake of August 2, 2007.

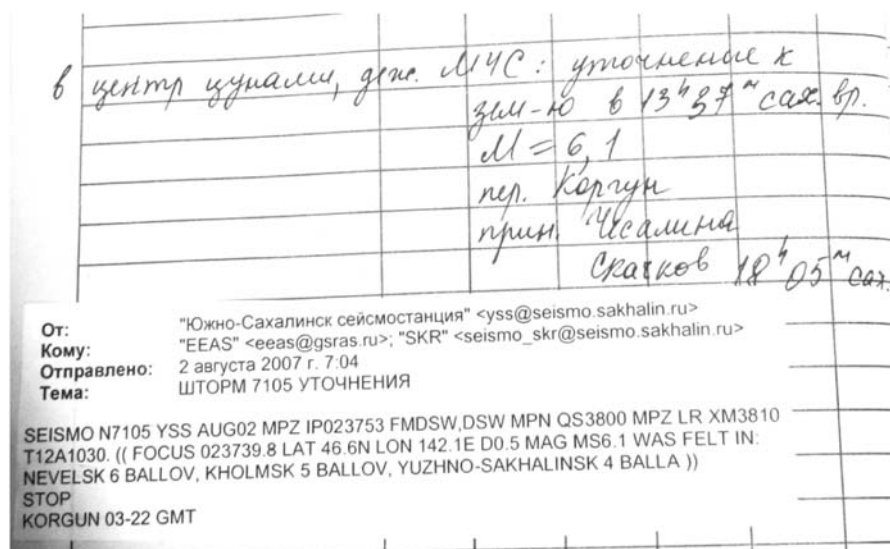


Рис. 6.3. Фрагмент седьмой страницы журнала срочных сообщений сейсмической станции «Южно-Сахалинск» по Невельскому землетрясению 2 августа 2007 г.

Fig. 6.3. Part of the page #7 in the emergency notification log book of the Yuzhno-Sakhalinsk seismic station referring to the Nevelsk earthquake of August 2, 2007.

## 6.2. Результаты наблюдений с помощью локальной сети цифровых станций, анализ инструментальных данных

### 6.2.1. Инструментальные данные о главном толчке и афтершоках

Описание локальной сети автономных цифровых сейсмических станций на юге о-ва Сахалин, особенностей ее функционирования и методики обработки данных изложены в гл. 5. Поэтому сразу перейдем к результатам наблюдений. На рис. 6.5 приводятся графики непрерывности регистрации в каждом отдельном пункте наблюдения за 2007 г. и отдельно за месяц август. Из графиков видно, что во время главного толчка Невельского землетрясения работали все сейсмические станции. Всеми станциями было зарегистрировано более 1000 сейсмических событий, что позволило с высокой точностью определить параметры главного события и многочисленных афтершоков.

Рассмотрим инструментальные данные о главном толчке и афтершоках. К моменту подготовки монографии был создан каталог землетрясений, в который вошли результаты обработки главного толчка и 1350 афтершоков, зарегистрированных в течение 8 суток при помощи 9 автономных цифровых сейсмических станций типа DAT, установленных по югу о-ва Сахалин. Основные параметры главного события оказались следующими: время в очаге  $T_0 = 02$  час 37 мин 39 с;

координаты эпицентра –  $\varphi = 46,83^\circ \pm 0,01^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 141,76^\circ \pm 0,02^\circ$  в.д.; глубина очага  $h = 10,6 \pm 2$  км; магнитуда  $M = 6,2$ .

В таблице, приведенной на рис. 6.6, представлено распределение числа афтершоков Невельского землетрясения за период 2–9 августа 2007 г. Из графика на этом рисунке видно, что большинство событий произошло за время первых двух суток. На пятые-шестые сутки количество зарегистрированных толчков уменьшилось более чем в 20 раз.

Количество зарегистрированных афтершоков Невельского землетрясения сравнивалось с ожидаемым числом событий, рассчитанным по формуле Дракопулоса [Drakopoulos, 1971]. Соотношение между общим числом афтершоков с магнитудой, превышающей заданную величину, и магнитудой главного толчка изучалось Дракопулосом для последовательностей афтершоков на территории Греции. Его результаты представлены выражением:

$$N(M) = A \exp(-\beta M),$$

где  $N(M)$  – общее число афтершоков с магнитудой, превышающей  $M$ ;  $A$  – функция от  $M_0$  – магнитуды главного толчка ( $A = \exp(3,62\beta + 1,1M_0 - 3,46)$ );  $\beta = -B / \lg e$ , где  $B$  является значением наклона графика повторяемости.

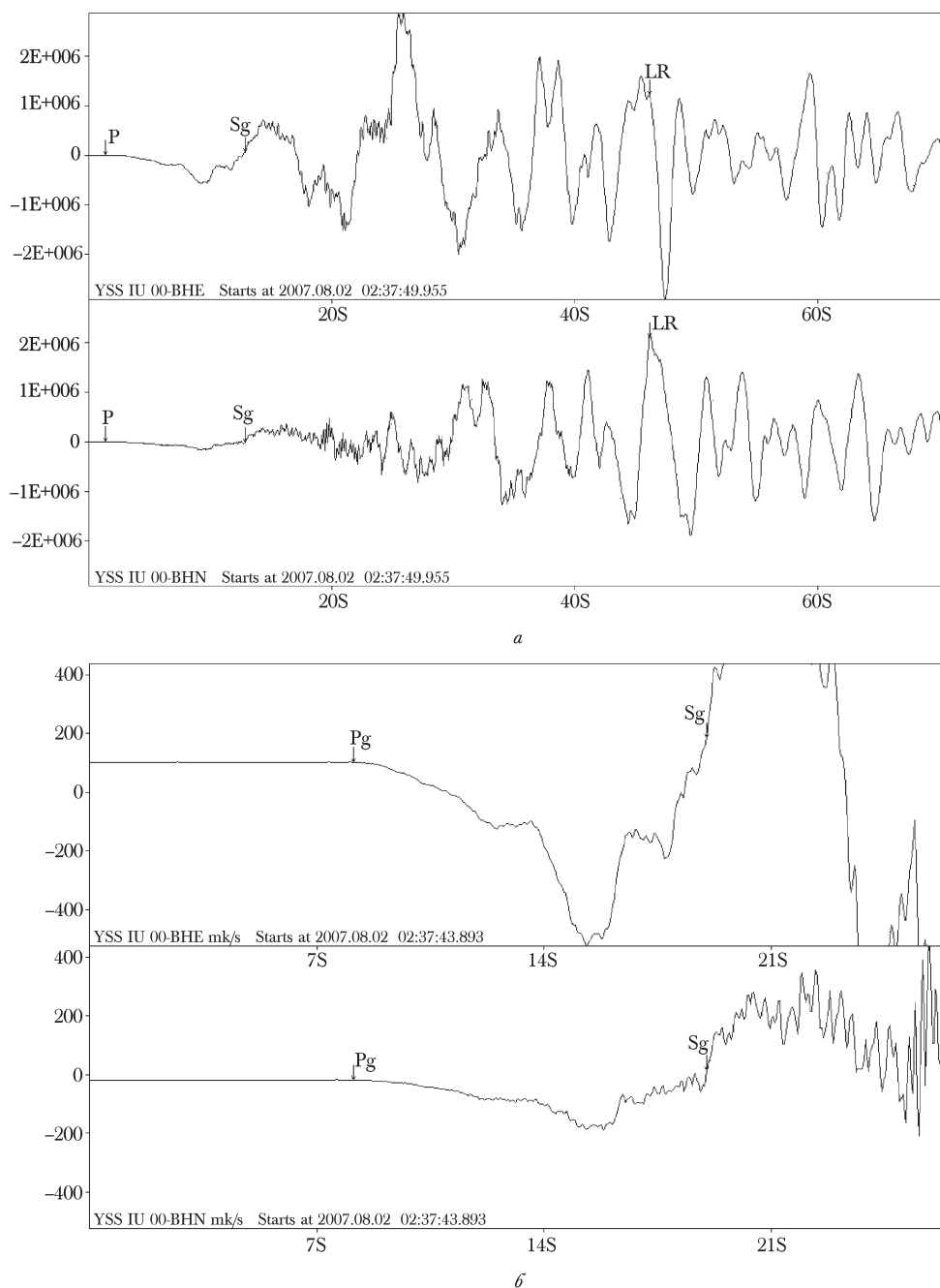


Рис. 6.4. Полная запись Невельского землетрясения (а) на сейсмической станции «Южно-Сахалинск» с помощью комплекса «Айрис-2» и ее начальная часть (б).

Fig. 6.4. Complete seismogram of the August 2, 2007 Nevelsk earthquake made using IRIS-2 instrumentation (a) and its initial portion (b).

В нашем случае, для оценки ожидаемого числа афтершоков по выражению Дракопулоса, значение наклона графика повторяемости было заимствовано из работы [Оскорбин, Бобков, 1997]. Как видно из сравнения по таблице на рис. 6.6, общее число афтершоков с магнитудой больше 2,0 в два раза превышает ожидаемое количество событий по формуле Дракопулоса, несмотря на то, что в рассматриваемый каталог вошли афтершоки только за первые 8 суток.

Аномально большое количество афтершоков после главного толчка можно объяснить следующими особенностями:

– достаточно большим количеством афтершоков с магнитудой больше 4,5, каждому из которых сопутствовали свои афтершоки. В таблице на рис. 6.6 приведены наиболее значимые по энергетической величине события, произошедшие в течение первых суток. Все они имели магнитуду близкую к 5,0;

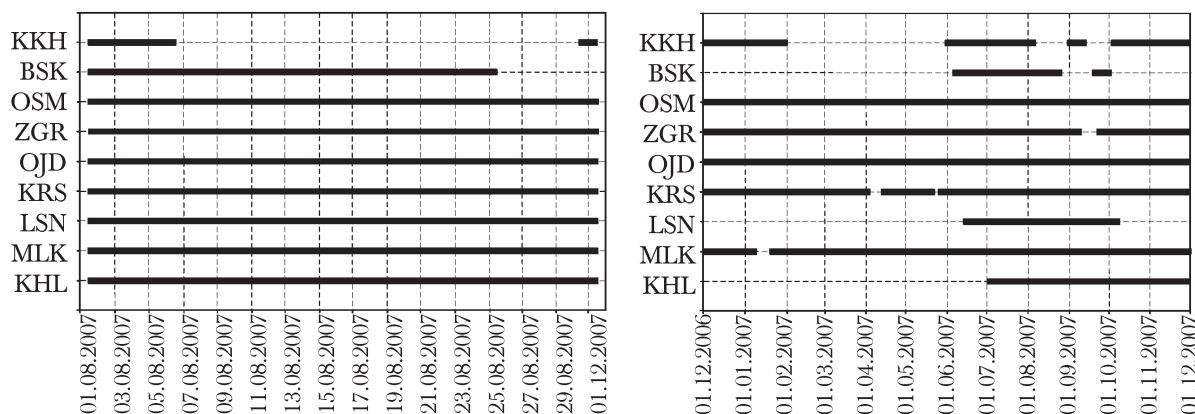


Рис. 6.5. Графики непрерывности работы автономных цифровых сейсмических станций DAT на юге о-ва Сахалин в 2007 г.

Fig. 6.5. Record of continuous operation of the self-contained DAT digital seismic stations in the south of Sakhalin in 2007.

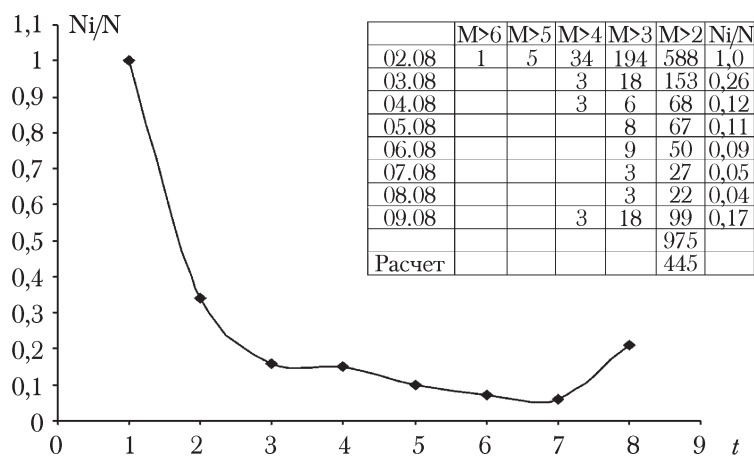


Рис. 6.6. График посуточного распределения числа афтершоков Невельского землетрясения 2 августа 2007 г.

Fig. 6.6. The plot of daily aftershock distribution for the Nevelsk earthquake of August 2, 2007.

– магнитуда самого сильного афтершока 6,0 сопоставима с магнитудой главного толчка, равной 6,2;

– для сравнения, магнитуды афтершоков сильнейших землетрясений Сахалина имели разницу с магнитудой главного события больше или равную единице.

Большое внимание в каталоге уделено оценкам точностей. Это в первую очередь вертикальная и горизонтальная ошибки (в км). В значительной мере они зависят от конфигурации сети. Для событий Невельского землетрясения не совсем удачно расположенных по отношению к сети близких станций, благодаря качеству регистрирующей аппаратуры удалось добиться высоких точностей в определении гипоцентров: порядка нескольких сотен метров по широте, 1,8 км по долготе и 1,5–2,0 км по глубине. На рис. 6.7 показаны гистограммы распределения оши-

бок при определении параметров афтершоков Невельского землетрясения по долготе, широте и глубине. Ошибки в определении параметров землетрясений достаточно хорошо согласуются с результатами численного моделирования по оценке погрешностей (рис. 5.7), проведенного по методу В.Ю. Бурмина [Бурмин, 2007].

В работе Арефьева (2003) показано, что при небольшой случайной ошибке, например, с дисперсией 0,5 км, картина эпицентральной зоны по карте и разрезам более-менее реалистична. В связи с этим, подготовленный нами каталог афтершоков Невельского землетрясения является далеко не идеальным, но может дать ответы на многие вопросы по конфигурации очаговой зоны и сейсмическому режиму Невельского землетрясения.

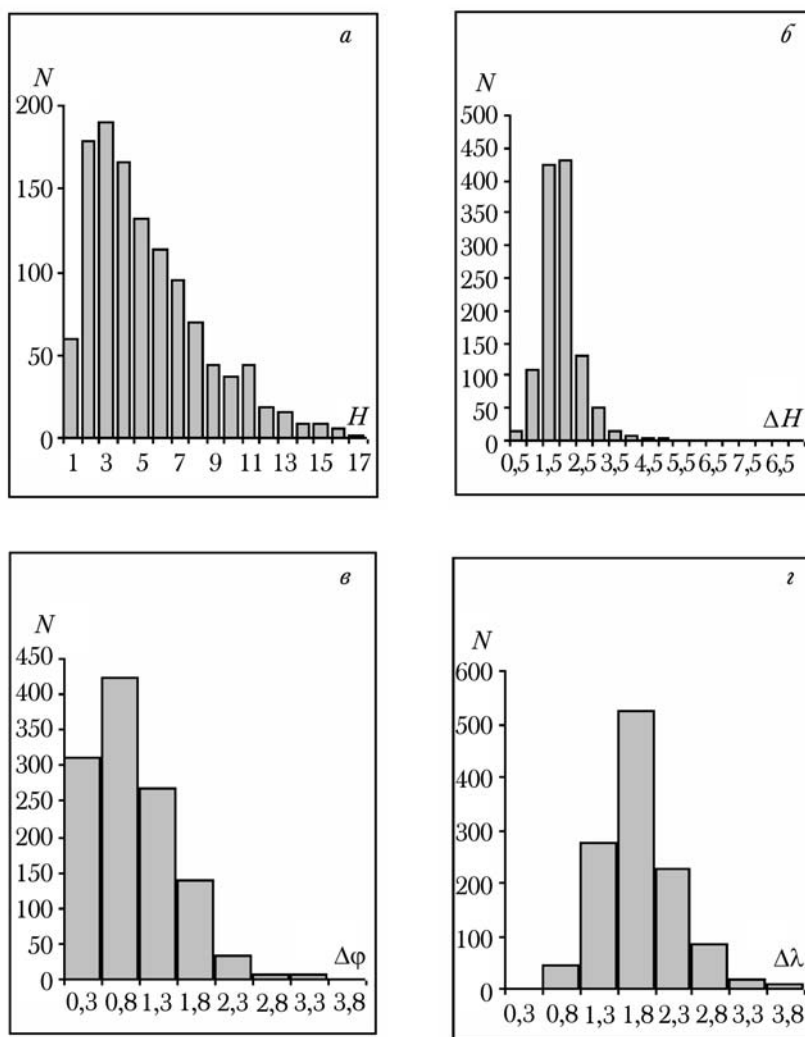


Рис. 6.7. Гистограммы распределения количества землетрясений по глубине  $H$ , км (а) и погрешностей (в км) в определении трех параметров: глубины (б), широты (в) и долготы (г).

Fig. 6.7. Histogram showing quantitative distribution of the earthquakes at the depth  $H$ , км (а) and errors (km) in detection of the three parameters such as: depth (б), latitude (в) and longitude (г).

### 6.2.2. Карта эпицентров землетрясений, вертикальные разрезы

На рис. 6.8 приведена карта эпицентров главных толчков и афтершоков Горнозаводского 20 августа 2006 г. и Невельского 2 августа 2007 г. землетрясений. Основная масса афтершоков Невельского землетрясения образует эпицентральною область размерами  $S = 13 \times 40$  км в Юго-Западной Сахалинской шельфовой (ЮЗШ) сейсмогенной зоне [Оскорбин, Бобков, 1997]. По исследованиям Л.С. Оскорбина и А.О. Бобкова эта зона расположена на северной части Исикари-Кузнецовского прогиба Татарского прогиба и граничит на западе с Монеронской (МНР) зоной, на севере – с Поясковой (ПСК), на востоке – с Юго-Западной Сахалинской (ЮЗХ) сейсмогенной зоной.

Зона ЮЗШ пересекается субмеридиональным Западно-Сахалинским разломом. Мощность земной коры изменяется от 29 до 31 км, гранитного слоя от 2 (в южной осевой части прогиба) до 10 км на севере зоны, базальтового слоя – от 16 до 17 км. Территория зоны ЮЗШ довольно плотно покрыта эпицентрами землетрясений, а наиболее сильными среди них были землетрясения 18 июня 1919 г. ( $M = 5,0$ ,  $h = 20$  км), 23 ноября 1936 г. ( $M = 4,9$ ,  $h = 20$  км), 9 марта 1963 г. ( $M = 5,0$ ,  $h = 20$  км), 21 марта 1978 г. ( $M = 5,1$ ,  $h = 20$  км) и 25 мая 1981 г. ( $M = 5,1$ ,  $h = 15$  км). Таким образом, Невельское землетрясение с  $M_W = 6,2$  является первым крупным событием в этой зоне за весь инструментальный период наблюдения.

Из карты эпицентров видно, что очаговая зона располагается на западном крыле

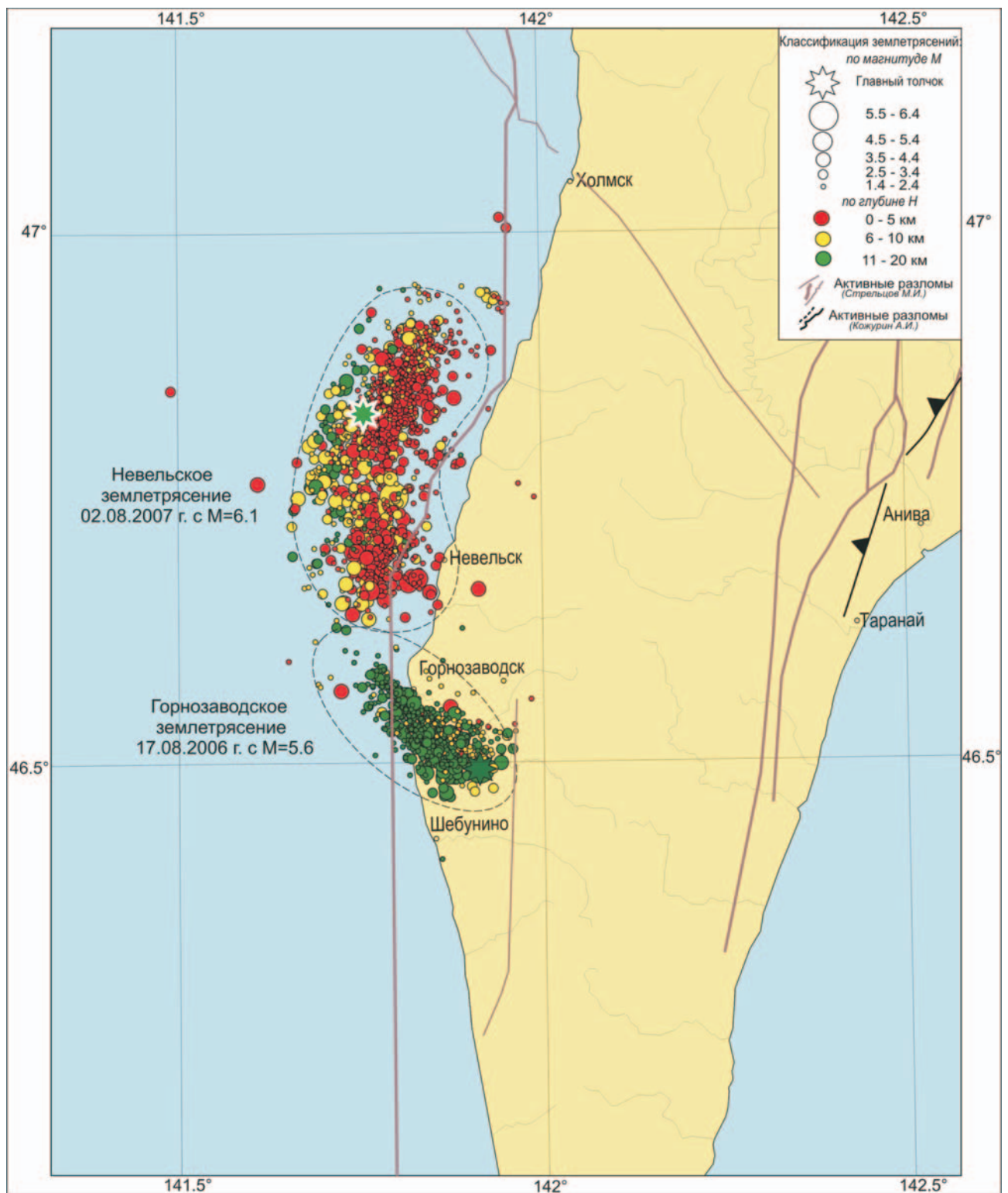


Рис. 6.8. Карта эпицентров главных толчков Горнозаводского 17 августа 2006 г. и Невельского 02 августа 2007 г. землетрясений и их афтершоков.

Fig. 6.8. Map of the main shocks' epicenters. Gornozavodsk and Nevelsk earthquakes of August 17, 2006 and August 2, 2007 respectively and their aftershocks.

Западно-Сахалинского разлома. Эпицентры афтершоков разделяют очаговую зону на две субзоны. Одна из них размером 12 км × 25 км выделяется в окрестности основного толчка, распределение землетрясений ориентировано в направлении с юго-запада на северо-восток. Вторая подзона размером 10 км × 15 км появилась после возникновении сильного афтершока с  $M = 6,0$ . Она упирается в нижний край первой субзоны и простирается в направлении строго с севера на юг. Конфигурация всей афтершоковой зоны повторяет излом Западно-Сахалинского разлома в этом районе.

Согласно соотношению Уэллса и Коппершмита [Wells, Coppersmith, 1994], характеризующему зависимость величины магнитуды от размера очаговой зоны, магнитуда главного толчка должна быть не менее 6,6. Однако только длина и размер площади каждой из отдельно взятых субзон согласуются с магнитудой главного толчка  $M = 6,2$  и сильнейшего афтершока  $M = 6,0$ . Близкие значения магнитуд двух толчков приводят нас к предположению о возникновении парных землетрясений.

Представление о пространственном распределении облака афтершоков Невельского землетрясения дают карты вертикальных разрезов. Для анализа субзон главного толчка и сильнейшего из афтершоков было сделано разбиение на 8 и 5 сегментов, соответственно. Ширина полосы составила 3 км для каждого разреза.

На карте, представленной на рис. 6.8, довольно четко выделяются сосредоточенные и рассеянные компоненты сейсмичности. По сосредоточенным компонентам оконтуривается эпицентральная зона размером около  $13 \times 36 \text{ км}^2$ . Вне пределов основной афтершоковой зоны выделяются рассеянные компоненты сейсмичности. Так на севере очаговой зоны отмечены две группы сейсмических событий на расстоянии 4 км и 10 км от зоны с сосредоточенными компонентами. На юге также образуется рассеянная группа афтершоков в пределах очаговой зоны Горнозаводского землетрясения 2006 года. Кроме того, с восточной стороны по всей длине афтершоковой зоны существуют рассеянные компоненты сейсмичности, достаточно далеко от-

стоящие от основной зоны. Среди этих землетрясений на траверзе реки Казачка и п. Ясноморск выделяются слабокластеризованные группы событий. Достаточно наглядное разделение на сосредоточенную и рассеянную компоненты сейсмичности подтверждают вертикальные поперечные разрезы (рис. 6.9).

По характеру распределения землетрясений по глубине можно отметить следующее:

- существенное различие характера протекания сейсмических процессов по глубине вдоль очаговой зоны;
- значительное расхождение количества землетрясений на разных глубинах;
- присутствие зон с минимальной концентрацией гипоцентров на промежуточных глубинах.

Характер протекания сейсмических процессов по глубине хорошо согласуется с механизмом главного толчка, определенного по данным службы NEIC. Кроме того, наличие зон отсутствия гипоцентров землетрясений можно объяснить с позиции теории «шевроватости» при значительной неоднородности глубинных геологических структур.

### 6.2.3. Сейсмический режим Невельского землетрясения

Анализ данного события будет неполным без изучения временного хода сейсмического процесса. Напомним, что к основным параметрам сейсмического процесса относят сейсмическую активность  $a$  и коэффициент  $b$  угла наклона графика повторяемости («дробность» – по терминологии С.С. Арефьева (1989)). Принимая гипотезу равномерности сейсмического процесса, считаем  $b$  постоянным параметром. По данным [Оскорбин, Бобков, 1997] в сейсмоактивной зоне Невельского землетрясения параметр повторяемости  $b$  кумулятивного графика равен 0,878.

Нами были построены кумулятивные графики повторяемости по данным всего каталога афтершоков и по отдельно взятым суткам (рис. 6.10). При построении графиков был взят равный временной интервал первых суток. В основе такого подхода лежат следующие соображения [Арефьев, 1989, 2003]. Если за некоторое время на некоторой площади произошло определенное,



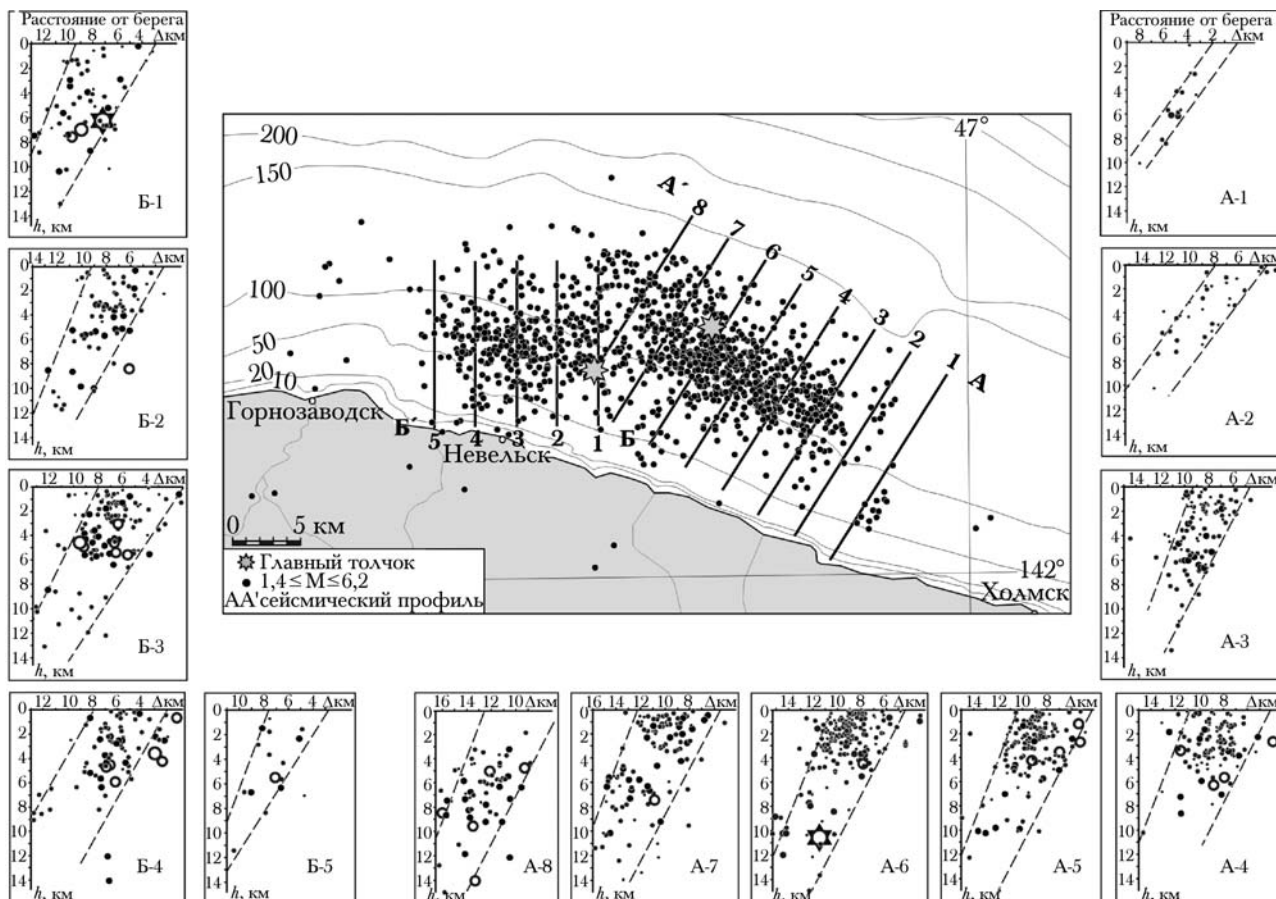


Рис. 6.9. Карта эпицентров и поперечные разрезы области афтершоков Невельского землетрясения 2 августа 2007 г.

Fig. 6.9. Map of the epicenters and cross section of the aftershocks area Nevelsk earthquake of August 2, 2007.

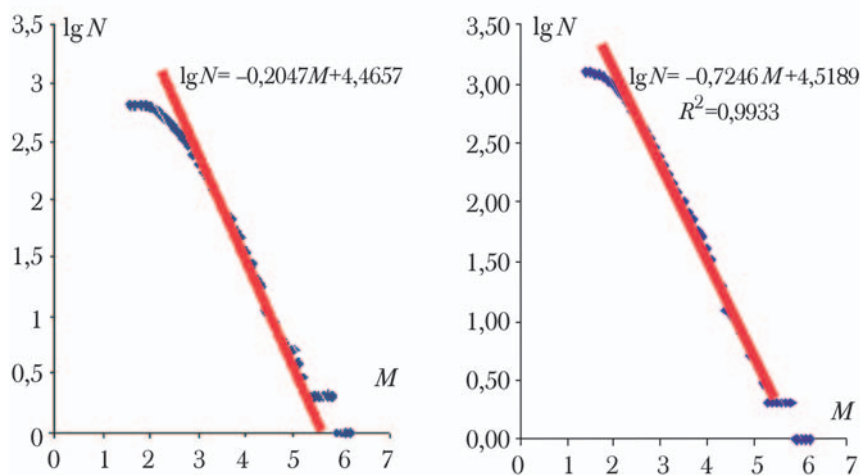


Рис. 6.10. Графики повторяемости, построенные по данным каталога афтершоков Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. за первые сутки (график слева) и за первые 8 суток (график справа).

Fig. 6.10. Recurrence plots constructed based on the August 2, 2007 Nevelsk earthquake aftershocks' catalogue for the day #1 (the plot on the left) and for the first eight (8) days (the plot on the right).

пусть и небольшое, число землетрясений разной энергии, а система наблюдений уверенно регистрировала все события с  $K > K_{\min}$  без пропусков, то эта совокупность есть установленный факт. При этом, если значение дробности велико, то в исследуе-

мом районе наблюдается относительное преобладание более слабых землетрясений, и наоборот.

В определенном смысле это утверждение может служить для характеристики среды, генерирующей землетрясения: если значение

дробности велико, т.е. относительно много слабых землетрясений, значит, среда более раздроблена. Если значение дробности мало, т.е. наблюдается относительное преобладание сильных землетрясений, значит, среда в некотором смысле более однородна, а степень ее раздробленности меньше.

Диапазон магнитуд представительных землетрясений, которые полностью учитывались в данной системе наблюдений, составляет 2,0–6,2. Наклон (дробность) графика повторяемости оказался равным 0,72, что меньше по сравнению со значением, рассчитанным Л.С. Оскорбиным и А.О. Бобковым для юго-западной шельфовой сейсмогенной зоны о-ва Сахалин. Значение наклона графика повторяемости по отдельным суткам варьирует в диапазоне от 0,72 до 0,85 (таблица на рис. 6.8). Отмечается также изменение наклона графика повторяемости на момент зарождения сильного афтершока с магнитудой больше 3,9.

Наличие большого числа последовательностей афтершоков в течение нескольких дней и недель способствовало детальному статистическому анализу этих последовательностей. Начиная с прошлого века Ф. Омори [Omori, 1894] выявил убывание среднего числа афтершоков со временем  $t$ , прошедшим от момента главного толчка. Для афтершоковой последовательности, в целом, наблюдается хорошее соответствие изменения интенсивности потока событий во времени степенному закону. Однако параметры этого закона несколько различаются. Для афтершоковой последовательности, как известно, хорошим приближением является закон Омори, который можно представить в виде:

$$n \sim T^{-p},$$

где  $n$  – интенсивность потока числа событий в данный момент времени,  $T$  – время от момента главного события,  $p$  – параметр закона Омори. Значение коэффициента  $p$  обычно полагается постоянным. Аналогичным образом можно описать обратный (форшоковый) каскад к моменту главного события, в этом случае  $t$  – время до момента главного события. При этом степенной закон Омори хорошо выполняется в интервале от  $10^{-1}$  до

$10^2$  суток или немного более после момента главного события. Параметр  $p$  имеет типичные значения около единицы. Аналогично, полученная характерная длительность афтершокового процесса (чуть более 100 дней) отвечает ее характерным значениям [Родкин, 2008].

Ход сейсмического процесса после Невельского землетрясения контролировался нами при помощи графика Омори (рис. 6.11). Для этого привлекались данные сейсмической станции «Южно-Сахалинск», поскольку события из района Невельского землетрясения уверенно регистрируются короткопериодной аналоговой аппаратурой начиная с  $K \geq 6,6$ . Мы остановились на значении энергетического класса  $7,2 \pm 0,2$ . Подсчет событий осуществлялся ежедневно, а последние сто суток – еженедельно. Анализ графика Омори последовательностей Невельского землетрясения свидетельствует о наличии трендов двух типов. Главный тренд достаточно хорошо описывается уравнением:

$$\lg N^* = -0,67 \lg(t) + 1,98.$$

После элементарных преобразований имеем закон Омори

$$N^* \sim T^{-0,67}.$$

Второй тренд связан с возникновением сильного афтершока, сопровождавшегося своими повторными толчками. Обычно второй тренд пересекает линию главного тренда, то есть, отмечается резкое уменьшение числа афтершоков. При достижении некоторого низкого порога происходит появление группы афтершоков и сильного толчка. На врезке (рис. 6.11) приведен график роста временного интервала  $t$  между значимыми афтершоками (относительно сильных событий).

Как было отмечено выше, при помощи описанных графиков повторяемости и Омори прогнозировался ход последовательностей афтершоков Невельского землетрясения.

#### 6.2.4. Обсуждение результатов и выводы

При изучении сильных землетрясений особую ценность имеет информация, получаемая сетью близких к очагу сейсмических станций. В нашем случае решались задачи,

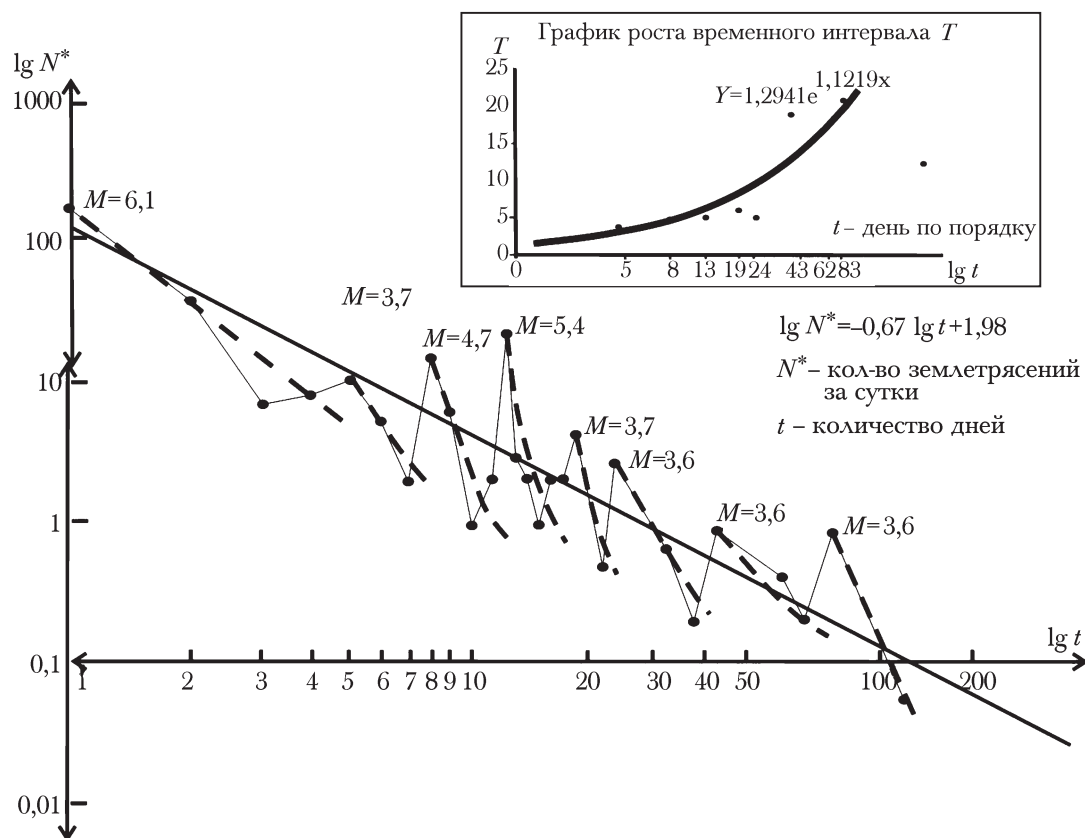


Рис. 6.11. График спада числа афтершоков Невельского землетрясения 2 августа 2007 г со временем (график Омори). На врезке приведен график роста временного интервала.

Fig. 6.11. Plot showing reduction of the aftershocks number versus time for the Nevelsk earthquake of August 2, 2007. Inset – graph for the increase of the time interval.

ставшие традиционными при эпицентральных исследованиях: 1) локация афтершоков и изучение зоны главного разрыва; 2) определение параметров очагов афтершоков. Организуемая для этих целей сеть станций должна регистрировать землетрясения на эпицентральных расстояниях от 1–3 до 100 км в возможно более широкой полосе частот. Сейсмологические исследования афтершоков дают важнейшую информацию об очагах произошедших сильных землетрясений, их размерах, размещении, сегментации и развитии во времени.

В результате данных исследований выявлены некоторые характерные особенности афтершокового процесса Невельского землетрясения 2 августа 2007 г.:

- существование двух субзон афтершоков, сгенерированных сильными землетрясениями с магнитудами  $M = 6,2$  и  $6,0$ . Облако афтершоков площадью  $13 \times 40$  км хорошо совпадает с трассой Западно-Сахалинского разлома, практически все афтершоки расположены на западном крыле этого разлома.

Гипоцентры афтершоков находились на небольшой глубине (4–10 км);

- аномально быстрое затухание афтершокового процесса в течение восьми суток (за первые двое суток возникла половина афтершоков, на пятые-шестые сутки их количество уменьшилось более чем в 20 раз);

- спадание числа афтершоков ( $N$ ) энергетического класса  $K \geq 7,2$  во времени в течение первых 100 суток по закону Омори  $N \sim T^{-0,67}$ ;

- заниженное значение угла наклона графика повторяемости афтершоков по сравнению с фоновым значением для зоны юго-западного шельфа Сахалина;

- хорошее совпадение конфигурации облака афтершоков с конфигурацией линии побережья и трассы Западно-Сахалинского разлома.

Полученные результаты будут использованы для уточнения конфигурации и параметров сейсмичности зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений) в пределах южного сегмента Западно-Сахалинского разлома.

Невельская серия землетрясений явилась хорошей школой для сейсмологов, занимающихся изучением ближней зоны. Опыт организации и проведения эпицентральных наблюдений при этих землетрясениях

показал, что на базе имеющихся инструментальных средств могут быть получены материалы, достаточные для решения основных научных и прикладных сейсмологических и инженерных задач.

### 6.3. Косейсмические деформации земной поверхности в результате Невельского землетрясения 02 августа 2007 г.

В данном разделе использованы данные спутниковой радиоинтерферометрии, полученные с помощью японского спутника ALOS. Одномерное распределение косейсмических смещений земной поверхности (по направлению на спутник) было зафиксировано в узкой береговой зоне шириной менее 10 км и протяженностью около 30 км от пос. Лопатино до пос. Калинино. Зона деформирования согласуется с протяженностью облака афтершоков. Максимальные смещения островной суши (~ 12 см) наблюдались на севере и юге деформационной зоны. Недостатком одномерной картины является отсутствие реального представления о величинах вертикальных и горизонтальных косейсмических смещений земной поверхности.

*Тектоническое положение и механизмы очагов главного толчка и его сильных афтершоков.* Невельское землетрясение произошло в Татарском проливе и пространственно тяготеет к зоне Западно-Сахалинского глубинного разлома [Харахинов, Гальцев-Безюк, Терещенков, 1984] (рис.6.12). Кинематика этого разлома трактуется неоднозначно [Рождественский, 2008; Neogen strike-slip faulting..., 1994]. В рамках глобальной тектоники плит система главных субмеридиональных разломов Сахалина (Западно-Сахалинский, Центрально-Сахалинский и Северо-Сахалинский) различными авторами рассматривается в качестве границы между Евразийской и Североамериканской (Охотской) литосферными плитами [Зоненштайн, Савостин, 1979; Seno, Sakurai, Stein, 1996].

По данным непрерывных GPS наблюдений 1999–2006 гг. на IGS (International GPS Service) станции YSSK (г. Южно-Сахалинск) скорость схождения Североамериканской и Евразийской литосферных плит на юге острова составляет 7,5 мм/год. Направление движения совпадает с направлением сжог-

дения плит в глобальной геологической модели Земли NUVEL-1A.

Периодические GPS наблюдения на юге острова Сахалин показывают, что преобладающие деформации субширотного сжатия вследствие схождения литосферных плит реализуются в пределах островной суши со скоростью 4–5 мм/год. Такая обстановка характерна и для ближайшего шельфа острова. Очаг Невельского землетрясения находился в условиях субширотного близгоризонтального сжатия. Тип подвижки в очаге – взброс (по обеим субмеридионально ориентированным нодальным плоскостям) с пренебрежимо малой сдвиговой компонентой смещения [<http://www.globalcmt.org>]. По данным сети автономных цифровых сейсмических станций СФ ГС РАН распределение афтершоков первых суток с магнитудой  $M \geq 2,5$  по глубине указывает на западное падение плоскости сейсморазрыва под углом 45–50°. В течение первых суток после главного толчка развитие сейсмического процесса происходило в южном направлении, где последовательно произошли сильные афтершоки с магнитудами  $M_W = 5,8; 5,2; 5,4$  и схожими механизмами.

*Деформации земной поверхности по данным спутниковой радиоинтерферометрии.* В настоящее время метод спутниковой дифференциальной радиоинтерферометрии широко используется для изучения деформаций земной поверхности. В России метод впервые применен на Сахалине для определения косейсмических деформаций в результате Нефтегорского землетрясения 1995 г. [Deformation of the 1995..., 1998]. Деформации земной поверхности, связанные с Невельским землетрясением, получены японским спутником ALOS. Радарная съемка района исследований выполнена 28 июля и 23 августа 2007 г. Направление траектории

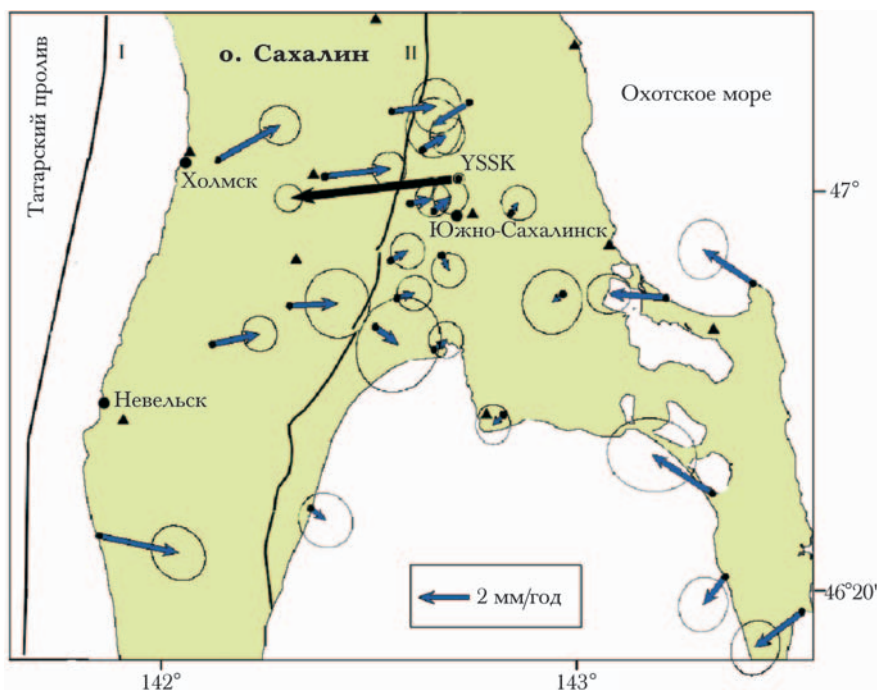


Рис. 6.12. Схема горизонтальных GPS скоростей юга Сахалина за период 1999–2005 гг. относительно станции YSSK (г.Южно-Сахалинск).

I – Западно-Сахалинский, II – Центрально-Сахалинский разломы. Скорость станции YSSK относительно Евразийской плиты за период 1996–2006 гг. изображена жирной стрелкой. Эллипсы ошибок скоростей соответствуют одной среднеквадратической ошибке. Автономные цифровые сейсмические станции СФ ГС РАН показаны треугольниками.

Fig. 6.12. Horizontal GPS velocities of the south of Sakhalin for the 1999–2005 years' period with respect to the YSSK station (Yuzhno-Sakhalinsk).

I – Western Sakhalin fault, II – Central-Sakhalin fault. Bold arrow shows migration velocity of the YSSK station with respect to the Eurasian plate for the 1996–2006 years' period. Velocity error ellipses correspond to one mean square error.

Self-contained digital seismic stations of Sakhalin Branch of Geophysical Survey RAS are shown by triangles.

спутника (азимут  $\sim 80^\circ$ ) показано на рис. 6.13. Угол наклона съемки к земной поверхности  $\sim 51^\circ$ . Обработка спутниковых данных выполнена с использованием пакета программного обеспечения SIGMA-SAR [Shimada, 1999]. Одномерная картина смещений земной поверхности по направлению на спутник представлена в виде цветной дифференциальной интерферограммы, один цикл которой соответствует 11,8 (11,765) см (рис. 6.13).

В районе исследований косейсмические смещения земной поверхности (по направлению на спутник) зафиксированы в полосе шириной менее 10 км и протяженностью около 30 км от пос. Лопатино до пос. Калинино. Зона деформирования согласуется с протяженностью облака афтершоков. В целом она разделяется на два протяженных симметрично деформированных участка с максимальными смещениями до 12 см в узкой береговой зоне и минимумом около 6 см в окрестностях п.Ловецкое. Локальный максимум (12 см) фиксируется к северо-востоку от пос. Лопатино. Локальные смещения бе-

рега (протяженностью менее 300 м) в окрестностях г.Невельск с амплитудой  $\sim 20$  см (рис. 6.13). Эти участки соответствуют районам аномального подъема скалистого бенча [Особенности тектонических деформаций..., 2007].

Небольшие неоднородности смещений земной поверхности субширотного направления, совпадающие с долинами рек, отмечаются в районах поселков Заветы Ильича (р. Сокольники), Ясноморский (р. Ясноморка), Ловецкое (р. Ловецкая). Эти неоднородности могут быть связаны с приповерхностными разломами, проходящими по долинам рек [Воейкова, Несмеянов, Серебрякова, 2007].

*Моделирование очага Невельского землетрясения.* Обратная задача построения дислокационной модели очага Невельского землетрясения решена методом инверсии косейсмических смещений земной поверхности по данным спутниковой радиоинтерферометрии с учетом сейсмологических данных. Моделирование очага выполнено конечным прямоугольным источником с однородным

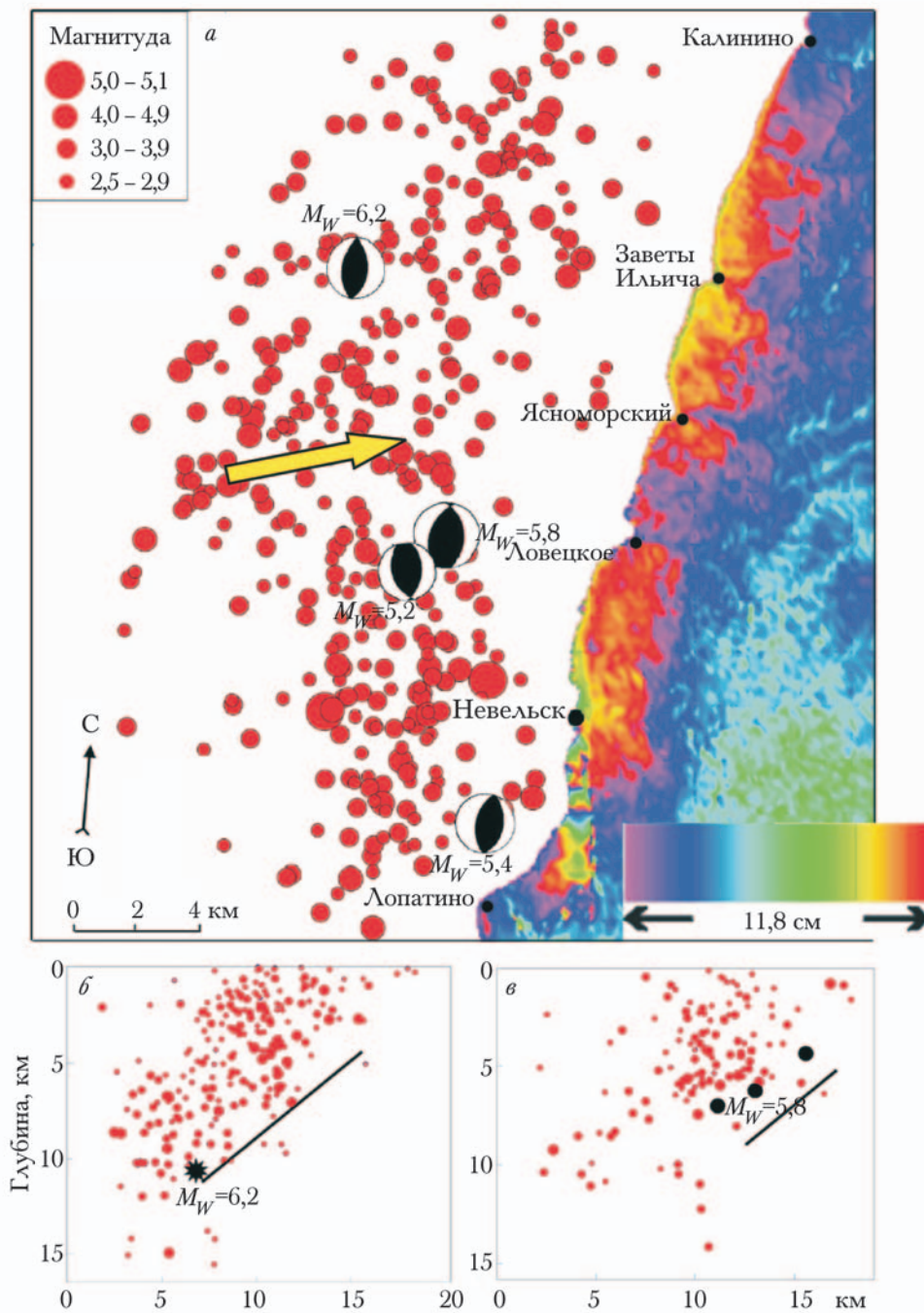


Рис. 6.13. Схема деформаций земной поверхности участка юго-западного побережья о-ва Сахалин по данным спутника ALOS.

*a* – стрелкой показана траектория спутника; изображены главный толчок Невельского землетрясения  $M_W = 6,2$  и афтершоки первых суток по данным сети автономных цифровых сейсмических станций СФ ГС РАН; механизмы очагов и магнитуды землетрясений приведены по данным [http://www.globalcmt.org]; *б* – поперечный разрез через облако афтершоков, зарегистрированных к северу от широты пос. Ловецкое, по линии, перпендикулярной модельной плоскости сейсморазрыва главного толчка; жирной линией показана проекция модельной плоскости; *в* – поперечный разрез через облако афтершоков, зарегистрированных к югу от широты пос. Ловецкое, по линии, перпендикулярной модельной плоскости сейсморазрыва сильных афтершоков; жирной линией показана проекция модельной плоскости.

Fig. 6.13. Diagram showing earth surface deformations for the given area in the south-western coast of Sakhalin based on the ALOS satellite data.

*a* – arrow shows the satellite's travel path; shown also are the main shock of the Nevelsk earthquake with  $M_W = 6,2$  and aftershocks during the first days following the earthquake based the data from the network of self-contained digital seismic stations of Sakhalin Branch of Geophysical Survey RAS; focal mechanisms and magnitudes are given based on the data of [http://www.globalcmt.org]; *б* – cross section through the aftershocks' cluster, recorded to the north of Lovetskoye village latitude, along the line normal to the model plane of the main shock's seismic fault; bold line represents projection of the model plane; *в* – cross section through the aftershocks' cluster, recorded to the south of Lovetskoye village latitude, along the line normal to the model plane of the main shock's seismic fault; bold line represents projection of the model plane.

смещением по разлому в упругом полупространстве [Okada, 1985]. Параметрами модельного разлома являются его геометрические размеры (протяженность по простиранию и ширина по падению), направление простирания и падения плоскости разлома, местоположение (координаты и глубина середины нижнего края плоскости разлома), величина максимального смещения (по простиранию и падению). Поиск оптимальной модели осуществлялся путем минимизации разностей деформаций земной поверхности по данным радиоинтерферометрии и модельных косейсмических вертикальных и горизонтальных смещений, спроецированных по направлению на спутник.

На начальном этапе, пренебрегая локальными неоднородностями деформирования, исследована возможность моделирования сейсмического события в целом единым взбросом по субмеридиональной плоскости, падающей на запад (по сейсмологическим данным). В этом случае описание картины деформирования береговой зоны возможно только подвижкой по плоскости, не выходящей на поверхность. Геометрические размеры плоскости можно оценить величинами  $25 \times 12$  км, а дислокацию взброса – 1,7 м. Такие модельные параметры соответствуют сейсмическому событию магнитудой  $M_W = 6,7$  при средней жесткости среды  $3 \times 10^{10}$  Па, что значительно превышает инструментально определенную магнитуду Невельского землетрясения  $M_W = 6,2$ .

В окрестностях пос. Ловецкое наблюдается локальный минимум, разделяющий зону деформирования на два протяженных участка (рис. 6.13). Северный участок пространственно тяготеет к главному толчку  $M_W = 6,2$ , в то время как южный сопоставим с сильным афтершоком  $M_W = 5,8$  и двумя толчками меньшей магнитуды. Поэтому моделирование деформаций островной суши выполнено двумя взбросами с подвижками по двум плоскостям сейсморазрывов западного падения, ориентированных параллельно простиранию зон максимального деформирования соответствующих участков ( $200^\circ$  и  $180^\circ$ ). В качестве фиксированного параметра дислокационных моделей принято отсутствие горизонтальной компоненты смеще-

ния по сейсморазрывам. Положение модельных плоскостей сейсморазрывов относительно гипоцентров главного толчка и сильных афтершоков варьировалось в пределах  $\pm 2$  км. Дополнительные ограничения наложенны на модельную магнитуду ( $\pm 0,2$ ), связывающую длину, ширину и дислокацию взброса (примечание 3 к табл. 6.1).

Наложенные при моделировании ограничения позволили построить оптимальные дислокационные модели главного толчка Невельского землетрясения и его сильных афтершоков (рис. 6.14), согласующиеся с данными спутниковой радиоинтерферометрии в пределах 1–2 см. Основные параметры дислокационных моделей приведены в табл. 6.1.

*Обсуждение результатов и выводы.* Моделирование очага Невельского землетрясения взбросом по одной плоскости сейсморазрыва приводит к неудовлетворительному решению. Модельные параметры такого решения соответствуют сейсмическому событию с магнитудой  $M_W = 6,7$ , значительно превышающей ее сейсмологическое определение.

Выявленные косейсмические деформации островной суши по данным спутниковой радиоинтерферометрии наилучшим образом описываются подвижками по двум плоскостям западного падения (взбросы), не вышедшими на поверхность (табл. 6.1, рис. 6.14). Углы падения модельных плоскостей более пологие и отличаются от сейсмологических решений на  $\sim 10^\circ$ . По широте модельные сейсморазрывы удалены друг от друга на расстояние 7 км.

Северный сейсморазрыв соответствует главному толчку  $M_W = 6,2$ . Нижний край модельной плоскости совпадает с его гипоцентром в пределах точности сейсмологического определения. Процесс вспарывания развивался снизу вверх под углом  $38^\circ$  с максимальной подвижкой по разрыву 1,25 м. В поперечном сечении северного участка эпицентральной зоны афтершоки расположены во взброшенном крыле и четко оконтуривают плоскость сейсморазрыва (рис. 6.13б). Определенные на основе дислокационной модели магнитуда  $M_W$  и момент  $M_0$  сопоставимы с их определением для главного толчка по сейсмологическим данным.

Развитие афтершокового процесса происходило в южном направлении, где в тече-

Таблица 6.1

**Основные параметры дислокационной модели очага  
Невельского землетрясения 2.08.2007 г. ( $M_W = 6,2$ ) и его сильных афтершоков**

Время, ч. мин сек.	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, км	Прости- рание, град.	Угол па- дения, град.	Длина, км	Ширина, км	Вертик. смеще- ние, см	$M_W$	$M_0, 10^{18}$ Н·м
Параметры дислокационной модели главного толчка из инверсии данных спутниковой радиоинтерферометрии (западное падение плоскости сейсморазрыва)										
	46,855	141,767	11,3	200	38	12	10,8	125	6,35	3,81
Параметры и решение механизма очага главного толчка (западное падение нодалной плоскости)										
02 37 39	46,829	141,756	10,6	184	48				6,2	2,35
Параметры дислокационной модели сильных афтершоков из инверсии данных спутниковой радиоинтерферометрии (западное падение плоскости сейсморазрыва)										
	46,705	141,798	9,0	180	40	7,0	6,2	90	5,94	0,91
Параметры и решения механизмов очагов сильных афтершоков (западное падение нодалных плоскостей)										
05 22 17	46,750	141,797	6,2	196	51				5,8	0,54
08 06 28	46,740	141,773	7,0	169	49				5,2	0,09
10 37 30	46,673	141,829	4,3	198	58				5,4	0,17

*Примечания:* 1. Координаты гипоцентров главного толчка и сильных афтершоков приведены по данным сети автономных цифровых сейсмических станций СФ ГС РАН; параметры механизмов очагов – по данным [<http://www.globalcmt.org>].

2. Координаты дислокационной модели отнесены к середине нижней кромки плоскости сейсморазрыва.

3. Для вычисления момента  $M_0$  и магнитуды  $M_W$  на основе параметров дислокационной модели использованы формулы:  $M_0 = \mu US$ ,  $M_W = (\lg M_0 / 1,5) - 10,7$ , где  $\mu = 3 \times 10^{10}$  Па – жесткость,  $S$  – площадь разлома,  $U$  – средняя дислокация по плоскости разлома.

ние первых суток последовательно произошли землетрясение  $M_W = 5,8$  и два толчка меньшей магнитуды. Эти афтершоки с севера и юга маркируют второй сейсморазрыв с плоскостью падения под углом  $40^\circ$  и максимальным смещением 0,9 м (рис. 6.13в, 6.14). Суммарный эффект этих афтершоков хорошо согласуется с модельными величинами магнитуды и момента (табл. 6.1).

Исходя из величины дислокации в очаге главного толчка Невельского землетрясения и скорости накопления деформаций субширотного сжатия по данным GPS наблюдений, период повторяемости подобных сейсмических событий для изучаемого района может составлять около 200 лет.

На основе построенных дислокационных моделей выполнен расчет вертикальных косейсмических смещений земной поверхности эпицентральной зоны Невельского землетрясения и горизонтальных смещений береговой суши. Схема косейсмических смещений приведена на рис. 6.14. Вертикальные смещения морского дна имеют два максимума разной

амплитуды. Северный максимум составляет 40 см. Именно в этом районе отмечены максимальные волны цунами высотой до 2–2,5 м и дальностью заплеска в устьях рек до 200 м [Особенности тектонических деформаций..., 2007]. На юге косейсмическое поднятие морского дна достигло 17 см.

Значимые косейсмические вертикальные и горизонтальные деформации островной суши проявились в полосе шириной 5 км и протяженностью около 30 км. Их максимумы приурочены к береговой зоне. В окрестностях пос. Заветы Ильича произошло поднятие берега на 20 см со смещением в восточном направлении на 12 см. В районе г. Невельск вертикальные смещения составили 15 см с горизонтальной подвижкой до 6 см.

Построенные модели не описывают локальную зону деформаций земной поверхности северо-восточнее пос. Лопатино. Ближайший к этой зоне афтершок  $M_W = 5,4$  не может дать подобной картины косейсмических смещений земной поверхности. По-видимому, деформирование этой зоны, как ре-



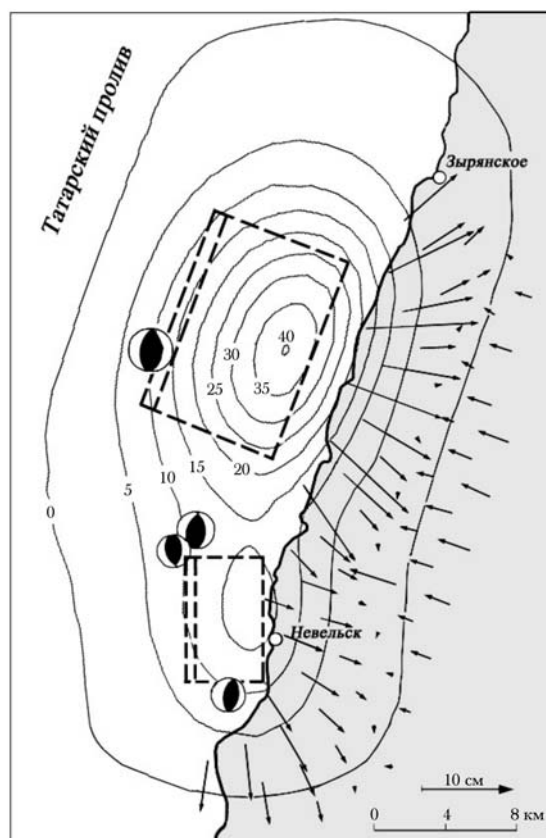


Рис. 6.14. Дислокационные модели очага главного толчка Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. и его сильных афтершоков и схема модельных косейсмических вертикальных смещений земной поверхности эпицентральной зоны и горизонтальных смещений береговой суши.

Оцифровка изолиний вертикальных смещений в сантиметрах. Пунктирными прямоугольниками показаны проекции модельных плоскостей сейсморазрывов. Нижний край плоскости отмечен двойной пунктирной линией.

Fig. 6.14. Dislocation models for the August 2, 2007 Nevsk earthquake's source and its strong aftershocks and a chart of the model coseismic vertical movements in the epicentral zone and horizontal movements of the coastal land masses.

Digitization of the isolines for the vertical movements in cm. Dashed rectangles show model projections of the seismic faults. The bottom edge of the plane is marked with a double dashed line.

зультат Невельского землетрясения, следует отнести к локальным проявлениям неоднородности среды и/или к постсейсмическим

подвижкам. К этим же эффектам может быть отнесен и аномальный подъем скалистого бенча в окрестностях г. Невельск.

#### 6.4. Параметры главного толчка и механизм очага по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений

Первое из Невельских землетрясений с  $M \geq 6,0$  произошло 2 августа 2007 года в 2 час 37 мин Гринвичского времени (в 13 час 37 мин местного). Его эпицентр находился в Татарском проливе:  $\varphi = 46,81^\circ$  с.ш.;  $\lambda = 141,83^\circ$  в.д. (рис. 6.15). Глубина гипоцентра составила  $h = 10 \pm 1$  км (табл. 6.2), магнитуда  $MLH = 6,3 \pm 0,5$

Определения основных параметров (табл. 6.2, 6.3) выполнялись с помощью комплекса программ MGR (магнитуда, глубина, положение эпицентра), являющегося базовым для Дальневосточного регионального

центра [Принципы формирования..., 1989]. Глубины очагов изучаемых землетрясений были определены по фазам, отраженным вблизи эпицентра, с использованием таблиц Л.Н. Поплавской для расстояний  $\Delta \approx 1-14^\circ$  [Поплавский, Куликов, Поплавская, 1988] и Н.В. Кондорской – для  $\Delta \geq 15^\circ$  [Сейсмологические таблицы, 1963].

По совокупности данных локальной, региональной и глобальной сетей удалось определить механизм очагов двух сильнейших ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений Невельской серии (рис. 6.16, табл. 6.4).

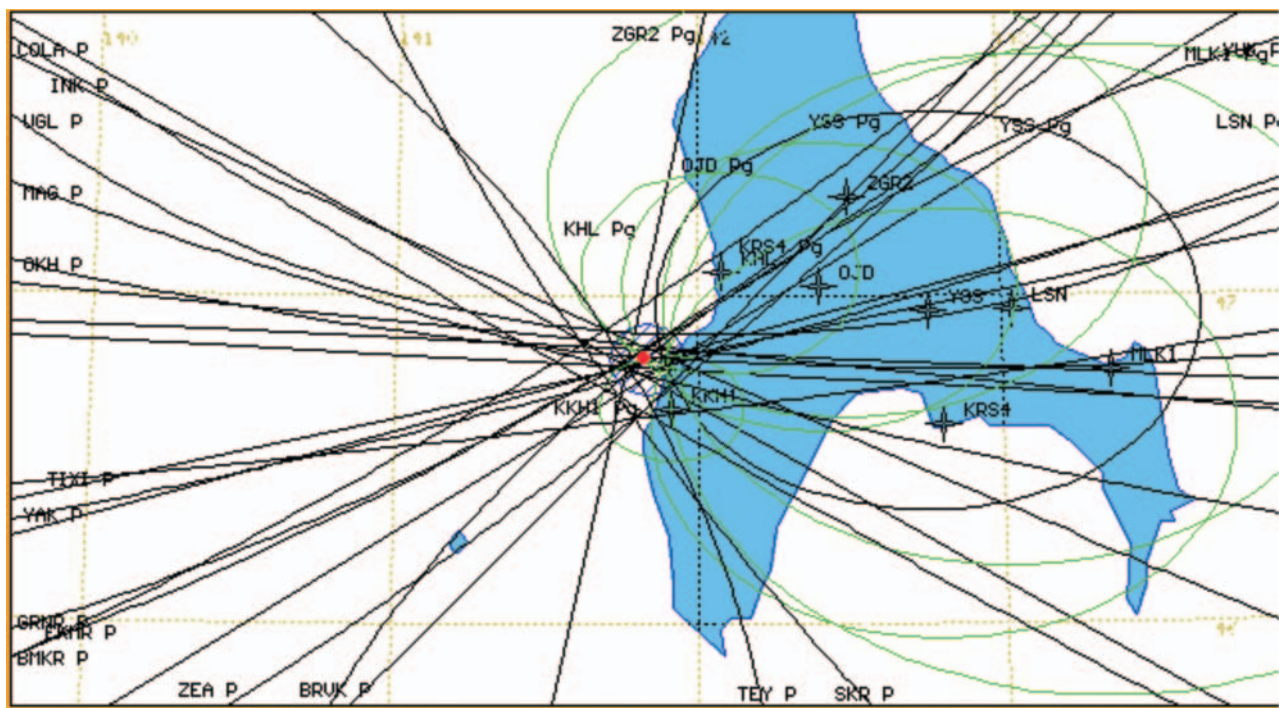


Рис. 6.15. Определение эпицентра Невельского землетрясения 02.08.2007 г. в 02:37-59.5 по совокупности наблюдений локальными, региональными и глобальными сетями сейсмических станций.

Fig. 6.15. Epicentral determination for the Nevelsk earthquake of August 2, 2007 to be at 02:37-59.5 using observational data from local, regional and global seismic stations' network.

Механизм очагов (рис. 6.16, табл. 6.4) обоих землетрясений определялся по методике [Поплавская, Нагорных, Рудик, 2001]. Для определения механизма очага Невельского землетрясения 2.08.2007 г. в 02:37-49.5 с  $h = 10$  км и  $M = 6,3$  использовались сведения о 34 знаках первых вступлений в волнах  $P$  и  $PG$ . Для уточнения решения использовались данные о знаках первых вступлений в волнах  $SV$  и  $SH$  как на записях дальневосточных сейсмических станций, так и станций, расположенных на сопредельных территориях (рис. 6.16).

Очаг землетрясения находился под воздействием близгоризонтально ориентированных субширотных напряжений сжатия ( $P$ ) и более крутых субмеридиональных ( $T$ ) растягивающих напряжений. Ось промежуточного напряжения близгоризонтальна и ориентирована субмеридионально.

Одна из возможных плоскостей разрыва (NP1 в табл. 6.4) имеет субмеридиональное простирание и сравнительно крутое падение на запад, при этом западное крыло разрыва сместилось вверх и на северо-восток. Тип движения по данной плоскости – взброс с

компонентами правостороннего сдвига. Другая возможная плоскость разрыва (NP2 в табл. 6.4) имеет северо-западное простирание с падением на северо-восток.

В результате действия описанной выше системы напряжений тип движения по данной плоскости – взброс с компонентами левостороннего сдвига.

Механизм очага Невельского землетрясения 2.08.2007 г. в 05:22-16.0 с  $h = 15$  км и  $M = 6,0$  определялся по данным о 38 знаках первых вступлений в волнах  $P$ ,  $PG$ . Для уточнения решения в соответствии с методикой [Поплавская, Нагорных, Рудик, 2001] были привлечены данные о знаках  $SV$ ,  $SH$  на ряде станций Дальнего Востока и сопредельных территорий (рис. 6.16).

Очаг землетрясения находился под преимущественным воздействием близгоризонтальных ориентированных субширотно сжимающих ( $P$ ) напряжений и крутых диагональных напряжений растяжений ( $T$ ). Ось промежуточного напряжения близгоризонтальна и ориентирована субмеридионально.

Таблица 6.2

**Определение глубины очагов  
Невельских землетрясений с  $M \geq 6,0$**

Станция, код	$\Delta$ , град	$i(e) - P$ , сек	$i(e) - S$ , сек	$HpP - P$ , км	$HsP - P$ , км	$HsS - S$ , км
2 августа 2007 г. $t_0 = 02 - 37 - 59,5$ ; $h = 10 \pm 1$						
YSS	0,7	5,4	4,3	12		11
HABR	4,9	3,0		9		
GRNR	5,3	3,3		10		
OKH	6,8		4,5			11
GRT	7,5	4,2		12		
PET	12,4	2,7		9		
MAG	13,8	2,7		9		
BILL	24,7	4,9			12	
TATO	27,2	3,7			9	
COLA	40,7	4,4			10	
DAV	42,1	4,4			10	
2 августа 2007г. $t_0 = 05 - 22 - 16,0$ ; $h = 15 \pm 3$						
YSS	0,8	5,6		13		
UGL	2,4	4,5		12		
TEY	3,9	4,5	7,7	12		19,5
TIV	4,2	5,6		17		
KUR	4,5	6,5			12	
GRN	5,3	4,6		10		

OKH	6,9	3,2 5,9			13	
GRT	7,4	4,3		12		
SKR	10,2	6,7	8,0		17	20
KROS	12,1	4,3		10		
PET	12,6	6,1			17	
MAG	13,9	4,6 9,6		14		22
INCN	14,5		4,7			12
YAK	16,7	3,7		12		
BILL	24,8	6,3			14	
TIXI	25,7	6,1			15	
TATO	27,1	5,2			12	
COLA	40,8	4,1 9,3		14		22
MOS	59,5		5,3			14

Как видим, поле напряжений в очаге этого землетрясения идентично главному толчку. Однако вдоль нодальных плоскостей отмечаются встречные относительно главного толчка подвижки: по субмеридиональной плоскости (NP2 в табл. 6.4) отмечается взброс с компонентой левостороннего сдвига; по второй альтернативной плоскости (NP1 в табл. 6.4) – взброс с компонентой правостороннего сдвига.

Таблица 6.3

**Основные параметры Невельских землетрясений 2007 г. с  $M \geq 6,0$**

№ п/п.	Дата			$T_0$			$\sigma T_0$	Координаты				$h$ , км	$\sigma$ , h	$M$
	д	мес	г	ч	м	с		$\varphi^\circ$ с.ш.	$\sigma\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ в.д.	$\sigma\lambda^\circ$			
1	02.08.2007			02	37	39,5	1,3	46,81	0,04	141,83	0,07	10	1	6,3
2	02.08.2007			05	22	16,0	0,9	46,72	0,11	141,71	0,07	15	3	6,0

Таблица 6.4

**Механизм очагов Невельских землетрясений  
2007 г. с  $M \geq 6,0$**

№ п/п*	Дата	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Дислокация
		$T$		$N$		$P$		NP1			NP2			
		$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$	
1	02.08.2007	62	153	27	351	8	257	190	58	122	320	44	49	взброс
2	02.08.2007	69	228	14	359	16	93	203	32	118	351	62	74	взброс

\* нумерация соответствует табл. 6.3.

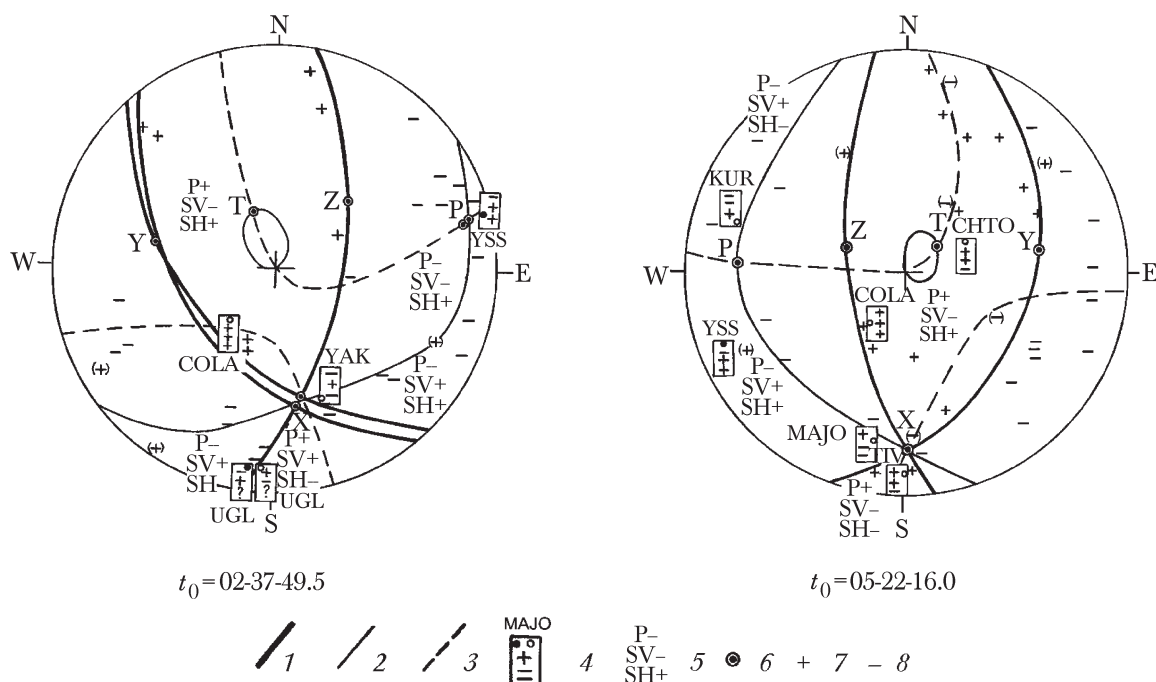


Рис. 6.16. Стереогаммы механизмов очагов Невельских землетрясений 2 августа 2007 г. с  $M \geq 6,0$  в верхней полусфере.

1–3 нодальные линии  $P = 0$ ,  $SV = 0$ ,  $SH = 0$ , соответственно; 4–5 – знаки первых смещений в волнах  $P$ ,  $SV$ ,  $SH$ : 4 – экспериментальные (пустой кружок соответствует волне, распространявшейся от очага вниз, зачерненный – волне, распространявшейся от очага вверх); 5 – теоретические; 6 – положение осей  $P$ ,  $T$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  для решений механизма, согласованных со знаками в  $P$ ,  $PG$ ,  $S$  и  $SG$ -волнах; 7–8 знаки первых смещений в волнах  $P$ ,  $PG$ ,  $pP$ .

Fig. 6.16. Stereogram of the Nevelsk earthquake of August 2, 2007 with  $M \geq 6,0$  in the upper hemisphere.

1–3 nodal lines  $P = 0$ ,  $SV = 0$ ,  $SH = 0$ , respectively; 4–5 – directions of the first displacements in the waves  $P$ ,  $SV$ ,  $SH$ : 4 – experimental (blank circle represents wave propagating downward from the focus, solid one represents wave propagating upwards from the focus); 5 – theoretical; 6 – position of the axes  $P$ ,  $T$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  used for mechanism determination and adjusted to the directions of displacements in the  $P$ ,  $PG$ ,  $S$  and  $SG$ -waves; 7–8 directions of the first displacements in the waves  $P$ ,  $PG$ ,  $pP$ .

## 6.5. Результаты обследования последствий землетрясения и его афтершоков

### 6.5.1. Макросейсмические проявления (в баллах) на юге о-ва Сахалин

Оперативное макросейсмическое обследование населенных пунктов, расположенных в эпицентральной зоне землетрясения, проводилось совместными силами сотрудников ИМГиГ ДВО РАН (Кайстренко В.М., Ломтев В.Л., Андреева М.Ю., Семенова Е.П., Шестакова О.М., Карташова О.Л., Королев Ю.П., Королев П.Ю.) и СФ ГС РАН (Коваленко Н.С., Урбан Н.А., Васильева В.И., Фокина Т.А.) [Макросейсмические проявления..., 2008].

Детальное макросейсмическое обследование населенных пунктов по маршрутам: Холмск, Яблочный, Пионеры, Костромское, Красноярское, Чехов; а также Холмск, Пятиречье, Чапланово, Бамбучки, Высокое – выполнили сотрудники ИМГиГ – Андреева М.Ю., Семенова Е.П., Карташова О.Л.

Остальные маршруты по южному Сахалину, как в ближней, так и в дальней зоне от очага, были спланированы Коваленко Н.С. и населенные пункты обследовались сотрудниками СФ ГС РАН.

Приведем график обследования в течение 10 дней, начиная с 3 августа 2007 г.

1 день (3 августа): Коваленко Н.С., Урбан Н.А., Васильева В.И. обследовали населенные пункты – Огоньки, Невельск, Шебунино, Горнозаводск, Лопатино. Кайстренко В.М., Ломтев В.Л., Андреева М., Карташова О., Семенова Е., Шестакова О.М. обследовали район Невельска.

2 день (4 августа): Урбан Н.А., Фокина Т.А. обследовали населенные пункты – Лопатино, Селезнево, Ясноморский, Заветы Ильича.

3 день (5 августа): Урбан Н.А., Фокина Т.А., Кайстренко В.М. (сотрудник ИМГиГ) выполнили замеры заплесков волн цунами и

обследовали населенные пункты – Ясноморский, Заветы Ильича, Калинино, Правда.

4 день (6 августа): Коваленко Н.С., Рунова А.И., Васильева В.И. обследовали населенные пункты – Кириллово, Рыбацкий стан, Таранай, Зеленодольск, Золоторыбное, Анива, Песчанское, Воскресеновка, Успенское, Троицкое.

5 день (7 августа): Васильева В.И., Гладырь Ж.В. обследовали населенные пункты – Новиково, Озерский, Пригородное, Корсаков, Береговой, Пихтовый.

6 день (8 августа): Пиневич М.В., Рунова А.И. обследовали населенные пункты – Быков, Углезаводск, Октябрьское, Ручьи, Сосновка, Покровка, Долинск, Синегорск, Тепловодское, Санаторный, Ключи.

7 день (10 августа): Васильева В.И., Пиневич М.В. обследовали населенные пункты – Христофоровка, Лиственничное, Тамбовка, Восточка, Чапаево, Лесное. Кайстренко В.М., Ломтев В.Л., Королев Ю.П., Королев П.Ю. продолжили обследование населенных пунктов – Невельск, Горнозаводск, Лопатино, Селезнево, Заречье.

8 день (13 августа): Васильева В.И., Пиневич М.В. обследовали населенные пункты – Хомутово, Мицулевка, Дачное, Соловьевка, Третья Падь, Вторая Падь, Первая Падь, Раздольное, Новый, Охотское, Мальково.

9 день (14 августа): Васильева В.И., Гладырь Ж.В. обследовали населенные пункты – Луговое, Новоалександровск, Березняки, Старорусское, Сокол, Такое, Стародубское, Советское, Фирсово, Взморье.

10 день (15 августа): Васильева В.И. обследовала населенные пункты – Новосибирское, Новоселово, Томари, Неводское, Пензенское, Ильинский, Арсентьевка, Тихая, Пугачево.

Большую помощь при обследовании последствий землетрясений оказали водители автомобилей – Белый А.А. (СФ ГС РАН) и Андреев А. А. (ИМГиГ ДВО РАН), которые работали без напарников.

Ниже представлены результаты обследования 83 населенных пунктов юга острова Сахалин [Макросейсмические проявления..., 2008]. В сжатой форме информация по всем пунктам приведена в табл. 6.6.

На юго-западном побережье о. Сахалин, в непосредственной близости от очагов землетрясений, макросейсмический эффект

был максимальным в трех пунктах: 1) *г. Невельск*, 2) *пос. Селезнево*, 3) *пос. Лопатино*. При обследовании территории г. Невельск «по горячим следам» неопенимую организационную помощь оказала администрация города и, в первую очередь, вице-мэр В.П. Мясников.

Полученные данные позволяют оценить распределение интенсивности сейсмических воздействий в зависимости от положения эпицентров землетрясений, характера грунтов и расположения построек в населенных пунктах. От первого, самого мощного землетрясения в 13 час 37 мин местного времени (02 ч 37 мин – по Гринвичу), наиболее сильно пострадал г. Невельск, а после толчка в 21 час 37 мин (10 ч 37 мин по Гринвичу) так же сильно пострадали поселки, расположенные южнее Невельска – Селезнево и Лопатино.

Группа сейсмологов проводила обследование объектов социально-бытового значения, пострадавших в результате землетрясений. Время при описании наблюдаемых явлений указывается местное.

В результате Невельских землетрясений самым эффективным явлением стало поднятие прибрежной части морского дна (восточного крыла Западно-Сахалинского разлома) на высоту порядка 0,7 м (фото 10, 11) на расстоянии 5–6 километров, начиная от северного конца мола, защищающего Невельский порт, и заканчивая несколькими километрами южнее границы г. Невельска (устье р. Казачка). Здесь и далее приводятся ссылки на фотографии, вынесенные в Приложение.

Лоцман порта Железов С.М. определил визуально подъем северного мола примерно на 1,5–2,0 м после главного толчка. Он же и другие лица сообщили, что в акватории порта также после главного толчка возникло сильное течение к северу, развернувшее корму крайнего (с юга) траулера, стоявшего вторым бортом, примерно на 45° к причалу (а в южной части города в районе устья р. Казачка течение воды было к югу, см. текст ниже). Возможно, максимальный подъем морского дна приходится на участок между центральной и южной частями города.

Несколько рыбаков, постоянно ловивших рыбу на центральном, поднятом после землетрясения, бенче, близ устья реки Казачки, сообщили, что прежние глубины здесь

были до 1 м вплоть до его внешнего, удаленного края. Кроме того, с его быстрым подъемом из воды (как подводной лодки), много рыбы не смогло уйти в море, и она стала легкой добычей. Так, кочегары из ближайшей к центральному бенчу котельной, набрали целых два мешка, а жители ближайших домов собирали рыбу ведрами. Бойко Федор Владимирович, ул. Казакевича, 66, владелец частного дома, разрушенного внутри землетрясением, считает, что при первом сильном землетрясении бенч сильно поднялся, а при последующих толчках бенч немного опускался; сообщил, что днем трясло очень сильно, примерно 30 секунд. Боялись оползня, был испуг. Жена, находившаяся в огороде, от толчка упала, был слышен сильный низкий гул, звенели провода. В колодце появился ил и вода была мутная примерно две недели. В старом доме 1956 года постройки – сильные разрушения, развалилась полностью печь и труба, упала часть потолка.

Опыт анализа современных сейсмодислокаций показывает, что корреляции с балльностью здесь крайне не надежны, и что параметры истинных сейсмодислокаций (область развития и амплитуда смещений по разрыву) гораздо надежнее коррелируют не с балльностью, а с магнитудой землетрясений ([Шебакин, 2003], стр. 93).

В марте 2008 г. сотрудниками ИМГиГ Семеновой Е.П. и Андреевой М.Ю. в Невельске были дополнительно получены сведения по макросейсмике: ул. Береговая, 28–33, 4-й этаж (5-этажный панельный дом), умеренные повреждения здания. Женщина испытала испуг. Стены ходили ходуном (направление стены – север-юг), на стене наблюдались горизонтальные трещины. «Зашевелился» телевизор. Посуда не падала, собака не боялась. После первого толчка (в 13:37) кинулась смотреть в окно, наблюдала течение вдоль берега с севера на юг. Пока выходили из дома – бенч уже поднялся. Боялись цунами, но поскольку волны продолжали биться о стенку волнолома, решили, что вода не отступила и цунами не будет. Нерпа лежала на камнях, во время толчков ныряла в воду.

Надточая Любовь Петровна (ул. Береговая, 52, второй этаж 2-этажного брусового дома) рассказала, что находилась дома, в

13:37 ощутила резкий толчок, дверной проем двигался вертикально, принял вид ромба с углом в 45 градусов, кирпичная труба под крышей разрушена, печь в железном коробе – внешних повреждений не имеет. Южная стена в квартире – трещина под углом в 45 градусов; западная стена – трещины строго горизонтальные и вертикальные; отошли дверные блоки и оконные проемы до 1 см; трясло непрерывно, около 30 с, люди стояли в дверных проемах. Вода начала уходить от берега, пока спустились из дома – появился бенч. Резко прекратилось движение, оголилось мелководье, как при глубоком отливе, потом вода хлынула на берег на 6–8 метров (следы капусты остались); выделился бенч.

Прибрежная полоса (около нескольких метров) поднялась на 1 метр, между ней и бенчем появился проливчик. Собака и кот во время землетрясения прятались. В 16:22 находилась в квартире, трясло без определенного направления, не устояла на ногах – упала, все в квартире скрипело, трясло чаще и сильнее.

На улице сбивало с ног, сильные раскачивания, держались друг за друга. В 21:03 находились на улице, перед толчком стояла тишина, даже трава не двигалась, птицы не летали (вороны улетели в сопки), мухи не летали, листья хмеля перед толчком дрожали, дом качался в направлении юг-север, толчок резко оборвался.

Во время толчка земля ходила ходуном, было очень страшно, все схватились за пеньки, и стояли на четвереньках. Сын (26 лет) после землетрясения увидел в стороне Горнозаводска (к югу от г. Невельск) синеватый столб света. Все слышали гул из-под земли. Небо накануне дня землетрясения было необычно: облака принимали странные формы и образовывали купол и «давили», закат стал малинового цвета. После землетрясения зрительно увеличился о. Монерон.

Появилось ощущение, что порт стал по уровню расположения ниже. Пузырьки газа из-под земли в воде и на береговой линии выходили долго после землетрясения. Все время не хватало воздуха, сохранялась высокая влажность, на 4–5 день прошла гроза, у приятельницы с утра 2 августа болела голова, закладывало уши, как в самолете (после 180/110, до 150/110), у мужа приятельницы

утром давило грудь, хоть и принимал лекарство (валокордин).

Максимальные повреждения зданий и сооружений в Невельске отмечены в его южной и центральной частях. Особенно пострадала прибрежная (портовая) часть города, где по данным вице-мэра Виктора Павловича Мясникова все сооружения построены на отсыпном, разнородном по составу грунте, местами, избыточно обводненном протечками в системах канализации, ливневого стока и городского водопровода. На расстоянии более 300 м на причалах №№ 4–9 образовался провал в бетонном покрытии шириной до 4 м и глубиной 0,5–0,8 м, точно соответствующий полосе песчаной отсыпки между старым и новым причалами (пирсами), сложенных крупными бетонными блоками (фото 12).

Отмечено также спокойное истечение многочисленных струй газа, вероятно метана, со дна акватории порта (фото 13), которое наблюдалось вдоль пирсов №№ 4–9 при видимой ширине газопроявления до 50 м, (подобное наблюдалось также после Горнозаводского землетрясения в августе 2006 г.). Местами метан выделялся на северной окраине центрального бенча, а также в устье реки Ясноморки.

Во время второго сильного толчка в механическом цехе с западной стороны здания вывалилась верхняя часть торцевой шлакоблочной стены (фото 14), однако, Николай Николаевич Лагун утверждает, что она была разрушена уже днем около 15 часов.

Перед зданиями множественные трещины и проседания грунта. И проседания, и трещины образовались при первом толчке, увеличиваясь при последующих толчках.

Соскочила (в северном направлении) с основания часть бетонной стены между причалами, наклонилась часть бетонной ограды порта, в некоторых местах упал бетонный забор (в одном месте завалились несколько секций на восток, а в другом – на запад, придавив пару автомобилей). Отошли торцевые шлакоблочные стены (с северной стороны) двух аналогичных построек: механического цеха и, примерно в 15 метрах к северу от него, электроцеха ОАО Базы технического обслуживания (фото 15).

По словам директора ОАО Кумичева Юрия Владимировича, оба цеха построены в 1968–69 гг.

Судно «Торнадо», находясь у причала, подпрыгивало при всех сильных последующих толчках и потом «колебалось». Вечерний толчок в 21:37 вывел из строя телевизор.

На причале № 8 рассыпалась часть шлакоблочной ограды, сквозь которую видны руины полностью развалившегося шлакоблочного цеха сетеповшива (фото 16). Сильно просел причал, разошлись бетонные плиты, часть которых лопнула. Повреждено двухэтажное шлакоблочное здание водолазной станции: в стенах трещины, часть штукатурки отвалилась, полностью разрушен бак на крыше здания.

Пострадало здание портнадзора (шлакоблочный трехэтажный дом), наблюдалось много трещин, с восточной стороны здания отвалилась штукатурка на внутренних и внешних стенах; на несколько сантиметров отошла северная стена; отмечены разрушения здания с западной стороны, частичное обрушение углов здания; произошло обрушение части грузового балкона, козырьков и кровли над ним, разрушение кровли и шахт лифта (фото 17).

Проходная на причале №4 – одноэтажное шлакоблочное здание: с потолка полностью осыпалась штукатурка вместе с дранкой, восточная стена отошла от здания сверху на 10 см, на западной стене образовалась трещина по периметру, с северной стороны выпала штукатурка; рядом со зданием просел асфальт. После первого толчка возле бассейна в земле образовалась трещина шириной 2 см, в самом бассейне поднялось дно и вода ушла до уровня его поднятия, три секции железобетонного забора упали на запад и придавили два автомобиля. По словам вахтера этой проходной Кузьминой Т.В. при первом толчке в 13:37 она с трудом удержалась на ногах, в течение примерно двух минут пришлось стоять, держась за ворота. В течение дня толчков было много, резких, но кратких. Вечером, уже начало темнеть (в 21:37), толчками примерно такой же силы швырнуло на напарника. Рядом с проходной частично разрушилась и завалилась шлакоблочная стена, завалился (на запад) шлакоблочный «пристеночек» при входе в ресторан.

Здание холодильника построено в 1956 г. Опускание фундамента произошло еще весной 2007 г от подмыва грунта со стороны третьего причала, во время землетрясения обрушилась стена с западной стороны и провалилась крыша. В холодильнике был слит аммиак, что предотвратило серьезную катастрофу.

По словам зам. капитана порта Москаленко В.В. недалеко от офиса капитана порта (harbor master) во время всех трех сильных землетрясений 2 августа на территории порта, рядом с гаражом, били водяные фонтаны высотой 1,5–1,8 м. Вода изливалась непрерывной струей в моменты сильных сотрясений и изливание прекращалось вместе с их окончанием. Шевченко А.Е., сотрудник вневедомственной охраны, также наблюдал это явление.

В центральной части города значительно пострадали шлакоблочные здания: дом культуры (фото 18), где под вывалившимися шлакоблоками фронтона погибла женщина (шлакоблоки вывалились с восточной стороны здания); пятиэтажное шлакоблочное общежитие «Бригантина», ул. Рыбацкая, 8-а, построено в конце 70-х – начале 80-х годов, два нижних этажа использовались под офисы ГАИ, нотариуса, стоматологии.

Сильные разрушения внутри, особенно на пятом этаже, где полностью разрушен и упал козырек, образовав вывал блоков перед домом с восточной стороны здания (фото 19).

Просело потолочное перекрытие и вывалилась часть оконных рам, в торцевой стене образовалась сквозная трещина, в коридорах – трещины в потолке и стенах, выпадение части штукатурки. Рядом в шлакоблочном здании гаража 80-х годов постройки лопнула и отошла торцевая стена, разрушен угол (северной и западной стен) шлакоблочного гаража через дорогу напротив въезда на причал № 8.

Сильно поврежден 4-х этажный крупноблочный жилой дом 109 по ул. Рыбацкой: сквозные трещины в стенах между блоками, отошла северная стена, обвалились некоторые балконы (фото 20) на восточной и северной стенах, обвалились почти все лестничные пролеты в северном подъезде (фото 21).

Значительно пострадала крыша поликлиники по ул. Ленина, 27, местами отвалилась штукатурка на внешних стенах. Старое шлакоблочное здание по ул. Ленина, 52 в результате землетрясения оказалось расколото трещинами на части.

Обратило на себя внимание массовое разрушение кирпичных печных труб, образовавших на тротуарах высыпание кирпичного лома – жертв избежали чудом.

Примерно так же обстояли дела и на Курильских островах в 1994 году. Тогда защитой от «кирпичного» дождя было ночное время. По нашему мнению, следует запретить сооружение труб из кирпича в сейсмоопасных районах.

Бочкарева Л.А. проживает по ул. Советская, 2, на 2-ом этаже; дому примерно 25 лет, после землетрясений в квартире осыпалась известка и штукатурка, упали банки, посуда и цветы, упал телевизор, раскрылись дверцы шкафов и содержимое частично вывалилось и побилось. На лестничной площадке в доме – сеть трещин. Внучка была испугана первым же землетрясением, дрожала и до вечера перестала говорить.

Красюк Г.Я. проживает в том же доме на третьем этаже – с трудом удерживаясь на ногах, пытался удержать заваливающиеся секции мебельной стенки, удержал две, одна упала. Упала металлическая дверь, прислоненная к стене. Характер разрушений аналогичен предыдущим квартирам.

Интересное наблюдение Афанасьевой Л.А., которая ехала в такси в направлении на юг: в 13:37 машину как бы подбросило, а затем ее дернуло вбок и наклонило на левую сторону (на восток), правые колеса повисли в воздухе. Правую сторону машины подняло на 20–30 градусов, в таком положении машина находилась до тех пор, пока водитель не остановился, после чего машина опустилась на все четыре колеса. Как показалось, все это длилось целую минуту.

Сильно пострадало здание ПТУ №12, стены разрушены X-образными трещинами.

На площадке перед памятником, погибшим рыбакам, расширились старые трещины и образовались новые, верхняя часть памятника упала, постамент повернуло (фото 22).



Постамент памятника состоит из трех блоков, имеющих квадратное сечение со стороной 155 см, установленных на фундаменте. Первый снизу блок повернуло примерно на  $7^\circ$  по часовой стрелке, если смотреть сверху вниз, относительно фундамента. Его центр сдвинулся при этом примерно на 1,5 см. Второй повернулся вместе с первым как монолит. Третий также повернут относительно второго примерно на  $1,1^\circ$  со смещением центра 0,7 см в том же направлении.

На часовне, стоящей чуть ниже по горному склону относительно памятника погибшим рыбакам, крест немного свернут и слегка наклонен на восток.

Сильно пострадало стоящее недалеко от памятника одноэтажное шлакоблочное здание очистных фильтров и хлораторной питьевой воды: трещины и провалы в стенах; вывалилась оконная рама в западной торцевой стене, которая отошла от здания.

В западном направлении выплеснулась часть хлорки из ванной, откуда она поступает потом в подземные бассейны. Сами подземные хлораторные бассейны, проходы и колодцы, построенные еще японцами, не пострадали. Только в одном месте стыковки двух секций прохода одна повернулась и приподнялась относительно другой на 10–25 см.

В южной части города по ул. Береговая (район устья р. Казачка) пострадали не только шлакоблочные здания, но и деревянные двухэтажные дома старой постройки, повсеместно отмечено падение дымовых труб. Внутри квартир произошел перекосяк дверных проемов, осыпание крупных кусков штукатурки, провисание потолков и падение тяжелых предметов мебели.

Был поврежден автомобильный мост через р. Казачка – полотно моста поднялось на несколько см (или с двух сторон просело дорожное полотно, примыкающее к мосту); южнее моста, в грунтах и асфальте обнаружены трещины шириной 2–4 см, а чуть дальше этого места произошло вспучивание асфальта в виде «лежачего полицейского».

Более сотни домов повреждены. Люди, испуганные сильными колебаниями, с трудом выбегали на улицу, некоторые из них падали, многие чувствовали головокружение, тошноту, недомогание. Жители боялись ходить в домах, оставались на улице в те-

чение трех дней, некоторые из них уезжали на дачи или к своим знакомым в других поселках.

Жители города перед землетрясением слышали гул в течение 5–7 с, рокот как бы нарастал, затем качало с севера на юг. Особого поведения животных перед землетрясением в Невельске не отмечено, возможно, это связано с испугом и концентрацией внимания на других проблемах.

По информации главного врача ЦРБ, всего пострадавших – 28 человек, четверо были с тяжелыми травмами, под обломками здания погиб один человек.

В северной части города (район отсыпки) жилые дома построены, в основном, из бетонных блоков и пострадали они значительно меньше, чем такие же и шлакоблочные здания в центральной и южной частях города Невельска.

В пятиэтажном доме, вытянутом в направлении восток-запад, в квартирах образовались неширокие (до нескольких мм) трещины на стыке стен и потолочных перекрытий, в подъездах по углам здания, на стыке блоков и в штукатурке, снаружи отвалились кое-где приступки к дому, других значительных нарушений не обнаружено.

Здесь, в основном, перекосяло дверные проемы (с трудом открывались двери), падала мебель (начиная со второго этажа и выше), падала и разбивалась посуда.

В одной из квартир на втором этаже с западной стены упал электротитан, присоединенный к системе водоснабжения гибкими шлангами, в кухне со стены сорвался и упал шкаф с посудой.

Северная часть города, дом на отсыпке, 5-й этаж, в 13:37 дом ходил ходуном в направлении запад-восток; в комнате цветов стоял на окне, обнаружили в углу комнаты; холодильник развернуло и сдвинуло на север. После землетрясения продолжал сыпаться песок из трещин стеновых панелей. В доме № 8 имеются единичные разрывы труб (записано со слов). Несколько дней не заходили в дом, сидели на земле, все дни ощущали дрожание земли. Перед толчком стоял гул. В городе сильно пахло аммиаком, запах появился за неделю до события (по словам очевидца). Кошка пряталась при толчках, выгнали из дома на второй день, в сосед-

нем детском саде хомяк метался по клетке. Отсыпку начали делать с 1974 года и закончили в 1980 году, возили глину с галькой, грунт с карьеров, на отсыпке растет только трава, деревья не приживаются. Накануне землетрясения не стало ворон, вернулись через 2 недели. Некоторые жители считали, что толчок в 21:37 был более сильным (ул. Победы).

В эпицентральной зоне к югу от г. Невельска, вплоть до пос. Лопатино, на крутых прибрежных склонах наблюдались отрывы дерна и его сползание, трещины в грунте на ж/д. насыпи. В пос. Селезнево, у дороги под сопкой, обследован деревянный дом, внутри полностью развалилась печь, упала мебель.

На крутом склоне произошел оползень дерна с песком, кустарником и камнями (фото 23), источник воды перестал существовать (ушел из-под сопки). Упала металлическая труба от печки на летней кухне (была расположена горизонтально), на дачах такие трубы не падали (но они располагались вертикально).

Другой деревянный дом, в котором находились 6 человек, качался, но уцелел, повреждений было немного, упала печная труба. На огороде образовались глубокие трещины шириной до 7 см.

В другой части поселка женщина находилась на огороде в момент землетрясения, слышала сильный низкий гул, надвигавшийся как бы издали, с трудом удерживалась на ногах, держась за куст, испытала чувство страха, в итоге – подскочило давление (является гипертоником).

Весьма значительно пострадал пос. Лопатино; здесь отмечено повреждение домов, автомобильной дороги, автодорожных сооружений в виде моста через р. Амурская и виадука через железную дорогу, железнодорожного моста.

По ул. Набережная, 25 разрушено два дома (засыпной и шлакоблочный); спасло людей то, что находились на улице; во дворе из земли выдавило световой столб и он упал рядом с домом. По этой же улице (вдоль ж/д. насыпи) разрушены семь шлакоблочных и шлакозаливных домов, три дома разрушены полностью, у четырех развалились восточные и западные стены (фото 24), а вот кирпичные трубы на этих домах уцелели.

В глубине распадка пострадал деревянный дом – лопнул фундамент, отвалилась штукатурка с внешней стороны, просела крыша. Поскольку большинство домов в поселке являются дачными, то и постройки здесь, в основном, легкие деревянные – они не разрушились; печные трубы выполнены из металла – такие трубы не упали, а кирпичные трубы на двухэтажном доме рассыпались.

Автомобильный мост через р. Амурскую деформировался – пролетное строение было сброшено с бетонных подушек, северо-восточный конец пролета просел на 10 см, а юго-западный – на 7 см. Пролет моста сдвинулся на юго-восток с небольшим поворотом по часовой стрелке, о чем свидетельствуют разные амплитуды смещения бордюрного камня – 45 см на северо-восточном краю моста (фото 25, 26) и 20 см на юго-западном.

Все это сопровождалось разрушением облицовки откоса из бетонных плит (фото 27). Рядом с автомобильным мостом находится мост железнодорожный, характер его повреждений другой. На южном берегу реки, у примыкания железобетонного пролета к насыпи, произошло оседание грунта и отмечено разрушение облицовки откоса из бетонных плит. Судя по характеру трещин в бетонном блоке, к которому примыкает стальной пролет моста, центральный пролет в ходе землетрясения сместился на юго-запад и ударился о бетонный блок.

На северном берегу реки, от автомобильного моста к автобусной остановке, которая разрушилась от землетрясений (фото 28), тянется трещина длиной 150–170 м, шириной 7–15 см, глубиной 40–45 см (фото 29), параллельно (со стороны моря) тянутся еще две трещины в грунте, одна из них просела на 7 см (опустилось «морское крыло»).

Продольные трещины обнаружены и в асфальтовом покрытии дорожного полотна.

На южном берегу реки, на некотором расстоянии от моста, пролегла поперечная трещина шириной 3–5 см и глубиной 30–45 см, которая продолжается по обе стороны от дороги – к морю и в сторону ж/д. насыпи (см. ниже фото 31).

К востоку от железной дороги, в сторону распадка, тоже обнаружена трещина в грунте длиной порядка 20 м, шириной 7–12 см,

одна сторона трещины просела на 15 см (фото 30).

На расстоянии 400 м (от ж/д. моста до виадука) приподняло на 5 см юго-восточную сторону железнодорожного полотна и на столько же сдвинуло его на северо-запад, трещины в грунте дополнительно ослабили полотно, вызвав провисание шпал.

На 40–50 см просело автодорожное полотно, примыкающее к виадуку с западной стороны, бетонные плиты опустились и автомашины не могли проехать, с восточной стороны на стыке дороги и виадука произошло вспучивание дорожного полотна.

Интересные наблюдения были получены от Раджаба Омарова, который содержит шашлычную на берегу моря (фото 31): в 13 час 37 мин трясло очень сильно, открылся холодильник, и оттуда вывалилось почти все. Землетрясение в 16:22 ощущалось намного сильнее. Машина подпрыгивала на колесах. Мангал свалило, с силой ударив о стену (осталась вмятина). Обмер мангала позволил оценить минимальное ускорение (расчеты выполнены В.М. Кайстренко), способное его опрокинуть – оно оказалось около 0,2 g в сторону от моря (на юго-восток). Возможно, реальное пиковое ускорение было больше, так как мангал не только упал, но с силой врезался в стену шашлычной. Вечерний толчок был резким и сильным, наблюдатели сидели в машине, которую трясло. Поскольку колебания почвы были сильными, люди поднялись на сопку, на случай появления цунами.

Женщина (строитель по специальности) на Сахалин приехала из Киргизии, о землетрясениях знает не понаслышке, живет на даче под сопкой (в восточной части поселка), рассказала, что днем на ногах было трудно устоять. Но вечерний толчок в 21:37 был сильнее, так как печь на бетонном основании вывернуло из земли и развернуло, в доме упали все вещи и даже трехкамерный холодильник, сама она выскочила на улицу, на ногах было невозможно стоять, цеплялась за кусты, чтобы не упасть.

На кладбище (находится на горе) обнаружено небольшое смещение надгробных плит и памятников. Дальше (вглубь распадка), на склоне этой же сопки обнаружены два оползня. Очевидцы, живущие рядом в

дачном домике, рассказали, что при первом землетрясении деревья на склоне упали, а вечерним землетрясением в 21:37 их сорвало вниз по склону и образовалось два оползня размерами примерно  $10 \times 20 \text{ м}^2$  (фото 32).

Ручей, который бежал под сопкой, изменил русло, сдвинувшись в сторону склона на 1–2 м. В пос. Лопатино, как и в пос. Селезнево, сильные сотрясения наблюдались днем в 13:37, падали печные трубы, мебель (на холодильник упал сервант), люди пугались и выбегали из домов, на ногах было трудно устоять, но вечерний толчок в 21:37 был резкий и ощущался здесь как самый сильный. В результате этого землетрясения произошло разрушение домов, образование оползней и трещин в грунтах и, возможно, повреждение дорог и мостов. Следует отметить, что указанные повреждения могли быть подготовлены первым сильным и последующими толчками.

*4) пос. Заречье – 7 баллов.*

Афанасьева Л.К. живет в г. Невельске, в 16:00 уехала на дачу в Заречье, вместе с сестрой находились в дачном домике во время землетрясения в 21:37, после толчка решили быстро покинуть дом, едва успели выйти, как проемы перекосило и дверь заклинило; отвалилась гардина со шторами, трещали окна (стекла), телевизор упал на пол, в кухне сильные разрушения, упала печная труба. Потом были сильные, хотя и не такие как днем, толчки после полуночи. Ночью в 3–4 часа послышался гул со стороны Невельска, и вслед за ним – сильный толчок. При Монеронском землетрясении сотрясения были слабее.

Николай Прокопьевич Груднев, ул. Рабочая, 11, рассказал, что при первом землетрясении находился дома, в печи образовались трещины, посуда выпала из серванта в сторону от моря (на восток). Телевизор, стоявший у восточной стенки, не упал. Вечерний толчок – самый сильный. Собаки выли перед первым и вечерним. Во всех колодцах пошла грязь, но уровень воды остался, примерно, прежним.

Порт-ковш ООО «Мыс Кузнецова», японской постройки 1928 года. Николай Данченко рассказал, что в 13:37 сидели в столовой, ощутили сильные колебания, вышли на улицу и наблюдали цунами (несколько

волн); на шхуне, находящейся в море недалеко от берега, команда была обеспокоена, видимо, «моретрясением» и по радиации спрашивала что делать (речь шла о возвращении в порт). Вечером, в 21:37, землетрясение ощущалось очень сильно, за водой уже не следили, перепугавшись, выскочили из домика.

5) пос. Горнозаводск – 7 баллов.

Деревянные одноэтажные дома (старые), пять домов и везде разрушены кирпичные трубы, упавшая труба проломила потолок в одном деревянном доме (фото 33), почти во всех домах упала и разбилась посуда; на улице – по картофельным рядам прошли волны. По описаниям очевидцев: в 13:37 тряхнуло сильно, но «терпимо», как в августе 2006 года; в 16:22 – аналогично дневному толчку (потолок провис); в 21:37 упали трубы, посуда разбилась, штукатурка кусками падала; от вечернего толчка все и случилось – самый сильный толчок. Женщина вечером видела, как образовалась осыпь (за свалкой) щебень и камни летели прямо на машину, сильнее, чем в августе 2006 года; у всех упали трубы, хотя до этого печи топились (готовили еду), т.к. после первого землетрясения не было электроэнергии из-за аварии на подстанции. Далее стоят многоэтажные дома. В 13:37 на третьем этаже в ванной упали легкие предметы, а вечером трясло сильнее – на 4-ом этаже все упало: титан, мебель, телевизор, люстра (дом 4-х этажный, под сошкой); вечерний толчок в 21:37 в частном доме ощущался сильнее чем в 2006 году – открывались и закрывались межкомнатные двери, образовались щели в стенах. В квартире на 2-ом этаже отвалилась люстра (висела на одном проводе), упали горшки с цветами, в шкафах везде открылись дверцы. На первом этаже двухэтажного дома (дом построен из небольших панелей) упала мебельная стенка (3 секции), в подъезде образовались щели в палец толщиной (на стыках панелей) – район «Черемушек».

В магазине (шлакоблочный одноэтажный дом) днем (в 13:37) рухнула одна витрина, а вечером (в 21:37) рухнула вторая витрина, снаружи здания обнаружены небольшие трещины и осыпание побелки. Первый толчок длительный, раскачивало 15–20 с, от толчка упала женщина, остальные люди держались друг за друга, чтобы не упасть. В 13:37 на 3 этаже – люстра сильно раскачива-

лась (амплитуда до 1 м), все ходило ходило. Вечерний толчок (в 21:37) был резким и мебель рухнула; на первом этаже – упала гладильная доска, раскачивало более длительно, чем при втором толчке (в 16:22), в 16:22 на улице ощущалось раскачивание почвы.

В 21:37 гудели провода, открылись все двери (входные), в кладовке упали тазы, с холодильника падали вазы с цветами, с полок падали различные предметы. Многие испугались. На 3-ем этаже – трещина между стеной и перекрытием. На 4-ом этаже падали мебельные стенки, открывались форточки, двери, люди испытывали головокружение, колебания с севера на юг; было повреждено ограждение некоторых балконов. Многие жители назвали вечерний толчок самым сильным. Люди с трудом удерживались на ногах, некоторые падали.

Перед землетрясением (13:37) залаяли собаки и сильно замычали коровы. Наблюдатели ночевали на сопке (ушли из дома): примерно в 4 часа утра (3 августа) было тихо, а потом начало бушевать море и наблюдалось свечение над морем, перемещающееся с юга на север, затем довольно быстро все затихло.

Ошанина Нина Захаровна, жительница пос. Калинино сообщила, что, по словам ее сестры, живущей в Горнозаводске, первый толчок в прошлом году чувствовался сильнее, чем первый толчок 2 августа 2007 г.

Евсеева Марина Николаевна, ул. Школьная, 1, отметила, что толчков было много, они пугали. Самый сильный – поздно вечером (в 21:37), дом «подпрыгнул», людей прямо-таки «валяло», собаки натягивали цепи, стараясь подальше убежать от дома, разрушены печные трубы.

Буланова Любовь Павловна, кондуктор автобуса Невельского АТП, рассказала, что автобус ЛАЗ стоял в Горнозаводске перпендикулярно берегу моря. В 13:37 при землетрясении началась сильная боковая качка автобуса, и испуганные пассажиры выскочили из него.

6) ж/д. ст. Ловецкая. – 6–7 баллов.

На выезде из долины к морю стоят двухэтажные деревянные дома, но один дом ветхий, там только в одной квартире живут, на этом доме упали все 4 трубы (на них даже глины не видно, могли упасть и от старости).

Рядом дом – труба давно разрушается и осыпается (не ремонтируют), с нее упали более крупные обломки кирпичей. Рядом еще один деревянный дом (одноэтажный) – половина дома разрушается (там не живут) и трубы здесь упали, а в другой половине живут и трубы там целые. Под северной сопкой стоит двухэтажный деревянный дом – все трубы целы; рядом одноэтажные шлакоблочные здания – не видно никаких разрушений. В домах слышали гул. На улице висел телефонный кабель, его порвало. Ул. Колхозная, 6 – в колодце вода стала мутная.

Трехэтажный частный коттедж совсем не пострадал. Летний бревенчатый домик рядом с коттеджем также не пострадал. В нем, а также на территории в палатках разместились «беженцы». Также не пострадал бетонный гараж и бассейн.

Буровая Холмск-Нефтегаз в 4 км от моря (от Ловецкой), информаторы: Прохоров Сергей Владимирович и Криган Станислав Георгиевич.

За полтора часа до первого землетрясения пес Рекс выл, это было необычно. При первом же землетрясении вышку высотой 54 м сильно качало в направлении запад-восток. Толчков ощущали много. Наиболее сильные сотрясения были в 19:25, с той же ориентацией качаний вышки. Боялись за цистерну с горючим, которую тоже раскачивало, несмотря на растяжки (автоматика отключает электросеть при толчках). Утром 3 августа ощущались толчки в 3:43 и 4:45.

*7) пос. Колхозное – 6–7 баллов.*

Записано со слов начальника ПГО СФ ГС РАН Михайлова В.И., снимавшего информацию с сейсмической станции. В шлакоблочных двухэтажных домах трещины 2–3 см, отмечено выпадение стекол из перекошенных рам. (Другой информации нет, т.к. опрос жителей не проводился).

*8) пос. Заветы Ильича – 6 баллов.*

Быстрова Марина Васильевна была на берегу моря, при первом сильном толчке о землетрясении не подумала, но почувствовала себя плохо (подташнивало). Наблюдала проявление цунами: видела как далеко (до волнолома) ушла вода и затем стала быстро прибывать; вода заливалась через «волнолом» в виде водяных каскадов, было необычно и очень красиво. Ее муж и отец нахо-

дились на улице, от первого толчка (в 13:37) гула не слышали, но наблюдали сильные колебания столбов (и проводов) в направлении восток-запад. Слышали гул в 16:22 и затем начало трясти; в доме ничего не упало, но, возможно, просел пол, т.к. дверцы серванта перекосило (не сходятся на 3 см). Ручеек под сопкой после землетрясения исчез, а через сутки появился. В 21:37 трясло сильно, гул – слабый.

*9) пос. Ясноморский – 6 баллов.*

Днем землетрясение было наиболее сильное. Деревянный двухэтажный дом, мебель не падала, но телевизор хозяин держал, т.к. он мог упасть, колебания в направлении север-юг. Пьявченко Юрий Павлович (рост 186 см) наблюдал цунами на берегу моря; во время землетрясения стоял по пояс в воде (доставал сетку), неожиданно вода довольно быстро начала уходить, а потом – быстро подниматься и когда поднялась до плеч, он стал выбираться на берег. Одежду и обувь смыло волной, дальше за морем не наблюдал, а поспешил уйти.

Кое-где отмечалось падение дымовых труб. Упал цветок с окна. Землетрясение хорошо ощущалось на улице, женщина наклонилась над грядкой и почувствовала себя плохо, заболела голова, поняла, что это землетрясение.

Дорофеев Сергей Иванович, пенсионер, рассказал, что при первом землетрясении не мог попасть в дверь дома. Ничего не упало, но треснула кладка печи. Хоренко Егор Михайлович, житель поселка: толчок в 13:37 застал его в едущей машине, которая завибрировала. Остановились, вышли. Толчки были ощутимыми и на земле.

Петрова Елена Петровна, ул. Советская, 8–1 рассказала, что при первом толчке упала на колени, голова закружилась. Труба на доме начала сыпаться, но устояла. Второй толчок примерно через два часа был почти такой же силы, чуть слабее. Остальные – заметно слабее первого. 4 августа утром ощущали (в 9:15) и слышали звон посуды.

База дайверов находится в 2 км от берега (в глубине распадка). При землетрясении дом сильно трясло, дребезжал стеклянный шкаф. В бассейне с водой размером 3 м × 1,5 м начались продольные колебания воды с размахом 30–35 см при глубине воды 70–80

см. Взрослые ощущали землетрясение на улице, а дети играли и ничего не ощущали. В 16 часов трясло в доме, но ничего не упало (хотя полки заставлены). Вечером посуда дребезжала, дом трясло, но ощущалось слабее, чем днем.

После первого землетрясения в приустьевом участке р. Ясноморки в течение двух суток наблюдался выход газа (пузырьки), заметили это потому, что собака играла с пузырьками и лаяла. Наблюдалась волна цунами. Рассказала о своих наблюдениях Дониц Людмила Яковлевна, которая была на берегу. После первого толчка в 13:37 зашла в дом, вышла, поговорила и увидела, что вода стала быстро уходить, дно осушилось до «риффа», нерпы на «риффе» ревели, коса оголилась. Потом вода пошла на берег до уровня порога дома, кастрюлю с собачьей едой унесло. В доме осыпалась известь и упало немного штукатурки (дом шлакоблочный или бетонный, как брошенная застава на другом берегу реки).

*10) пос. Правда (Прибой) – 6 баллов.*

Деревянный частный дом под сопкой – печь ходила «ходуном», с телевизора упали игрушки. В магазине (в прибрежной части поселка) упали кое-какие пачки и банки с верхних полок, разбилась одна банка компота, продавцам было страшно, испытали головокружение. На 2-ом этаже в ванной упали с полочек предметы, телевизор сползал, но задержался о стену. На 4-ом этаже падали легкие предметы, вазы, осыпался кафель, открывались дверцы шкафов и падали вещи. На 5-ом этаже упал сервант (в доме, где аптека), на 4-ом этаже – титан, падали цветы в горшках. На втором этаже побился хрусталь. Был гул. В 13:37 – сильное землетрясение, в 16:22 – тоже сильное и слышали какие-то хлопки как бы от ракет (часто и много). Очевидцы утверждают, что землетрясение в 16:22 ощущалось сильнее остальных. На крышах домов, расположенных в сторону распадка, падали печные трубы. В деревянном одноэтажном доме сильно качало, расплескалось молоко, лопнула каминная кладка и труба.

Степанов Юрий Геннадиевич, охранник ООО «Рыболовецкий колхоз «Прибой»» сообщил, что первый толчок был в 13:37, показалось, что рядом по рельсам прошел тяже-

лый поезд, но в окно увидел испуганных людей, выбегавших из домов. Помещения старые, появились свежие трещины. Следующий толчок около 16:22 ощущался сильнее и сопровождался шумом.

При опросе в магазине создалось впечатление, что наибольшие сотрясения были в районе ул. Школьной. На стенах 4-этажного дома осыпалась штукатурка. Жители сказали, что в квартирах местами облетел кафель, падали шкафы.

*Шлакоблочный 5-этажный дом № по ул.*

*Школьной, построен 12 лет назад, на 4-м этаже первый толчок ощущался в обед, мебель качалась, из шкафов почти все вывалилось, у соседней упал телевизор. Местами осыпалась штукатурка, возникли неглубокие трещины в стенах. Двухэтажный шлакоблочный дом № 22-а, построен 20–21 год назад – козырек дома перекосило толчками, и его обрушили («добили») жители, чтобы никого не придавило; сдвинулся шифер на крыше, повредились печные трубы, отмечено падение частей дымовых труб, образовались трещины в стенах, отошли от здания отмычки и люк, на 2-ом этаже в квартире побился хрусталь, лопнули обои.*

От испуга люди выбегали на улицу. Сильные колебания в 13:37, а в 16:22 еще сильнее – упала посуда, трубы «полетели», женщина живет в поселке с 1947 года и говорит, что впервые ощущала такое сильное землетрясение. На первом этаже, в кв. 7, Харина Е.Э. рассказала о первом дневном землетрясении 2 августа: «Было ощущение, что стены двигаются, все в квартире плясало, посуда гремела, холодильник подпрыгивал и «плясал». Чтобы не упасть, стояла, наклонившись с упором. Очень испугалась и выскочила на улицу. Такое впечатление, что от сотрясений и испуга на время потеряла сознание. Отчетливо ощущала три толчка, после которых началось покачивание. Все остальные толчки были слабее, однако ночь провела на улице вместе с соседями. Толчок в 21:37 также ощущался, но несколько слабее. И утром, 5 августа, в 9:25 был ощутимый толчок, при котором в серванте гремела посуда».

*11) г. Холмск – 6 баллов.*

Здания, в основном, многоэтажные, расположены у берега моря и на сопках (условно выделены три яруса). Наиболее слабыми

постройками оказались шлакоблочные здания. На верхнем ярусе сильнее всего пострадали здания дома культуры и школы № 6. Дом культуры г. Холмска – трехэтажное здание из шлакоблока, 50-х годов постройки; на крыше произошло частичное обрушение фасада; на южной стороне здания обнаружены трещины в стеклопакетах; на западной стороне – отход облицовки от стены на 3–5 см.

Школа № 6 г. – трехэтажное здание из шлакоблока, 1993 года постройки; произошло обрушение мансарды, осыпание штукатурки, образование мелких трещин на всех стенах здания; с южной стороны здания отошла облицовка фасада. На верхних этажах пятиэтажных панельных домов 80-х годов постройки (ул. Первомайская) ощущались толчки, открывались дверцы (створки) шкафов и межкомнатные двери, с верхних полок падали книги; с холодильника упал цветок; с телевизора упал будильник на юг; раскачивались люстры. С улицы слышался гул, второй толчок в 16:22 был сильнее первого.

На среднем ярусе отмечены аналогичные повреждения. В здании администрации на втором этаже – трещины между плитами перекрытия и следы осыпания побелки, сильно трясло, но ничего не падало. Гостиница «Олимп» – мелкие трещины по южной стене здания, вертикальная трещина по всей высоте здания в штукатурке восточной стены. Стадион – административное здание имеет глубокую горизонтальную трещину вдоль западной и южной стен; бетонный забор, выложенный мелкой керамической плиткой, покрыт свежими трещинами с юго-восточной стороны; двухэтажное кирпичное здание, находящееся с южной стороны стадиона, по периметру имеет горизонтальные трещины до 2 см шириной.

Нижний ярус. Автотранспортное предприятие – пассажиры садились в машину и чуть не упали, прыгнули на землю; зашаталось шлакоблочное здание с навесом. Некоторые жители слышали гул, дрожание стекла; на 1-ом этаже ощущалась вибрация, слышался «треск» окон, на 4-ом этаже открывались мебельные дверцы.

Северная часть города. На территории заброшенного детского сада, в бетонной дорожке обнаружена трещина длиной 4 м и

шириной 0,5 см. Девятиэтажный дом по ул. Школьной сильно раскачивало, второй толчок в 16:22 был сильнее. Пятиэтажный шлакоблочный дом по ул. Переселенческая 21-а, кв.12, с «сейсмопоясом», 1985 года постройки – первый толчок жители ощутили дома, сидя на диване; видели как упала ваза на юг; на первом этаже раскачивалась люстра с севера на юг, гремела посуда. Во время второго толчка в 16:22 находились на улице и заметили, что у машины «КамАЗ» хлопал западный борт. Деревянный двухэтажный дом 1987 года постройки (ул. Холмская) – в 13:37 ощутили «сильный удар», качало, с серванта упала аппаратура. Второй толчок в 16:22 был сильнее, волна пошла на восток, предметы упали на запад. Кот просился на улицу. По ул. Пионерская, 16, на краю обрыва стоит четырехэтажный дом («хрущевка»). Меторезов В.А. рассказал, что дом сильно раскачивался, падали легкие предметы на первом этаже, а в соседнем доме № 17 (с его слов) «падали тяжелые предметы с севера на юг». На открытой местности слышали гул, ощущали толчки. Погода была пасмурная, тишина, кошка не отреагировала. Кое-где упали дымовые трубы (деревянные дома частного сектора).

После опроса жителей города сложилось впечатление, что землетрясение сильнее ощущалось на верхнем и среднем ярусах, в портовой части города сотрясения казались слабее.

*12) пос. Ватутино – 6 баллов.*

Толчки в 13:37 и 16:22 ощущались примерно одинаково: частично разрушены кирпичные трубы, тряслись шкафы и качалась люстра, открылись двери, посуда звенела и кое-что опрокинулось. При вечернем толчке открылись дверцы шкафа, кое-где упали дымовые трубы, на ногах стоять было невозможно, гул (до землетрясения), на улице в луже «ходили» волны и плескалась вода. Раскачивало в направлении север-юг. На втором этаже двухэтажного панельного дома (построен в 1978 г.) упал дровяной титан (сорвало с основы), падала мебель, вывалилась из шкафа посуда и разбилась. На крыше дома полопался шифер. Качалась машина, которая стояла на улице. Люди сидели на улице и много толчков ощущали, утверждали, что в 13:37 и 16:22 ощущались землетря-

сения, как Горнозаводское в августе 2006 г., в 21:37 – сильнее и дольше трясло. Вечером на западе (над морем) наблюдали «свечение или яркое зарево».

*13) пос. Шебунино – 6 баллов.*

Первый толчок ощущался слабее, чем 17 августа 2006 года при Горнозаводском землетрясении, но большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом. Тряхнуло и затем начались колебания. На втором этаже (5-этажный дом) со стены упали обои «самоклеяка», как будто клеевой слой перестал существовать; женщина отдыхала после вахты, качало и диван стучал о стену, но звона посуды она не слышала и ничего больше не упало (кроме обоев). На 4-ом этаже открылись дверцы шкафа, на 3-м этаже закрылись створки трюмо; на улице, на скамейке сидели и ощутили толчок снизу, и волна прошла по лужам; на 1 этаже (дом на горке), упали разделочные доски. Кошки дыбом встали. Сильно раскачивались люстры. Деревянный дом – трещали стены и перегородки, на улице сильно раскачивались провода. Здание администрации «закачалось» и это видели наблюдатели со стороны. Блочный дом, 2-ой этаж – дом заходил ходуном и упали пустые банки. На даче (в 16:22) – качались теплицы, домик, вечером (в 21:37) загудели столбы с проводами и люди испугались. В магазине после толчка – вывалились куски штукатурки; женщина гуляла с ребенком на улице и ее так качнуло, что она упала. Отключили свет.

Вечером произошел самый сильный толчок – на улице земля ходила ходуном, люди пугались и выбегали (выходили) на улицу. Пастухи рассказали, что после 20 часов вечера, когда они уходили с работы (вдоль берега моря пасут коров), дорога на выезде из поселка была чистой, а утром они обнаружили осыпь (фото 34), на дороге лежали камни размером с булыжник и мельче.

Некоторые наблюдатели утверждали, что вечером, в 21:37, был самый сильный толчок, земля на улице «ходила ходуном». Падений дымовых труб в поселке не отмечено, даже на старых деревянных домах.

*14) пос. Калинино (рыбозавод в 3 км от берега моря) – 5 баллов.*

Ошанина Нина Захаровна, ул. Рыбоводная, 13-1 рассказала, что находились в доме

во время толчка в 13:37, сотрясения были продолжительные. Испугались и выскочили из дома, который по ощущениям «ходил ходуном», но повреждений не осталось. Дребезжали окна. Вода в ведрах качалась. В 16:22 во время второго, еще более сильного толчка, находились у соседней в шлакоблочном доме, было страшно, дом трещал, калитка качалась. Повреждений в доме нет. Перед землетрясением собаки вели себя обычно, но соседская кошка, никогда не сидевшая на деревьях, перед землетрясением устроилась и сидела на яблоне. Дребезжали окна. Гендельман Гертруд Самуиловна: «Во время землетрясения кирпичи на трубе зашевелились, хотели упасть, но не упали». Трясло дом и мебель, но ничего не упало и не разбилось – дом деревянный одноэтажный. В 16:22 – сильно, в 19 часов слабее было, в 21:37 – не заметили.

Чертов Виктор Тимофеевич был в это время на море и наблюдал цунами. Жена Чертова В.Т. находилась в поселке и рассказала о своих наблюдениях: «Толчки в 13:37 были не очень сильными, однако вода в соседской бочке стала колебаться. Толчки в 16:22 ощущались сильнее, в доме сильно качало».

В одноэтажном шлакоблочном доме ощущали землетрясение, отметили только откалывание небольшого куса штукатурки под окном (со стороны улицы).

На берегу р. Калинка в дачном домике сильно качало, все «ходило ходуном», телеграфные столбы сильно раскачивались и свет погас.

Мужчина находился в бухте на лодке, поехал порыбачить, стоял на якоре в 50 м от берега и заметил, что вода вдруг как-то «заиграла» (не так, как волны).

*15) пос. Зеленодольск – 5 баллов.*

Шлакоблочный дом – ощущали все толчки, в 13:37 на 2-ом этаже раскачивалась кровать; самосвал на мосту ездил туда-сюда. Рабочие рыбозавода в 13:37 находились на улице и почувствовали, что почва поплыла из-под ног.

В 16:22 одни наблюдатели слышали гул с запада, как будто трактор ехал, другие почувствовали себя как в шторм, хлопнули двери гаража. Звенела посуда, в ведре колебалась вода.



В 21:40 сильно раскачивалась лампочка, на полу стала потрескивать плитка; раскачало и перекосило дверь в гараже (обита металлом), не смогли закрыть; куры долго не садились на насест. Многие наблюдатели отмечали тишину перед землетрясением (в 21:30) и море «стеклянное» не двигалось. Между потолочными плитами тонкая трещина. Луи выплескивались, мужчина ощущал раскачивание в экскаваторе в направлении север-юг. 5 августа утром в 9 часов – раскачивалась машина.

*16) пос. Яблочный – 5 баллов.*

Поселок раскинут вдоль берега моря, объединяет бывшие поселки Садовники и Новаяблочный. В поселке имеются деревянные дома и многоэтажные здания.

Магазин – одноэтажное шлакоблочное здание, в 13:37 продавцы ощущали толчки, с верхних полок падал товар. С 14 до 15 часов наблюдали отлив, через час был сильный прилив. Дом двухэтажный деревянный (ул. Центральная), 1998 года постройки. На втором этаже пылесос упал набок, люстра раскачивалась в направлении север-юг. Женщина находилась на улице, ощутила сотрясение почвы.

Одноэтажный деревянный дом (ул. Красноармейская) стоит на торфянике, землетрясение ощущалось сильно, со шкафов все падало, упали цветы. Животные были спокойны. Второй толчок в 16:22 был сильнее.

Двухэтажный деревянный дом, повреждений нет. Животные вели себя как обычно. Ходили ловить рыбу, вода сначала ушла, потом пришла, рыба перестала ловиться.

С 12:30 жители рыбачили, хорошо ловилась рыба, камни видны не были, было тихо. Резко с востока подул ветер. Находился в воде по грудь (рост примерно 180 см), заметил что морскую капусту потащило на юг, уровень воды упал на 1 метр, оголились камни, перестало клевать. В воде землетрясение не ощущал. Уровень реки не изменился.

На берегу моря расположена коса из камней, высотой около 0,5 метров, дети заметили, что коса полностью ушла под воду. Началось это примерно в 16 часов и продолжалось в течение 2 часов. По всему пляжу разбросана свежая морская капуста.

Вечером на даче в 19:08 ощущался толчок, продолжительность колебаний 10-11 с, слышали гул со стороны моря.

Пятиэтажный шлакоблочный дом, на 4-ом этаже вечером раскачивалась люстра с севера на юг, форточка, шкаф.

*17) пос. Кириллово – 5 баллов.*

Военная застава – мужчина находился в доме в спокойном состоянии, ощутил сильный толчок в 13:40, звенела посуда, раскачивалась мебель; в это время был обед в столовой и военнослужащие недолго ощущали волнообразные движения, заметили раскачивание лампочки.

В 16:22 – сильный толчок, качались всяческие предметы, землетрясение ощущали все. Мужчина находился в одноэтажном шлакоблочном доме, сидел, ощутил головокружение, качалась люстра, чуть не упал телевизор (подхватил его). На улице из ванны выплескивалась вода. Море было зеркальным.

Вечером в 19:10 толчок ощущался сильнее первого. Наиболее сильный толчок был в 21:40 (местного времени) – как будто в окно сильно стучали чем-то тяжелым.

В 4–5 км к северу от Кириллово находится рыбацкий стан на р. Бачинская, рыбаки находились в машине, ощутили колебания и наблюдали как подсакивали четырехтонные машины «Урал». Река Ульяновка – 20 км южнее Кириллово – днем резко упал уровень воды в реке.

*18) Рыбацкий стан (10 км от Кириллово к северу) – 5 баллов.*

В 13:37 женщины-повара (3 чел.) сидели в вагончике (на колесах) и чистили картошку, ощущали колебания – раскачивало волнообразно, посуда звенела. Земля уходила из-под ног, при первом толчке сработала на машине сигнализация, качались провода, люди вышли (выбежали) из вагончика. На улице наблюдалось движение земли в направлении на юго-восток. В 16:22 землетрясение ощутили сильнее, упали разделочные доски (висели на стене). Землетрясение в 21:37 ощущалось слабее, чем в 16:22.

*19) пос. Чапаново – 4–5 баллов.*

В поселке есть 2–3 этажные шлакоблочные здания и деревянные дома.

Дом бетонный (ул. Советская, 20), женщина днем отдыхала, лежала на кровати, кровать раскачивало с севера на юг при первом толчке (в 13:37). Второй толчок не ощущала. Деревянный дом барачного типа (ул. Речная, 14) – при первом толчке окна дре-

безжали и разбилось окно с восточной стороны. При втором толчке (в 16:22) качало в разные стороны, стены в одну сторону, крыша в другую, падала посуда.

Двухэтажный деревянный дом (ул. Морская, 6) – упала посуда с трюмо (на запад); качалась лампочка; сдвинулись цветы на подоконнике, но не упали.

*20) пос. Бамбучки – 4–5 баллов.*

Маленький поселок расположен в речной долине, дома деревянные. Женщина продает на трассе сельхозпродукцию. Во время первого землетрясения (13:37) находилась на обочине автомобильной дороги, сидела на стуле и почувствовала, как начало раскачивать. Вечером, после 21 часа жители находились в палатке (в 10 метрах от трассы), толчки были сильнее, вылетели колья, державшие палатку.

*21) пос. Пятиречье – 4–5 баллов.*

Дома деревянные из бруса или каркасно-засыпные. Жительница поселка продавала овощи на улице, рядом с магазином, сидела на стуле и ощущала раскачивание, у нее заболела (закружилась) сильно голова, как при повышенном кровяном давлении. При втором толчке (в 16:22) тоже находилась на улице, качало из стороны в сторону, на колесах раскачивалась машина «КамАЗ». При вечернем толчке в двухэтажном деревянном доме раскачивалась люстра с севера на юг.

*22) пос. Таранай – 4–5 баллов.*

Двухэтажный дом 1987 года постройки; на 2-ом этаже в 13:40 отмечена вибрация лестничных поручней, ощущалась еще при трех последующих землетрясениях – в 16, 19 и 22 часа. Ощущения людей – испытывали головокружение, тошноту.

Поведение предметов – люстра раскачивалась с севера на юг, качались цветы в горшках, но не упали. На 1-ом этаже 2-х этажного шлакоблочного дома в спокойном состоянии ощущалось легкое покачивание, качалась люстра. На 2-ом этаже хлопала двери. Гуси загоготали за 5 минут до землетрясения. На 1-ом этаже двухэтажного коттеджа женщина ощущала четыре землетрясения (13:37, 16:22, 17:35, 21:37), отметила, что люстра качалась, звенела посуда, машины во дворе пришли в движение (раскачивались), в 22:45 толчок был слабый.

*23) пос. Золоторыбное – 4–5 баллов.*

Второй этаж шлакоблочного дома – диван закачался, раскачивалась люстра, дверь на кухню закрылась. Первый толчок – самый сильный, люди выходили на улицу.

*24) г. Анива – 4–5 баллов.*

Блочный дом (одноэтажный) старой постройки, в 13:40 женщина почувствовала резкое головокружение, тошноту, очень медленное (мягкое) покачивание в направлении северо-восток – юг; на верхних этажах слышали звон посуды. В 16:22 произошел самый сильный толчок (все отмечают, и в городе, и на обрыве у реки), дети на речке ощущали, сидели на обрыве и ощутили колебание почвы. Сдвигались легкие предметы на 3-м этаже шлакоблочного дома. Ночью проснулись от легкого покачивания. Утром в магазине обнаружили упавшие коробки конфет, коробки стояли торцевой частью на холодильнике, как на витрине.

По ул. Кирова 4-х этажный дом – все «ходуном ходило», после 19 часов покинули помещение и ночевали в машине. Качались машины, провода, дома. Вечером в бараке качалась люстра, на улице раскачивался фонарь. На даче пол уходил из-под ног, все звенело, раскачивались цветы на 1-ом этаже сильно, слышали треск.

*25) пос. Высокое – 4 балла.*

В поселке одноэтажные деревянные дома хорошей постройки. Деревянный дом по ул. Луговой, мужчина сидел на диване, слышал гул, видел, как качался весь дом; считает, что первый толчок был самым сильным. Погода стояла хорошая, третий толчок ощутил в лесу.

Наблюдатели все время находились в деревянном доме, ощущали землетрясение днем и заметили, как раскачивались цветы и люстра.

*26) пос. Огоньки – 4 балла.*

Жители ощущали несколько толчков; в 13:37 продавец в магазине ощутила землетрясение, качалась люстра. Женщина в своем доме сидела за столом (обедала), землетрясения не ощущала, а муж лежал на диване и ощущал землетрясение. В двухэтажных блочных домах (под сопкой) многие ощущали толчки, но ничто не падало. Толчок в 16:22 был сильнее и сопровождался гулом, в магазине упала булка хлеба, качалась

люстра; в другом магазине отмечен звон бутылки, но ничего не упало; наблюдатели слышали звон посуды, отмечали медленное покачивание в течение 15 с; стоящую машину тряхнуло и водитель подумал, что кто-то «врезался» в него. В шлакоблочном одноэтажном доме, стоящем в 50 м от реки Брянка, в 16:22 наблюдались самые сильные сотрясения, сидящих в креслах подбрасывало; рядом у соседки качались баня и сарай. В мэрии на 2-ом этаже сильно качался компьютер, трясло мебель, пришлось выключить технику и выйти на улицу.

В 21:37 отмечены тоже сильные толчки, ощущалось примерно как первое землетрясение; спустя некоторое время, снова трясло.

*27) пос. Ожидаево – 4 балла.*

Семья живет постоянно в поселке, во время землетрясения находились дома, сильно раскачивало, отмечено колебание висячих предметов, скрип полов и стен. Дача, двухэтажный дом, ничего не чувствовали.

*28) пос. Воскресенское – 4 балла.*

Деревянный дом из бруса, в обед (с 14 до 16 часов) – колебалась вода в ведре, качалась кровать, люстра, звенела посуда. На улице женщина не ощущала. В магазине звенели бутылки, но не упали. Вечером в 21:37 был самый сильный толчок. Вечером створки трюмо открылись и закрылись. Те, кто был в движении или занимался работой по дому, ощущали слабо или не ощущали совсем.

*29) пос. Костромское – 4 балла.*

Дом каменный (ул. Озерная, 3), в серванте звенела посуда, раскачивалась люстра. В 16:22 толчок был сильнее первого.

*30) пос. Песчанское – 4 балла.*

Ощущались толчки с 13:40. Магазин шлакоблочный, старой постройки, одноэтажное здание. Резкий толчок в 13:40, после 16, 18 часов и в 21:40 (сильный).

В воскресенье, 5 августа, в 9:30 местн. времени ощущался толчок, люстра качалась в направлении с запада на восток. Людей качало, лампочка качалась, беспокоились животные, кошка просилась на руки.

*31) пос. Красноярское – 4 балла.*

Одноэтажный деревянный дом (ул. Колхозная, 25), разрушились печные трубы. Море отошло, в течение 2 часов пришло снова. Прилив был больше обычного примерно на 1 метр.

*32) пос. Синегорск – 4 балла.*

Деревянный одноэтажный дом – жильцы сидели на стульях и диване, ощущали толчок в 13:37 и в 16:22 ощутили покачивание. Вечером не ощущали, т.к. были в движении, занимались домашней работой. На 1-ом этаже (5-ти этажный шлакоблочный дом) женщина заметила сильное раскачивание люстры, в 16:22 сильнее, чем в 13:37 (все это отметили). На первых этажах многие отмечали плавное раскачивание люстр, на 3–5 этажах – слышали звон посуды, наблюдали сильное раскачивание люстр, ощущали колебания; в магазине (на 1-ом этаже) – стоящие почувствовали покачивание, продавцы видели, как на полках раскачиваются пакеты с продуктами, наклонились бутылки. На 5-ом этаже в углах комнаты появились неглубокие трещины, ранее они были зашпаклеваны, звенели стекла во время толчка, был слышен гул (в 13:37). На 2-ом этаже – сильно, но плавно раскачивалась люстра, открылись створки в антресолях мебельной «стенки», хлопанье дверей. Кто мог, ушли в гаражи или уехали на дачи, чтобы не ночевать дома. Все жители поселка отметили, что первый толчок был немного слабее второго в 16:22, который ощущался многими людьми на всех этажах зданий; отмечалось колебание и хлопанье дверей на верхних этажах, плавное раскачивание люстр, вибрация неустойчивых предметов, тогда как толчок в 21:37 здесь ощущался слабее, чем первый.

*33) пос. Чехов – 4 балла.*

В 13:37 – ощутимые толчки; в 21:37 наблюдатель, проживающий в двухэтажном шлакоблочном доме, заметил, как раскачивалась люстра, подвывали собаки.

*34) пос. Новосибирское – 4 балла.*

На 2-ом этаже панельного дома (в обеденное время) звенела посуда, ощущалась легкая вибрация. На втором этаже мужчина находился в состоянии покоя (лежал на диване) и ощутил сильную вибрацию мебели, слышал звон посуды, ощущал четыре толчка. На 1-ом этаже двухэтажного панельного дома – все шкафы закачались в 13:37; шкафы открылись при самом сильном толчке в 16:22; третий толчок ощущался в 19:10; ночью, в 21:37, все качалось секунды 3–4. Ощущалось на улице, если к чему-либо прислонялись.

Старый двухэтажный деревянный (брусовый) дом, в 16:22 на 1-ом этаже ощущалась вибрация, люстра звенела, слышался легкий звон посуды 20–30 с. До обеда наблюдатель была в движении, в 21:37 толчок ощущался как днем. Перед толчком моргал свет. Ощущали все жители этого дома. Море было спокойным весь день.

*35) пос. Пионеры – 3–4 балла.*

Магазин № 64 (ул. Колхозная) – одноэтажное здание из шлакоблоков, внешних и внутренних повреждений нет. Была вибрация, шатались полки с запада на восток. Слышался гул из земли при первом толчке. Бобкова Н. отдыхала в санатории «Чайка», после обеда пошла к морю на пляж и, сидя на песке, ощутила довольно сильный толчок, поняла, что это землетрясение. Скорее всего, это было в 16:22. На море никаких изменений не отметила. Люди, находившиеся в движении на улице, не ощущали ничего. В зданиях землетрясение хорошо ощущалось многими людьми, детей организовано вывели на улицу. Ночью, 3 августа, проснулась от толчка.

*36) пос. Успенское – 3–4 балла.*

Частный шлакоблочный дом, началось в 13:40, шкафы шатались, люстра раскачивалась, во дворе в ванне рябила вода. Повторные толчки в 16:30, 19:40. Одна женщина испытала головокружение в 16:30; теплица качнулась. Другая женщина работала на огороде и ничего не ощущала. Деревянный дом (2 этажа) – пошатнуло кровать, слабо раскачивалась люстра.

*37) пос. Трошукое – 3–4 балла.*

Частный деревянный дом, днем раскачивалась люстра в направлении север-юг, звенела посуда; вечером ничего не ощущали. В другом доме ощутили вечерний толчок, звенела посуда, качалась люстра; остальные толчки не чувствовали.

*38) пос. Тепловодское – 3–4 балла.*

В 13:37 люди находились в квартире на втором этаже, сидели на кровати, ощущали раскачивание из стороны в сторону, слышали звон посуды и стекла, наблюдали умеренные колебания люстр; на 1-ом этаже (2-х этажный блочный дом) женщина стояла в комнате и почувствовала легкое покачивание. В 16:22 сидели в кухне на стульях (одноэтажный шлакоблочный дом), покачнуло,

услышали звон стеклянной посуды; ощущалось сильнее, чем в 13:37. В 21:37 на 2-ом этаже ощущали слабые покачивания, которые продолжались не очень долго.

*39) пос. Санаторный – 3–4 балла.*

Дома 5-ти этажные, блочные; на верхних этажах (4–5) наблюдатели ощущали сильные, но плавные раскачивания; некоторые ощутили сильный толчок (как бы ударила волна); кошка вела себя перед толчком беспокойно. Замечено людьми, занимавшимися физическим трудом. В 13:37 на 1–2 этажах ощутили плавные покачивания на кроватях, в креслах. В 16:22 в этих же домах на 5-ом этаже в некоторых квартирах балконные двери закрывались и открывались, люди пугались и выходили на улицу, заметили сильное и плавное раскачивание люстр. В 21:37 на 3–5 этажах, находящиеся в спокойном состоянии люди (на кроватях, креслах, диванах), ощутили слабые раскачивания, которые быстро закончились. Ощущали многие.

*40) пос. Дачное – 3–4 балла.*

В нижней части поселка люди занимались домашней работой и не ощущали, а на возвышенной части поселка ощущали толчок в 16:22. Дежурный в казарме сидел на стуле и ощутил, как встряхнуло, шкафы с одеждой «затряслись». Шашлычная у дороги – на улице стоял мангал и он «подпрыгнул» в 16:22 (двор заасфальтирован). Женщина в деревянном доме встала с дивана и ее «повело в сторону» (в 16:22), слышала легкое позвякивание посуды; вечером не ощущала.

*41) пос. Мицулёвка – 3–4 балла.*

В 13:37 ощущалось легкое покачивание на диване, зашаталась люстра.

Деревянный 2-х этажный дом, на втором этаже сидела женщина, сначала слышала гул, потом почувствовала легкое покачивание (в 16:22), затем раскачивание стало сильнее, послышался легкий звон посуды, открытые двери балкона закачались; ночные толчки не ощущались.

*42) пос. Холутово – 3–4 балла.*

На 2-ом этаже (4-х этажный дом, шлакоблочный) в 16:22 женщина ощутила колебание кровати, рядом сидел ребенок, поэтому подумала, что он толкает кровать стулом. В это же время на 2-ом этаже (5-эт. панельный дом) ребенок сидел за компьютером и почувствовал, что сильно зашатался

стул. Магазин «Аризон» – работали и ничего не ощущали. Панельный дом – в 16:22 на первом этаже ощущали, как будто под окном проезжал поезд секунд 5–6, был гул, отмечено дрожание люстры; примерно через час соседи с верхних этажей побежали вниз. Мужчина сидел в кресле в 21:37 и ощутил, примерно, то же самое.

*43) пос. Соловьёвка – 3–4 балла.*

Жилой шлакоблочный дом (5-й этаж) – в 13:40 зазвенела посуда, зашаталась мебель, вода в емкостях сильно рябила. Детский сад – 2-х этажное шлакоблочное здание, на 1-ом этаже землетрясение не ощущалось, на 2-ом этаже зашатался стол, ваза на столе задрожала. Женщина была на огороде в 16:22, поливала перец в теплице и, подойдя к бочке с водой, ощутила как ее неожиданно «колыхнуло» в сторону. В процессе работы люди ничего не ощущали.

*44) пос. Ключи – 3–4 балла.*

В одноэтажном деревянном доме (сборно-щитовой) в 16:22 человек сидел, ощутил тряску, видел слабые колебания люстры, слышал шум (позвякивание) от трясущихся предметов. В 21:37 – аналогичные наблюдения, только немного слабее (не трясло, а качало), посуда создавала шум.

*45) пос. Христофоровка – 3–4 балла.*

В шлакоблочном доме в 13:37 (1-й этаж) мужчина спал и не ощущал землетрясение, а со слов жены, землетрясение ощущалось: качалась люстра, фотография в рамке упала на пол (стояла в шкафу), тряслись буфет, стекло, посуда.

На 2-ом этаже мужчина сидел на кровати, кровать «ходила ходуном», мать и двое детей ощутили землетрясение. В 16:22 землетрясение не ощущалось (опрошено несколько человек). ЗАО «Втормет» (весовая) – тоже не ощущали.

*46) пос. Первая падь – 3–4 балла.*

На 1 этаже (деревянный брусовой дом) в 13:37 ощутили первый толчок, зазвенела посуда, люстра раскачивалась; на 2-ом этаже – женщина сидела на стуле, ощутила легкое покачивание. Второе землетрясение в 16:22 ощущалось сильнее: сильнее раскачивалась кровать, кресло, качалась люстра, стеклянная посуда в серванте сильно гремела; рядом в доме на 2-ом этаже аналогичные ощущения, на подоконнике раскачивались цветы.

*47) г. Южно-Сахалинск – 3–4 балла.*

Ощущалось только первое землетрясение в 13:37. По ул. Крюкова магазин «Леди» – женщина примеряла брюки, началось сильное раскачивание из стороны в сторону, продавцы закрыли свои отделы и выбежали на улицу. В поликлинике врач сидела за столом (на 2-ом этаже) и ощутила колебания, пациент сидел рядом на стуле, но не ощущал ничего. Район телецентра – люди стояли на улице, во дворе дома, возле машины, почувствовали покачивание из стороны в сторону, ощутили головокружение (в 13:37). На 4-ом этаже панельного дома в кресле ощутил легкое покачивание, заметил, что плавно раскачивается люстра.

*48) п. р-н Новоалександровск – 3–4 балла.*

Во время первого землетрясения в 13:37, в стоящей на месте автомашине, ощутили слабое покачивание самой машины. На первом этаже пятиэтажного панельного дома женщина днем (затруднялась назвать точное время) находилась в помещении и в момент землетрясения ходила по квартире – ощутила покачивание и услышала звон посуды на кухне, сначала удивилась, потом подумала о землетрясении; собака днем просилась на улицу, чем удивила хозяйку, так как ее уже выводили на прогулку. На 4-ом этаже того же дома первый толчок не ощущали, а в 16:22 землетрясение хорошо ощущалось, зеркало, висящее на южной стене, раскачивалось и билось о стену (колебания в направлении север-юг, вдоль здания). По ул. Комсомольской, на третьем этаже (дом 5-ти этажный) мужчина днем ощутил землетрясение, испугался и выбежал на улицу, некоторые соседи сделали то же самое. Женщина живет на первом этаже двухэтажного кирпичного дома, занималась работой по хозяйству и ничего не ощущала, о землетрясении узнала вечером.

*49) г. Корсаков – 3–4 балла.*

В 13:40, 16:25, 19:10 в магазине звенели бутылки, раскачивалась стойка с сигаретами, тряслись стеклянные витрины (здание расположено на выезде в Пригородное). В деревянном доме мужчина сидел на диване и ощутил, что диван дернулся дважды, в 21:40 ощущал, сидя в кресле. На 2-ом этаже каменного дома наблюдатель ощутил колебания, сидя на стуле, увидел, как колеблется

монитор компьютера. На 3-ем этаже (ул. Советская) мужчина почувствовал толчок в 13:40, движения пола. По ул. Флотской (на горе), на 4-ом этаже панельного дома женщина, находясь в спокойном состоянии, ощутила головокружение и раскачивание дивана, кот суетился и орал, в 16:30 задребезжали стекла, колебался цветок (на 2-ом этаже). В частном доме женщина лично не ощутила, но заметила колебание цветка, который стоял на полу. Деревянный частный дом, в 21:37 мужчина сидел, диван закачался, затрещала оконная рама. По ул. Парковой на 1 этаже не ощущалось, по рассказам жителей 3–4 этажей – раскачивались люстры, звенела посуда, вода в сосудах колебалась (дрожала); отмечено колебание цветов в горшках, «трясся» монитор, вода в бутылке колебалась, стул на колесиках покотился (4-й этаж). На 5-ом этаже панельного дома люстра качалась секунд 5; на 4-ом этаже вода в ведре зарыбила, три толчка, цветы дрожали. (В 22:40 качало слабее, секунды две). В магазине в 16:30 почувствовали колебания (в спокойном состоянии), тряслись стеллажи, но ничего не упало. На 2-ом этаже пятиэтажного здания – не ощущали. В 16:30 ощутили 2 толчка, сидя в стоящей на месте автомашине.

*50) пос. Березняки – 3–4 балла.*

Первое землетрясение в 13:37 ощущалось в поселке слабо и наблюдатели как-то неуверенно называли время. А вот толчок в 16:22 здесь ощущали многие, кто находился в помещении. В двухэтажном шлакоблочном доме ощущали на первом и на втором этажах – легкое покачивание, качалась люстра; состояние неприятное, некоторые жители испытали легкое головокружение. Женщина ощущала землетрясение, находясь на огороде. На втором этаже двухэтажного дома мужчина находился в спокойном состоянии и в 19:10 ощутил легкое покачивание, заметил как «шевелились» шторы.

*51) пос. Быков – 3–4 балла.*

На 1 этаже (5 этажного дома) землетрясение в 13:37 ощущалось сильно: трясло, наблюдались сильные колебания электрических лампочек и люстр, хлопанье незапертых окон и дверей, перед толчком выла и волновалась собака. Одноэтажный шлакоблочный дом (мужчина был занят физическим трудом) – сильно трясло, раскачива-

лась люстра, звенела посуда, дребезжали стекла, упал горшок с цветком. В 13:37 на 3–4 этажах (4-х этажный дом) шлакоблочного дома, сильно качало, звон посуды, хлопанье окон, умеренные колебания люстр; беспокоилась собака, пыталась выйти из квартиры; в 16:22 отмечалось хлопанье незапертых окон и дверей; колебание люстр. На 3 этаже в 21:37 трясло «от слабого до сильного» около 1,5 мин, отмечено раскачивание и звон посуды, умеренные колебания люстр. Хомяк весь день просидел в домике в клетке, не хотел выходить.

*52) пос. Старорусское – 3–4 балла.*

Двухэтажный деревянный дом – на втором этаже женщина лежала и отдыхала, в 13:40 ощутила покачивание, заметила как качается люстра и легкие предметы (колокольчики); собаки не отреагировали; другие толчки не ощущала. В деревянном доме потолок в комнате выложен легкой плиткой, после землетрясений плитка кое-где отклеилась. Некоторые жители ничего не ощущали, но слышали о землетрясении от соседей.

*53) пос. Углезаводск – 3–4 балла.*

В 13:37 на 3-ем этаже (3 этажный шлакоблочный дом) мужчина сидел, слабо качнуло, слабое колебание люстр. На 1-ом этаже наблюдатель двигался, ощущал слабо, качало 1–2 мин, покачивалась и звенела посуда, слабое колебание люстр, животные не реагировали. В 16:22 на 3-ем этаже (пятиэтажный дом) – сильно покачивало (заметное сотрясение), посуда покачивалась и звенела, дребезжали стекла, умеренные колебания люстр, кошка металась по квартире до толчка.

*54) пос. Покровка – 3–4 балла.*

Ощущалось землетрясение в 16:22. Одноэтажный шлакоблочный дом – люди отдыхали, ощущали слабое покачивание (50 с), посуда вибрировала и звенела, отмечалось слабое колебание люстры, хлопанье незапертых окон и дверей; на первом этаже двухэтажного дома слабо раскачивало и громко кричал кот; на втором этаже сильно трясло, звенела посуда, отмечены умеренные колебания люстры.

*55) пос. Октябрьское – 3–4 балла.*

В каркасно-засыпном одноэтажном доме в 16:22 ощущалось слабое покачивание, перед толчком выла собака, небольшие трещины в потолке и печке.

56) пос. Ручьи – 3–4 балла.

В каркасно-засыпных одноэтажных домах в 16:22 слабо качало 50 с, отмечено покачивание и звон посуды; в 21:37 – качало слабо, отмечено колебание люстр.

57) пос. Новосёлово – 3–4 балла.

Панельный одноэтажный дом, в 13:37 шаталось кресло, люстра; в 16:22 – сильно. Доска разделочная на стене качалась. Ощущались толчки – в 13:37, в 16:22 и в 21:37. Днем отключился свет. В таких же домах ощущали и соседи.

Дом на берегу моря, мужчина лежал на кровати и почувствовал подряд два легких толчка в 13:37 (дом строится – деревянный, брусовой).

Почта – дом деревянный, сидели в кресле (2 чел.), закачалось кресло в 16:22 секунды 2–3, испугались и вышли на улицу. Ночью не ощущали. Шлакоблочный двухэтажный дом – на 1-ом этаже качалась люстра несколько секунд; на кровати сидела бабушка – испытала легкое недомогание.

58) г. Томаги – 3–4 балла.

В 13:40 (три человека отдыхали) в 5-ти этажном доме на 1-ом этаже, ощутили два толчка, словно раскачивали диван; люстра качалась, мебель скрипела. Около 16:30, на 5-ом этаже, женщина отметила дребезжание стекол (окна пластиковые).

Блочное здание магазина (1-й этаж) – в 16:22 в магазине зазвенели бутылки, ощущались толчки (центр города). В другом магазине (первый этаж панельного дома) упали коробки с конфетами, т.к. стояли неустойчиво. В хозяйственном магазине (на 1-ом этаже панельного дома) с полок упали коробки со стиральным порошком, раскачивало в течение 2–3 с.

Мебельный цех (проходная), старое шлакоблочное здание – ощущали два толчка в 13:40. В 16:22 задрожали стол и окна, шкафы тряслись, со второго этажа люди вышли на улицу. Животные вели себя как обычно. Шлакоблочный дом, 4-й этаж, женщина наблюдала раскачивание люстры, вибрировала мебель, ночью – не ощущала. На 2-ом этаже шаталась «стенка», «поехал» телевизор – в 16:22. 14 августа в 15:20 – ощутимый толчок, как днем 2 августа, с 4–5 этажей люди вышли на улицу. Предприятия прекратили работу.

59) пос. Пензенское – 3–4 балла.

Второй этаж панельного дома – днем качались люстры, картины, створки шкафов открылись. Потолочные плитки (легкие, которые клеят) двигались и частично отошли (отклеились) в 13:40. Ощущали толчок в 19 часов. На втором этаже панельного дома открылись дверцы шкафа, люстра сильно раскачивалась, звенела посуда в 19:10, а днем дома никого не было. Здание администрации – двухэтажный шлакоблочный дом; на 2-ом этаже (ЗАГС) в 16:22 зазвенели фужеры, задрожал цветок, к утру образовалась трещина на стыке между потолком и стеной, трещина в штукатурке по стене. 14 августа в 15:14 покосилась межкомнатная дверь и стала плохо закрываться, в администрации на столе сильно тряслась ваза с цветами.

60) пос. Лиственичное – 3 балла.

На 2-ом этаже двухэтажного шлакоблочного дома лежала женщина, заметила, что в 13:40 качалась кровать. Несколько человек работали в огороде и ничего не ощущали. Деревянный брусовой дом – мужчина лежал на диване, в 13:40 покачало, как «решетом сеют». Ночью и вечером не ощущали (железнодорожная станция).

61) пос. Раздольное – 3 балла.

В 13:37 на 1-ом этаже деревянного 2-х этажного дома наблюдателей «повело» в сторону, «стали заплетаться ноги». На 2-ом этаже двухэтажного шлакоблочного дома, на балконе, находилась женщина, ее качнуло, показалось, что куда-то проваливается. В комнате, где стоял компьютер, затрясся монитор. Молодая женщина собирала детей на улицу, не поняла, что это землетрясение (пока не позвонили), это было какое-то мгновение. Другая женщина в это время работала на огороде и ничего не ощущала.

62) пос. Сокол – 3 балла.

Дом панельный, пятиэтажный, наблюдатели находились на первом этаже в спокойном состоянии и днем ощутили легкое покачивание. В 16:22 в кирпичном здании КПП качалась люстра, в штабе тоже заметили легкую вибрацию. Ощущали немногие.

63) пос. Пригородное – 3 балла.

На проходной завода СПГ беседовали с дежурным, замечено, что днем тряслись шкафы. Многие не ощущали.

64) пос. Такое – 3 балла.

Дом панельный, пятиэтажный, наблюдатель отдыхал (1-й этаж) и заметил, как зашаталась люстра. В 19:10 задрожала мебель, по рассказам соседей – днем тоже наблюдалось легкое дрожание.

65) г. Долинск – 3 балла.

Землетрясение в 16:22 ощущалось в городе немногими людьми, на первых этажах был замечен толчок, некоторые наблюдатели отметили слабые или очень слабые колебания люстр, занавесок и штор; на верхних этажах (4–5) качало сильнее, отмечался звон посуды, умеренные или слабые раскачивания люстр.

66) пос. Советское – 3 балла.

На первом этаже шлакоблочного дома в 13:40 качалась люстра, звенела посуда, скрипела закрывающаяся дверь. На 2-ом этаже (2-х этажный деревянный дом) люди сидели, затрясло, легкая вибрация, потом небольшое раскачивание, шаталась люстра, животные вели себя обычно. Немногие ощущали.

14 августа в 15:20 ощущалось землетрясение, колебалась стрелка на весах в магазине, дети ощущали толчки, качалась люстра.

67) пос. Стародубское – 3 балла.

В 13:40 на 4-ом этаже молодой человек проснулся от толчка, отмечена вибрация пола, мебели (секунд 5).

На 1-ом этаже (5 этажный дом) в 16:22 отмечена вибрация кресла, люстра раскачивалась, затем женщина почувствовала головную боль и тошноту. Женщина работает в магазине, зашатало на стуле, испытала легкое головокружение, вечером не ощущала. Многие не ощущали.

68) пос. Озёрский – 3 балла.

В деревянном доме в 13:40, 16:30, 21:40 качнуло, качалась люстра, слегка колебались («шевелились») шторы, раскачивался стол-книжка. Колебания в доме в 16:30 ощущались как самый сильный толчок, качалась люстра. В 19:10 на 3-ем этаже землетрясение тоже ощущали. В 21:40 зашаталась мебель, собаки рвались в дом (на 4 этаже), а кошки вели себя спокойно.

В 16:30 мужчина в гараже ощутил несильные толчки. На 3-ем этаже 5-ти этажного дома мужчина лежал на диване – в 13:40 люстра не качалась, а в 16:30 – колебалась, мужчина ощутил толчки, метался кот. На

1-ом этаже деревянного дома наблюдатель ощущал землетрясение (сидел) в 16:22, в 19:10 люстра качалась, животные не реагировали; на втором этаже 2-х этажного дома люди ощущали землетрясение и в 13:40 качалась лампочка. (Ощущаемость аналогична наблюдавшейся в п.Новиково).

69) пос. Охотское – 3 балла.

Брусовой дом – в 13:37 жильцы отдыхали на диване, ощутили первый толчок, зазвенела посуда, вибрации продолжались 3-4 с. В шлакозасыпном деревянном доме слегка покачалась люстра в 13:37. На почте пенсионеры ощущали толчки. Деревянный дом в лесу – задрезжала кастрюля на табуретке. На 2-ом этаже – легкая вибрация. Засыпной дом – люстра раскачивалась секунд 5. Деревянный барак на 4 хозяина, женщина пришла со смены, занялась домашними делами и ничего не ощущала. За мостом – база отдыха ООО «Сахалинавтодор», в 16:22 в домике (сторожка) раскачивался светильник. В 21:37 – человек сидел на стуле и ощутил слабое раскачивание. Многие жители поселка не ощущали землетрясение ни дома, ни на улице.

70) мыс Крильон – 3 балла.

По информации, поступившей с метеостанции «Крильон» (ГМС), землетрясение ощущалось в 16:22, длительность колебаний была около 4 с. В 21:37 – ощущалось в течение 2 с, замечено раскачивание цветов на стене.

71) пос. Фирсово – 3 балла.

Девочка днем ощущала землетрясение на улице. В 13:40 и в 16:30 (сильнее) – в деревянном доме сидели люди, ощутили толчки; лампа, зеркало и шкаф – покачивались; женщина ощутила головокружение, мужчины растерялись и замерли.

72) пос. Береговой – 3 балла.

Северная часть поселка – жители ощущали первый толчок в 13:40, второй толчок – в 19:10, задрожала печка. Центральная часть поселка – не ощущали; южная часть – люди ощущали толчок в 21:40. За день до землетрясения хорошо ловились креветки и рыба, а потом – нет. В 19:10 женщина лежала на кровати, зашаталась печка и кровать (дом деревянный). В спортивном палаточном лагере на Вавайских озерах девушка стояла и ощутила толчки (2 секунды). Животные вели себя как обычно.



73) пос. Неводское – 3 балла.

Рыбная база. На 2-ом этаже задрожали шкафы, ничего не упало. Мужчина был на даче, спал и не проснулся от землетрясения.

74) пос. Пихтовый – 3 балла.

Дома деревянные одноэтажные. Находились дома в спокойном состоянии (4 чел.), в 13:40 ощутили толчок, вибрацию мебели, зашаталась антенна. Днем зазвенело пианино. В 16:22 – ощутил слабое колебание.

75) пос. Взморье – 3 балла.

Девушка с братом сидели на диване, в 13:40 ощутили толчки, шкаф зашатался. На 2-ом этаже двухэтажного дома в 16–25 юноша увидел колебание монитора компьютера. В деревянном частном доме наблюдали легкое покачивание в кресле. Деревянный барак – в 16:30 сидели и почувствовали толчки, покачивалась люстра («шаталась»); в кафе девушка слышала, как позвякивали стаканы на блюдцах, толчки не ощутила; на 1-ом этаже (2-х этажный дом) качалась люстра, в шкафу на стеклянной полке звенела посуда. В магазине продавец чувствовала колебания, кошка орала и вела себя необычно в день землетрясений. После опроса осталось впечатление, что землетрясение в 16:22 ощущалось немного сильнее, чем в 13:37. На улице не ощущали.

76) пос. Новиково – 3 балла.

На берегу моря (база рыбаков) в здании, спокойном состоянии ощутили небольшой волнообразный толчок (в 16:30), дневной толчок в 13:40 ощущали слабее.

В деревянном доме днем мужчина сидел и ощутил, как диван дважды дернулся; в 21:40 – ощутил толчок, сидя в кресле. В двухэтажном шлакоблочном доме на первом этаже мужчина отдыхал на кровати, заметил колебания, прошла волна, люстра не качалась. В 16:30 отмечено волнообразное подрагивание; в 16:30, 21:40 люди сидели на диване (водонасосная станция) и ощутили волнообразное колебание. Женщина на огороде (на сопке) ощутила непродолжительное пошатывание (не поняла что это такое, а потом узнала о землетрясении). Мужчина на 2-ом этаже каменного дома сидел на стуле и ощутил толчки, зашатался монитор.

Некоторые жители жаловались на головную боль в этот день. Суетился кот, орал перед землетрясением. В 16:30 замечено дре-

безжание стекла, колебание цветка – на втором этаже деревянного дома.

Море отошло от берега метра на 2–3, больше обычного. Днем ездили в пос. Озерский, на море было необычно спокойно (море замерло, «как стеклянное»).

77) пос. Ильинский – 3 балла.

Здание железнодорожного вокзала – в 13:37 ощущалась легкая вибрация мебели, «тряслись» цветы; в шлакоблочном одноэтажном доме «подскочила» кровать, закачались подвески на люстре. В 16:22 ощущались колебания в течение 30 с, наблюдалось раскачивание люстры. Ощущалось вечером около 19 часов, на улице не ощущали.

78) пос. Лесное – 2–3 балла.

Одноэтажный брусовый дом – в 16:25 жильцы отметили ощутимое покачивание (сидели на диване, испытали легкий испуг); двухэтажное шлакоблочное здание школы – на втором этаже раскачивались цветочные горшочки, в аналогичной квартире на втором этаже ничего не ощущали. В 21:37 заколебались подвески на люстре, завибрировал диван (дом из деревянного кругляка). Аптека – деревянный дом из бруса – не ощущали.

79) пос. Мальково – 2–3 балла.

Рыборазводный завод – в 13:37 мужчина сидел на стуле, покачало; три человека сидели в столовой на стульях, ощутили покачивание; женщина лежала на кровати, слегка покачало. На большом цветке задрожали листья (китайская роза). Ощущали и вечером в 21:37 – дернуло «как током», тоже наблюдали дрожание листьев китайской розы.

80) пос. Арсентьевка – 2–3 балла.

Житель одного единственного дома в 16:22 сидел и смотрел телевизор, свет погас, закачалось зеркало; вечером – ничего не ощущал.

81) пос. Восточка – 2 балла.

Деревянный 2-х этажный дом из бруса, женщина спала и ничего не ощущала, ее муж примерно в 15 часов ощутил легкое покачивание. Одноэтажный шлакоблочный дом – в доме культуры не ощущали, в магазине не ощущали. На 2-ом этаже шлакоблочного дома многие не ощущали, хотя сидели и смотрели телевизор, т.е. были в спокойном состоянии. Два человека сидели в креслах (на 2-ом этаже двухэтажного дома) и ощутили легкое покачивание (какие-то секунды).

82) пос. Чапаево – 2 балла.

Магазин шлакоблочный – не ощущали, в школе (шлакоблочной) на 2-ом этаже директор днем ощущал толчок. Работали в огороде, во дворе, стирали белье – не ощущали.

83) железнодорожная ст. Тихая – 2 балла.

На железнодорожной станции – ощущалась легкая вибрация («пошатало» чуть-чуть).

пос. Новый, пос. Тамбовское, пос. Пугачёво, о. Монерон – не ощущали.

Ниже приведены населенные пункты, где недостаточно данных для уверенного определения балла, а полученную информацию хотелось бы сохранить.

пос. Зырянское. Раиса Антоновна Шеломихина находилась в деревянном дачном доме. Первые толчки были около 14 часов дня, во время обеда. Второе землетрясение, около 16 часов, ощущалось сильнее всех – дом качался, но повреждений нет.

Серные источники. Ул. Набережная, дом 29. Татьяна Максимова отдыхала днем и проснулась от толчка в 13:40; в доме колыхались цветы, качались портреты, иконки и вещи на вешалках. Приехавшие из г. Холмска родственники, находились на улице, толчка не почувствовали. Толчок в 19:06 снова ощутила, лежа на кровати дома, закружилась голова. Еще толчок ощутила дома в 21:37, а утром 3 августа увидела, что некоторые портреты и иконки упали.

пос. Третья падь (береговая часть). На 3-ем этаже в 16:40 слабо ощущали, на верхних (3–5) этажах ощущалось сильнее – раскачивание люстры, дребезжание посуды. В

21:40 люстра и лампочка качались, стул задрожал (сидел и шил).

По информации сотрудника ИМГиГ О.А. Мельникова, на Южно-Сахалинском грязевом вулкане после землетрясений 2 августа в 2–3 раза увеличился дебит газа (метан, углекислый газ), замеры выполнялись в 12 и 18 часов.

Обобщение макросейсмических наблюдений. Как выяснилось при опросе населения в эпицентральной зоне, в течение первой половины суток после основного толчка, достаточно сильно (более 6 баллов) ощущались еще четыре землетрясения с магнитудой  $M > 5,0$  (табл. 6.5).

В своей монографии Н.В.Шебалин отмечал, что макросейсмические данные в принципе непосредственно отражают не процесс воздействия землетрясения на поверхность Земли и находящиеся на ней объекты, а лишь конечные результаты этого процесса, которые могут быть замечены и описаны, вначале качественно, а затем количественно, лишь после завершения, хотя бы временно, этого процесса [Шебалин, 2003].

Поскольку макросейсмическое обследование началось только на следующий день, 3 августа, указанный процесс уже состоял из нескольких сильных толчков, а исследователи наблюдали конечные результаты в виде суммарного эффекта этих землетрясений. Оценка силы сотрясения производилась по сейсмической шкале MSK-64 [Шкала сейсмической интенсивности..., 1965]. Для большей наглядности и удобства пользования ре-

Таблица 6.5

**Землетрясения с магнитудой  $M > 5,0$ , зарегистрированные 2 августа 2007 года сейсмическими станциями СФ ГС РАН в Невельском районе**

Время (местное) ч. м. с.	Время (Гринвич) ч. м. с.	Шир., с.ш.φ°	δφ°	Долг., в.д. λ°	δλ°	H, км	MLH/число	Mw	Прим.
13-37-39.5	02-37-39.5	46,81	0,04	141,83	0,07	11	6,3/4	6,2	Сов.
16-01-44.0	05-01-44.0	46,66	0,19	141,82	0,19	9	5,3/3		Лок.
16-22-16.2	05-22-16.2	46,72	0,11	141,71	0,07	15	6,0/4	5,8	Сов.
19-06-27.6	08-06-27.6	46,72	0,15	141,79	0,15	13	5,3/4		Лок.
21-37-29.6	10-37-29.6	46,63	0,19	141,82	0,19	9	5,5/4		Лок.

Сов. – эпицентр найден по региональной (СФ ГС РАН) и локальной сети станций (японские станции Datamark, обслуживаются СФ ГС РАН).

Лок. – эпицентр найден только по локальной сети станций.

зультатов детального макросейсмического обследования, описанных выше, они сведены в табл. 6.6 и затем использованы при построении карты пункт-балл.

При построении макросейсмической карты (рис. 6.17) для каждого населенного пункта приводился максимальный балл. На карте-схеме приведены эпицентры всех землетрясений (табл. 6.5) с заметным макросейсмическим эффектом.

Невельское землетрясение – сложное сейсмическое событие. В макросейсмической картине выделяется, по крайней мере, три сильных толчка, оказавших отдельное независимое влияние и выделявшихся наблюдателями как самые сильные. Причем в разных населенных пунктах наиболее сильным назывались разные землетрясения. Так как обследование проводилось спустя 2–4 дня после землетрясений, крайне сложно, оказалось, выделить проявления отдельных

толчков, поэтому приходится иметь дело с обобщенной макросейсмической картиной, явившейся результатом проявления всех сильных толчков первых суток Невельского сейсмического события.

По своим проявлениям на удалении от очаговой области Невельское землетрясение очень похоже на Горнозаводское землетрясение 2006 г., представлявшее собой сильное одиночное землетрясение, не осложненное сравнимыми по силе афтершоками. Для упрощения анализа макросейсмических проявлений Невельского землетрясения на расстоянии от очаговой области можно принять полученные результаты как следствие одного сильного землетрясения. Макросейсмическим эпицентром этого «обобщенного» землетрясения можно принять центр области афтершоков первых суток Невельского землетрясения ( $\varphi = 46,736^\circ$  с.ш.;  $\lambda = 141,82^\circ$  в.д.), а глубину – средней расчетной глубине

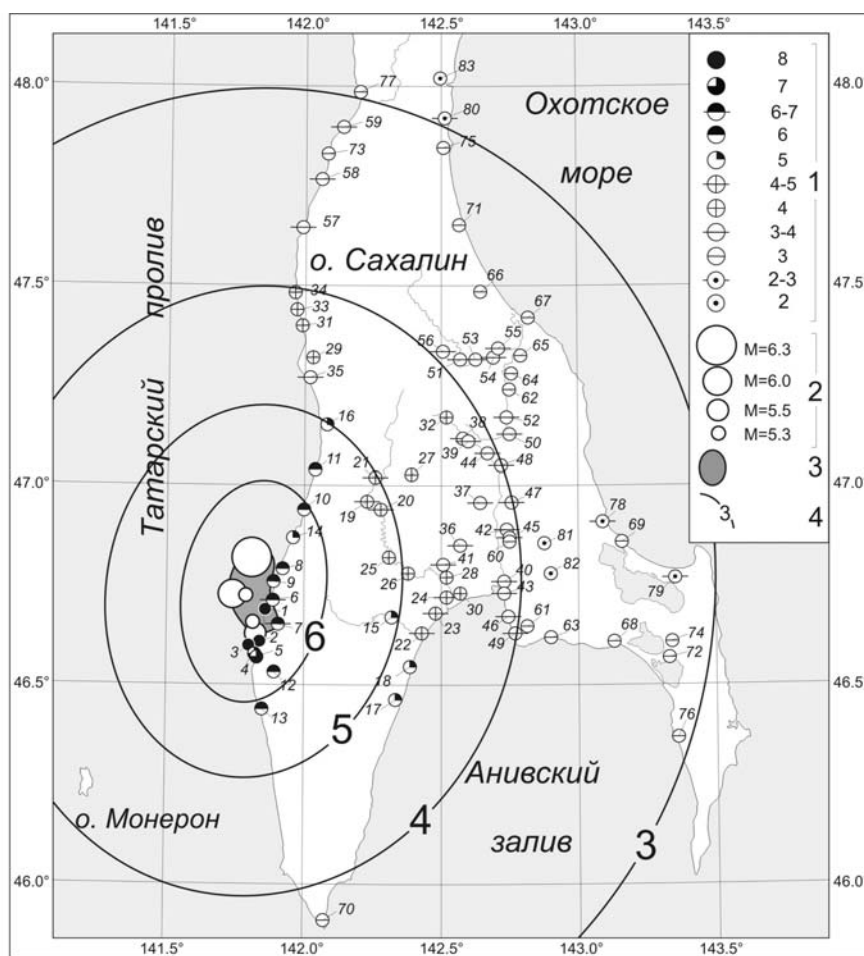


Рис. 6.17. Макросейсмический эффект Невельских землетрясений 2.08.2007 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – магнитуда землетрясения; 3 – область афтершоков первых суток; 4 – расчетные теоретические изосейсты.

Fig. 6.17. Macro seismic effects of the Nevetsk earthquakes of August 2, 2007.

1 – intensity in the MSK-64 scale; 2 – earthquake magnitude; 3 – aftershock's area within the first days; 4 – predicted theoretical isoseists.

Таблица 6.6

Невельское землетрясение 2 августа 2007 г.  $T_0 = 02 - 37 - 39.5$ ;  $MLH = 6,3 \pm 0,5$ ;  $\varphi = 46,82^\circ$ ;  $\lambda = 141,81^\circ$ ;  $h = 11 \pm 3$  км

№	Название пункта	$\Delta$ , км	Ощущение очевидцев							Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах и другие проявления землетрясения	I, балл
			Испуг			Движение предметов							Тип здания	Степень повреждения		
			Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колесование							
1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>8 баллов</i>																
1	г.Невельск	15	+				+	+	+	+	+	+	А-Б	4-5	Подъем брекватора на 1,5 м; приподнялось полотно моста; на причале бетон полопался и осел, длина трещины 106 м; выход газа метана в ковше; выход образований сифоны в воде образовались сифоны на глубине 7,5 м; вращение и разрушение памятника погибшим рыбакам.	8
2	пос.Селезнево	23	+				+	+	+	+	+	+	А-Б	4-5	Оползни; трещины на ж/д насыпи; исчез источник воды под сошкой	8
3	Пос.Лопатино, Невельского р-на	24	+				+	+	+	+	+	+	А-Б	4-5	Оползни; камнепады, осыпи; открытые трещины на дорогах; значительные деформации автомобильного моста; смещение ж/д. полотна и виадука; разрушение шлакоблочных и шлакозаливных индивидуальных домов; сдвигались памятники	8
<i>7 баллов</i>																
4	пос. Заречье	26	+				+	+	+	+	+	+			Во всех колодцах помутнела вода	7

№	Название пункта	Δ, км	Ощущение очевидцев										Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах и другие проявления землетрясения	I, балл	
			Испуг					Движение предметов								Тип здания	Степень повреждения			
			Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колёбанье	+	+	+								+
1	2	3															16	17	18	19
5	пос. Горнозаводск	28	+							+	+	+	+	+			А-Б	3-4	Осыпи; колебание отмечено лицами, ведущими автомашины; люди с трудом удерживались на ногах	7
<i>6-7 баллов</i>																				
6	пос. Колхозное	20															А-Б	2-4*		6-7
<i>6 баллов</i>																				
7	пос. Ясноморский	9	+/-	+/-						+/-	+	+	+	+					Отмечено образование волн в ограниченном водоёме, выход газа в устье реки Ясноморки; колебание отмечено лицами, ведущими автомашины, б	6
8	пос. Заветы Ильича	9	+/-	+/-						+/-	+	+	+	+		+	А-Б	2	Сильное раскачивание столов; проседание пола в доме; на сутки исчез источник воды (ручеек); плохое самочувствие в момент землетрясения	6
9	пос. Правда	20	+/-	+/-						+/-	+	+	+	+			А-Б	2	Падение пифера с крыши, потеря равновесия людьми	6
10	г. Холмск	30	+/-	+/-						+/-	+	+	+	+		+	А-Б	2-3	Трещины в бетонной дорожке около 4 м и шириной 0,5 см, трещины между плитами на земле	6
11	пос. Ватугино	32		+/-						+/-	+	+	+	+			А-Б	1-2	На поверхности воды наблюдалась рябь; раскачивало автомобиль	6

№	Название пункта	Δ, км	Ощущение очевидцев								Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах и другие проявления землетрясения	I, балл
			Испуг				Движение предметов							Тип здания	Степень повреждения		
			Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Не ощутили	Падение	Движение	Колесование	Трещины							
1	2	3	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15	16	17	18	19
12	пос. Шербурино	42		+			+/-	+	+	+	+		A-B	2-3	Колесание поверхности воды; колесались теплица, дачный домик	6	
<i>5 баллов</i>																	
13	пос. Калинино	13		+/-				+	+	+	+		A-B	1	Сильное раскачивание телеграфных столбов	5	
14	пос. Зеленодольск	42		+/-	+/-			+	+	+	+				Раскачивалась машина	5	
15	пос. Яблочный	43			+		+/-	+	+	+	+				Отмечен выброс морской капусты с корнями по всему побережью	5	
16	Рыбакский стан	54		+/-	+/-			+	+	+	+				Упал уровень воды в реке	5	
17	пос. Кириллово	58			+			+	+	+	+					5	
<i>4-5 баллов</i>																	
18	г. Анива	47			+			+	+	+	+					4-5	
19	пос. Золоторыбное	53		+/-	+/-			+	+	+	+					4-5	
20	пос. Таранай	53			+			+	+	+	+					4-5	
<i>4 балла</i>																	
21	пос. Чапраново	35			+			+	+	+	+					4	
22	пос. Огоньки	44			+			+	+	+	+					4	
23	пос. Воскресенское	54			+			+	+	+	+					4	
24	пос. Песчанское	59			+			+	+	+	+					4	



№	Название пункта	Δ, км	Ощущение очевидцев						Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах и другие проявления землетрясения	I, балл	
			Испуг			Движение предметов						Тип здания	Степень повреждения			
			Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Падение	Движение	Колёбанье								
1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
41	пос. Ново-Александровск	74			+/-	+/-			+							3-4
<i>3 балла</i>																
42	пос. Листвиичное	72			+/-	+/-			+							3
43	пос. Первая падь	72			+/-	+/-			+							3
44	пос. Корсаков	74			+/-	+/-			+							3
45	пос. Раздольное	79			+/-	+/-			+							3
46	пос. Советское	97			+/-	+/-			+	+						3
47	пос. Стародубское	101			+/-	+/-			+							3
48	пос. Озерский	103			+				+							3
49	пос. Охотское	103			+/-	+/-			+	+						3
50	м. Крильон	105														3**
51	п. Фирсово	108			+/-	+/-			+							3
52	пос. Пихтовый	119			+				+							3
53	пос. Береговое	119			+/-	+/-			+							3
54	пос. Новиково	128			+				+							3
<i>2-3 балла</i>																
55	пос. Мальково	117			+/-	+/-			+							2-3



№	Название пункта	Δ, км	Ощущение очевидцев						Звон стекла	Выплескивание жидкости	Гул	Повреждение зданий		Остаточные явления на грунтах и другие проявления землетрясения	I, балл		
			Испуг			Движение предметов						Тип здания	Степень повреждения				
			Сильный испуг	Испуг	Не испугались	Падение	Движение	Колёбанье									
1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
<i>2 балла</i>																	
56	пос. Березники	79			+/-	+/-											2
57	пос. Старорусское	80			+/-	+/-											2
58	пос. Восточка	81			+/-	+/-											2
59	пос. Чапаево	83			+/-	+/-											2
60	пос. Сокол	85			+/-	+/-											2
61	пос. Пригородное	86			+/-	+/-											2
62	пос. Такое	87			+/-	+/-											2

\* данные [Кофф, Малаховский, Ким, 2007]

\*\* Данные, переданные по телефону.

+/- – частичное проявление признака.

Не опутили: пос. Тамбовское, пос. Взморье, пос. Лесное, г. Чехов

афтершоков ( $h \approx 10$  км). Сам предположительный очаг Невельского события, включающий эпицентры афтершоков первых суток, имеет размеры  $25 \times 13,5$  км, вытянут в субмеридианальном направлении вдоль побережья, эпицентры сильнейших толчков расположены на его северной, западной и южной границах (рис. 6.17).

Полученные в результате обследования значения балльности в населенных пунктах и взятые относительно центра области афтершоков первых суток значения гипоцентрального расстояния дают возможность рассчитать уравнение среднего макросейсмического поля для суммарного макросейсмического эффекта Невельских землетрясений. Расчетное соотношение имеет вид:

$$I = 12,05 - 4,48 \lg R,$$

где  $I$  – интенсивность сотрясений на гипоцентральном расстоянии  $R$  от условного макросейсмического гипоцентра.

Вычислив уравнение среднего макросейсмического поля можно построить расчетные изосейсты.

Выведем формулу для определения среднего радиуса изосейсты. Из соотношения уравнения среднего макросейсмического поля [Шебалин, 1974] следует:

$$\bar{\Delta}_i = \sqrt{10^{\frac{2(bM+c-I)}{v}} - h^2},$$

где  $\bar{\Delta}_i$  – среднее расстояние до пунктов  $i$ -го балла,  $I$  – интенсивность расчетной изосейсты,  $v$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты уравнения среднего макросейсмического поля,  $M$  – магнитуда землетрясения.

$$R = \sqrt{\Delta_i^2 + h^2}.$$

В нашем случае:

$$bM + c = 12,05; v = 4,48.$$

Однако радиус изосейсты и среднее расстояние до пункта с данной балльностью – понятия не тождественные, так как по определению Н.В.Шебалина «ныне изосейстой принято называть внешний контур области уверенного определения данной макросейсмической интенсивности (балльности)» [Шебалин, 2003], т.е. радиус изосейсты больше среднего расстояния до пункта  $i$ -го балла и связан с ним формулой:

$$\bar{\Delta}_i = r_i \cdot 10^{-\frac{1}{2v}},$$

где  $r_i$  – средний радиус изосейст  $i$ -го балла.

Объединяя соотношения (2) и (4) получим формулу для вычисления среднего радиуса изосейст землетрясений:

$$r_i = 10^{\frac{1}{2v}} \cdot \sqrt{10^{\frac{2}{v}(bM+c-I)} - h^2},$$

или

$$r_i = 1,29 \sqrt{10^{0,45(12,03-I)} - 10^2}.$$

Также необходимо учесть вытянутость очаговой области Невельского землетрясения, этот эффект должен иметь значительное влияние на изосейсты больших баллов и сглаживаться с расстоянием. Для этого при построении увеличим эллипс изосейсты на 5,6 км в направлении его главной оси и уменьшим на столько же по второй оси. В соответствии с определенными механизмами для двух сильных толчков, эллипсы изосейст можно повернуть по часовой стрелки на небольшой угол ( $9^\circ$ ).

По описанной методике были построены расчетные изосейсты интенсивности с 3 по 6 балл. Уже для изосейсты 6 балла заметно значительное расхождение наблюдаемых и расчетных значений интенсивности, вызванное сложным характером Невельского события. Строить изосейсту для  $I=7$  по указанной методике уже не имеет смысла.

Как видим, макросейсмический эффект землетрясения достигал 8 баллов в центральной и южной частях Невельска и поселках Селезнево и Лопатино. В северной части Невельска и в поселке Горнозаводск интенсивность сотрясений составила 7 баллов.

### 6.5.2. Геологическое обследование (характер разрушений и повреждений, подъем дна моря и другие эффекты)

Данное обследование выполнили А.И. Кожурин (ГИН РАН, Москва), С.П. Никифоров (ИМГиГ ДВО РАН), А.Л. Стром (ИДГ РАН, Москва) и В.Л. Ломтев (ИМГиГ ДВО РАН).

*Характер разрушений, их локализация в пределах обследованной части г. Невельск.* Собранные данные позволяют качественно оценить распределение интенсивности сей-

смических воздействий и сопоставить их с данными о положении эпицентра, главного толчка, очаговой области, определяемой по положению облака афтершоков и о распределении сеймотектонических эффектов землетрясения, выразившихся в поднятии прибрежной части морского дна.

Значительные повреждения зданий и сооружений в г. Невельск наблюдаются преимущественно в центральной и южной частях города. В северной части города, от устья р. Ловецкая и примерно до широты переезда автодороги через линию железной дороги, наблюдается, в основном, только падение кирпичных дымовых труб, преимущественно в деревянных домах старой постройки, причем есть дома, трубы на которых уцелели (фото 35). Отметим, что севернее устья р. Ловецкая, а также в дачных поселках вверх по ее течению видимых повреждений зданий и сооружений не отмечено.

В промзоне на берегу моря в северной части города отмечено падение торцовой стены цеха, который, впрочем, уже до землетрясения находился в полуразрушенном состоянии (фото 36).

Повреждения зданий в центральной части города, в районе дома №40 по ул. Советская (фото 37) и севернее, намного сильнее, хотя конструкция и, очевидно, состояние большинства зданий, явно не соответствовали нормативному уровню сейсмичности района по карте ОСР-97 (8 баллов по карте А и 9 баллов по карте В).

Крупные трещины видны в широкопролетных пристройках к зданию Морского Колледжа на ул. Советская (очевидно, актовый и спортивный залы) (фото 38), хотя расположенный рядом памятник Невельскому практически не пострадал (есть только небольшая трещина в верхней части постамента – фото 39).

В южной части города, в районе устья р. Казачка, происходило падение кирпичных труб как на деревянных, так и капитальных домах, а также частично обрушился старый полусгнивший железобетонный причал.

Был несколько поврежден автомобильный мост через р. Казачка. Судя по характеру ремонтных работ, которые были проведены до обследования, несколько просело дорожное полотно, примыкающее к мосту.

Расположенный рядом железнодорожный мост видимых повреждений не имеет.

В целом, в северной части города, повреждения сопоставимы с центральной частью. По имеющимся данным трудно судить, что в большей степени определяло характер повреждений – фоновая интенсивность сотрясений, грунтовые условия или состояние зданий.

Как это ни странно, весьма значительные повреждения получили автодорога и автомобильный и железнодорожный мосты через р. Амурская, расположенные в 6 км южнее города, примерно на широте южного края облака афтершоков.

На дорожном полотне и его западной обочине образовались протяженные трещины шириной до 5–10 см., морфология которых свидетельствует о деформации грунта по типу левого сдвига (фото 40) – как если бы полотно сдвинулось в сторону наблюдателя. Подчеркнем, что речь идет исключительно о деформации в грунтах, не связанных с тектоническими деформациями. Скорее всего в результате толчка менее плотный грунт на обочине дороги двигался в южном направлении более свободно, чем грунт, прижатый асфальтовым покрытием, трещины в котором, наоборот, говорят о поперечном растяжении.

Деформации самого автомобильного моста свидетельствуют о том, что пролетное строение было сдвинуто на юго-восток с небольшим разворотом по часовой стрелке. Об этом говорят разные амплитуды смещения бордюрного камня: 45 см на северо-восточном краю моста (фото 41) и 20 см на юго-западном (фото 42). При этом северо-восточный конец пролетного строения был сброшен бетонных подушек, что привело к его просадке. На промежуточной опоре пролетное строение сдвинулось с подушек, но не полностью.

Характер повреждений на расположенном рядом железнодорожном мосту иной. Произошло сильное оседание грунта у примыкания краевого железобетонного пролета к насыпи на южном берегу реки, что сопровождалось разрушением облицовки откоса из бетонных плит (фото 43). Судя по характеру трещин в бетонном блоке, к которому примыкает центральный – стальной – про-

лет моста и по наклону качающейся опоры (фото 44), центральный пролет в ходе землетрясения сместился на юго-запад, ударился о бетонный блок и вернулся назад, но не в исходное положение.

В целом, характер деформаций пролетных строений обоих мостов на этом участке говорит о движении в направлении от эпицентра.

*Оползневые явления.* Следует отметить, что склоны непосредственно над городом на протяжении примерно 3,5 км к северу от устья р. Казачки в значительной степени затронуты оползневыми процессами. На склонах отчетливо видны следы ранее происшедших оползней, как мелких приповерхностных, так и крупных оползней глубокого заложения.

Весьма благоприятным оказалось то обстоятельство, что землетрясение 2 августа не привело к масштабной активизации оползней. По крайней мере, видимых проявлений при осмотре из города не видно, однако при более детальном осмотре одного из участков – обращенного на юг склона над заправкой в устье р. Казачки, также представляющего собой древний оползень, были обнаружены многочисленные свежие разрывы дернины (фото 45), указывающие на то, что здесь произошла активизация оползня.

Помимо отмеченных разрывов дернины на описанном участке наблюдался выброс грунта в верхней части склона (фото 46). Такой эффект свидетельствует о значительном горизонтальном ускорении в пригребневой части склона, направленном на юг.

*Поднятие прибрежной части морского дна.* Наиболее эффективным последствием Невельского землетрясения стало почти мгновенное сейсмогенное воздымание трех прибрежных участков скального дна (бенчи), сложенных крутопадающими к западу пластами алевролитов невеличской свиты среднего миоцена, частью окремнелых. Признаки этого геодинамического эффекта были выявлены на протяжении не менее 5,5 км, начиная примерно с 3 км южнее устья р. Казачка и до северного конца мола, защищающего Невельский порт (фото 47–50). Они заметно нарастили территорию Невельска, вытянутого узкой полосой на 10 км к югу от устья реки и бухты Ловецкой. Это приращение –

новый факт в современной истории Сахалина, площадь которого из-за абразии берегов сокращается [Атлас береговой зоны..., 2002].

Ниже дана краткая характеристика новобразованных невеличских бенчей (рис. 6.18).

**Южный бенч.** Примыкает к южной окраине Невельска, где узкой (200–250 м) полосой протянулся на 2,3 км мористее прежнего берега, почти везде защищенного волноотбойной стенкой. Бенч имеет горизонтальную поверхность, срезающую выходы пластов алевролитов невеличской свиты, и ограниченную со стороны моря крутым уступом. Он слегка драпирован осадками с многочисленной ракушкой и редкими валунами. Во время землетрясения 2 августа южный бенч был поднят только на 0,5–1 м до уровня моря, поэтому частью притолен. При штормовых нагонах он затапливается с увеличением глубин до ~ 0,5 м.

При визуальном осмотре здесь не обнаружены свежие сейсмогенные трещины или разломы, что указывает на блоковый характер деформации скального основания, сложенного невеличскими алевролитами. Их пласты ориентированы к СЗ под острым углом к простирацию берега и в полосе современного пляжа погребены под его песчаными наносами мощностью более 1 м. Заметим, что в месте их выхода на берег последний меняет свою ориентировку с субмеридиональной на юго-западную. Отметим спокойный, не нарушенный землетрясением контакт южного бенча с прежним песчаным берегом и защищающей его от размыва волноотбойной стенкой.

**Центральный бенч** (рис. 6.18, 6.19). Располагается мористее небольшого выступа песчаного берега в южной части Невельска близ устья р. Казачки. В плане он вытянут к СЗ на 750 м при ширине до 250 м. На его окончании в послевоенное время был построен южный мол длиной 300 м (известная лежка сивучей), поднят, судя по уровню, на котором он зарос морской капустой, на 1–1,5 м (рис. 6.19). Центральный бенч имеет ровную поверхность, выступающую на 0,5–0,8 м над уровнем моря у внешнего, западного края, и почти незаметный уклон к берегу. Она срезает крутопадающие к западу пласты невеличских алевролитов и местами слегка драпирована наносами (прибреж-



Рис. 6.18. Схема новобразованных невелиских бенчей масштаба 1:62500 с эхопрофилем №307 в Ловецкой бухте.

Fig. 6.18. Sketch showing newly-formed benches in the scale of 1:62500 with the №307 echo – location sea bottom profile in Lovetskaya Bay.



Рис. 6.19. Центральный бенч: – южный мол с морской капустой в нижней части западной стенки (фото С.А. Чиркова).

Fig. 6.19. Central bench – southern jetty with laminaria seen on the bottom of the western wall (Photo by S.A. Chirkov).

ная часть бенча) и матами из морской капусты. При спокойном море центральный бенч полностью осушен, но при штормовых нагонах может частично или полностью покрываться тонким слоем воды.

При визуальном осмотре обнаружены несколько выходов метана вдоль северного края бенча, шхерный, местами фиордовый, облик его западного и северного краев, почти идеальную гладкость западного края в полосе шириной первые десятки метров, природа шлифовки (плавучие льды?) которой неясна ввиду отсутствия наносов. Здесь также нет крупных свежих сейсмогенных трещин или разломов, в том числе на молу, что указывает на блоковый характер подвижек скального основания. Поскольку палеоглубины по данным опрошенных местных рыбаков на внешнем крае бенча не превышали 1 м, следовательно, амплитуда его сейсмогенного воздымания превысила 1,5 м. Отметим, что здесь, как и южнее, наблюдается спокойный, не нарушенный землетрясением контакт центрального бенча с берегом, укрепленным волноотбойной стенкой.

*Северный островной бенч* (рис. 6.18, 6.20). Судя по полосе морской капусты на нижней части восточной стенки полуразрушенного северного мола, узкому пляжу вдоль восточной стенки мола в его южной части и осушению значительной площади прилегающего скального дна, этот участок бенча возник после землетрясения 2 августа за счет сейсмогенного поднятия на 1–1,5 м. Протяженность острова с севера на юг достигает 2 км при ширине до 150–210 м. С западной стороны он почти недоступен из-за рифов, местами с выходами пластов окремнелых алевролитов с острыми режущими краями (рис. 6.19).

Рельеф бенча ложбинно-грядовый с двумя крупными, но мелкими (до 1–1,5 м) заливами. Головы пластов невелиских алевролитов здесь также круто падают к западу и в рельефе четко выделяются из-за отсутствия наносов. Наиболее крупные гряды имеют высоту до 1 м и связаны, вероятно, с межпластовыми сбросами и отчасти с выходами прочных окремнелых алевролитов (рис. 6.20). Валунно-галечные осадки обнаружены лишь у западной стенки мола, где они слагают узкий пляж. На подводном продолжении острова к северу эхопрофилем № 307 обнаружены продольные структурные гряды, частью перегораживающие выход из Ловецкой бухты и связанные видимо с выжианием невелиских алевролитов при крипе. Высота гряд достигает 10 м, что на порядок



Рис. 6.20. Северный островной бенч: панорама бенча к северу с рифами слева, грядой окремнелых алевролитов высотой до 1 м справа и продольной трещиной шириной 10 см в центре, связанной с межпластовым сбросом (фото В.М. Кайстренко).

Fig. 6.20. Northern insular bench: bench view is to north; reefs (to the left), 1 (one) meter high ridge of petrified siltstones (to the right); 10 cm wide longitudinal crack (center), associated with interstratal fault (Photo by V.M. Kaistrenko).

выше амплитуды сейсмогенного поднятия невельских бенчей (см. выше). Следовательно, они возникли задолго до 2.08.2007 г., что важно подтвердить при их водолазном обследовании, включая и скальную гряду высотой более 6–8 м с многочисленными подводными и надводными рифами, перегораживающую соседнюю (в 4 км к северу) Ясноморскую бухту, обнаруженную во время промера 6 сентября.

На акватории Невельского порта максимальные (до 7,3 м) глубины дна в восточной части по данным батиметрической съемки 6 сентября и попутного промера с траулеров (по данным капитана порта) не изменились после землетрясения, хотя именно здесь наблюдался массовый выход метана 3 августа. Однако во время батисъемки здесь были лишь отдельные струи, а максимум газовыделения наблюдался на выходе из порта

(фарватер между северным и южным молами, ограниченный створными знаками). Метан вероятно связан с угольными и/или нефтяными (вскрыты Ловецкой поисковой скважиной, пробуренной в долине одноименной реки в 4 км от ее устья) пластами. Наличие газа в придонном осадочном разрезе близ края шельфа ЮЗ Сахалина, сложенном в основном переотложенными продуктами его абразии, фиксирует известная в сейсморазведке МОВ отражающая граница BSR (bottom-simulating reflector [Тектоническое районирование..., 2006; и др.]) в подошве слоя газогидратов на профиле МОГТ №11 (рис. 1.9). Последние в Татарском проливе впервые были обнаружены в придонных осадках мелкой скважиной ДВМИГЭ на Изыльметьевской газовой площади его сахалинского шельфа близ п-ова Ламанон [Левин, Ким, Тихонов, 2007].

*Результаты нивелирных измерений в прибрежной части морского дна.* Последующий анализ основан на материалах визуальных наблюдений и измерений на участках, где поднятое дно оказалось выше уровня моря. Измерения производились 08.08.2007 г. в период с 15 до 17 час по местному времени (по Гринвичу – 10 час) и 16.08.2007 г. в период с 9:30 до 16 часов с помощью рейки и ручного нивелира. Фиксировалась высота поверхности, покрытой бентосной фауной и флорой (фото 51), или уровень обрастания стенок водорослями (фото 52) что позволяло уверенно говорить о минимальной высоте поднятия морского дна, поскольку данные виды фауны и флоры не живут даже в зоне литорали.

Дно поднялось в зоне протяженностью не менее 5,5 км, вытянутой в субмеридиональном направлении. Судя по произведенным замерам и сообщениям местных жителей, максимальные амплитуды поднятия (~ 1 м) наблюдались в северной части видимого поднятия к западу от мола, ограждающего Невельский порт (см. фото 48). По сообщению СМИ значительные поднятия произошли в районе причалов 7 и 8.

Поскольку из-за приливно-отливных явлений уровень моря не постоянен, утром 16 августа вблизи нескольких точек измерений 8 августа были произведены повторные замеры. Разница высот составила – 18 см. Соответственно, прибавляя 18 см к замерам,

произведенным утром 16 числа, их можно сопоставлять с замерами, произведенными 8 августа. Приводя значения всех замеров к уровню моря на период с 15 до 17 час (время местное) 08.08.2007 г. получаем, что непосредственно к северу от устья р. Казачка на протяжении примерно 700 м с востока на запад амплитуда поднятия возрастает не менее чем на 40 см – с 20–30 см до 68–70 см (относительно уровня моря на 15–17 час 08.08.2007 г.). При этом амплитуда поднятия собственно дна на расстоянии около 450 м возрастает примерно на 20 см, т.е. произошел не только незначительный перекося абразионной поверхности дна моря с наклоном к востоку, но и, возможно, некоторый сводовый изгиб. Следует, впрочем, отметить, что точность измерений из-за колебаний уровня моря как в разные дни, так и в течение дня не позволяет уверенно говорить об изгибных деформациях.

Судя по наблюдениям за ориентировкой водорослей, выполненным 8 августа к северу от устья р. Казачка, сток воды на большей части осушенного участка дна происходил в восточном направлении, т.е. к берегу. Это также говорит об увеличении амплитуды воздымания дна в западном направлении (от берега). На западном краю области осушки наблюдались, по-видимому, следы заплеска невысокой (~ 1 м) волны цунами (фото 51), которая, по свидетельству очевидцев, пришла после поднятия дна. Они же отметили, что поднятие произошло сразу после главного толчка землетрясения.

Из-за отсутствия сравнительных данных о глубинах моря к западу от отмели до и после землетрясения мы не можем судить о том, насколько далеко к западу распространялась поднятие. В пределах собственно территории острова оно, если и имело место, то было незначительным, о чем говорят, к примеру, следы осушки на опорах железнодорожного моста в приустьевой части р. Казачка, не превышающие 10–15 см. Выше моста берега реки покрыты «сухопутной» травой, сразу начиная от уреза воды в реке, т.е. подьема здесь практически не было.

Значительная часть поднятого выше уровня моря морского дна сложена коренными породами, азимут простирания которых совпадает с простиранием поднятия

(фото 54). Наличие коренных пород в поднятии свидетельствует о том, что и до землетрясения соответствующий участок акватории был областью размыва, то есть относительного воздымания (на топокарте показан значком «подводные камни»). Эта хорошо видно на аэрофотоснимках, сделанных до землетрясения.

При этом и в районе мола к северу от устья р. Казачки, и южнее, западная часть поднятого участка дна сложена коренными породами, а участки, расположенные ближе к берегу, покрыты маломощным чехлом песчано-галечных морских отложений. Это указывает на то, что перекося абразионной поверхности морского дна происходил и ранее. Таким образом, можно говорить об определенной унаследованности движений. Все это позволяет с большой уверенностью полагать, что Невельское землетрясение 2007 г. отражает долговременный режим развития прибрежной зоны на этом участке.

Сейсмогенные разрывы на суше и в пределах поднятого участка акватории не обнаружены. Очевидно, что разлом, подвижка по которому вызвала землетрясение, находится западнее поднятия. На аэрофотоснимках прибрежной части акватории в районе мыса Лопатина видно замыкание складки, восточное крыло которой, очевидно и обнажается на поднятом участке морского дна. Соответственно, предполагаемый разлом должен проходить западнее, то есть не ближе 5 км от побережья в районе Невельска.

*Газовые проявления.* К северо-западу от устья р. Казачка, у восточного края мола и на осушенном участке дна наблюдаются выходы газа без цвета и запаха, вероятно метана (фото 55). По словам очевидцев, непосредственно во время землетрясения и сразу после него выходы газа в устье Казачки были очень интенсивными.

По информации сотрудника ИМГиГ ДВО РАН О.А. Мельникова, на Южно-Сахалинском грязевом вулкане после землетрясений 2 августа в 2–3 раза увеличился дебит газа (метан, углекислый газ), замеры выполнялись в 12 и 18 часов.

*Выводы.* Судя по характеру поврежденных зданий и сооружений, можно сделать заключение, что на участке побережья в северной части г. Невельск интенсивность сотря-

сений была меньше (не более 6 баллов), чем в центральной и южной частях города, а также в районе устья р. Амурская, где были повреждены мосты и интенсивность сотрясений могла достигать 7–8 баллов. По-видимому, это обусловлено, в первую очередь, грунтовыми условиями. Как сказано выше, здания и сооружения в прибрежной (портовой) части города по данным вице-мэра В.П. Мясникова были построены на отсыпном грунте, местами избыточно обводненным.

Интенсивность сотрясений неплохо коррелирует с амплитудой поднятия прибрежной части морского дна, которая может соответствовать амплитуде подвижки по сейсмогенерирующему разлому, проходящему в море к западу от побережья, вероятно в зоне, маркируемой облаком афтершоков.

Наиболее вероятно, что в данном случае мы имеем дело с Западно-Сахалинским разломом или с какой-то его ветвью. Согласно карте В.С. Рождественского и М.И. Стрельцова, разлом проходит на широте Невельска примерно

в 5–5,5 км западнее береговой линии. На тектонической схеме, сопровождающей новую геологическую карту юга Сахалина (м-б 1:200 000, авторы А.Э. Жаров и В.Г. Гальверсен), основной разлом, отделяющий поднятие острова от смежного прогиба Татарского пролива, находится еще дальше к западу – примерно в 10 км от береговой линии.

Предполагаемая кинематика подвижки по разлому, согласующаяся с данными определения механизма очага – взброс с относительным воздыманием восточного крыла. Возможные протяженность разрыва, соответствующая протяженности поднятия и величина подвижки не выходят за пределы значений, характерных для землетрясений с такой магнитудой.

Следует обратить особое внимание на состояние склонов над городом, организовав хотя бы их регулярное визуальное обследование, с тем, что бы не пропустить признаков более крупномасштабной активизации оползней.

## 6.6. Организация эвакуации пострадавших жителей Невельского района

Эвакуационная комиссия Невельского муниципального района приступила к работе сразу же после случившегося землетрясения, руководствуясь Положением об эвакуационной комиссии и о планировании организации и проведения эвакуации населения при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

Положительную роль при организации мероприятий сыграли учебные сборы, тренировки, проводимые в плановом режиме в администрации муниципального образования. В первые минуты после землетрясения были определены места в г. Невельск для развертывания пунктов временного размещения. Было определено девять таких площадок, расположенных вдали от зданий (на площади, стадионе, в скверах, набережной). За каждым из пунктов был закреплен ответственный – председатель сборного эвакуационного пункта, что позволило в дальнейшем избежать хаоса и неразберихи в управлении всеми вопросами организации жизни людей в условиях временного размещения (питание, лечение, соблюдение санитарных и ги-

гиенических правил, работа психологов, организация питания малолетних детей и т.д.).

Сразу же по данному вопросу было издано распоряжение комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Невельского района от 02 августа 2007 года № 14-5.

Для информирования населения по городу передвигался автомобиль с установленной громкоговорящей связью, сообщалось о местах нахождения пунктов временного размещения, куда люди добирались самостоятельно, а больных или мам с малолетними детьми доставляли автотранспортом. Были привлечены 16 автобусов ОАО «Невельскавтотранс» и 13 микроавтобусов Невельской общественной организации автопредпринимателей «Мотор».

В соответствии с распоряжением Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Невельского района, исходя из оценки ситуации (подземные толчки продолжались), уже 3 августа началась работа по организации эвакуации жителей Невель-



ска за пределы района. К 5 августа были подготовлены санатории, детские лагеря, учреждения социальной защиты для приема пострадавших в г. Южно-Сахалинск, Анивском, Макаровском, Долинском, Холмском и Тымовском районах области. К 13 часам 5 августа покинули город 236 детей, 56 инвалидов и 64 родителя с детьми. За первые 5 дней было эвакуировано 740 человек. 297 человек самостоятельно разместились в дачных поселках (фото 56).

Сахалинской железной дорогой – филиалом ОАО «Российские железные дороги»

### 6.7. Организация проектирования и строительства объектов жилищного фонда, инженерной инфраструктуры, социальной сферы, объектов федерального значения

В результате землетрясения пострадали и были признаны непригодными для эксплуатации и подлежащими сносу 239 жилых домов, в том числе 158 объектов муниципальной собственности, и 29 объектов социально-культурной сферы.

Во исполнение поручения Президента Российской Федерации от 10 августа 2007 года № Пр-1474 о срочной подготовке плана восстановительных работ, а также поручения Правительства Российской Федерации от 15 августа 2007 года № АЖ-П9-4034 было принято решение о восстановлении г. Невельск, о строительстве новых жилых домов и инженерной инфраструктуры, объектов социальной сферы. Для этих целей из федерального и областного бюджетов выделено 11,1 млрд. рублей. Министром регионального развития Российской Федерации утвержден Перечень финансирования в 2007–2010 годах объектов, подлежащих строительству на территории Сахалинской области в целях ликвидации последствий землетрясения, в который включено строительство 83,9 тысяч квадратных метров жилья (1837 квартир), 13 объектов инженерной инфраструктуры (в том числе здания новых пожарных депо в г. Невельск и пос. Троицкое Анивского района), 11 объектов социально-культурного назначения (2 детских сада на 110 мест, 1 детсад на 70 мест, школа на 400 учащихся, спортивный комплекс, поликлинический комплекс, включающий детскую, взрослую и стоматологическую поликлиники, дом культуры, школа

были выделены 7 вагонов для размещения пострадавших на станции Невельск, которые прибыли вечером 3 августа. За весь период эвакуации в вагонах проживало 300 человек, в первую очередь – престарелые, инвалиды, мамы с грудными детьми. Вагоны использовались до 3 сентября.

Палаточные лагеря в Невельске были свернуты 15 сентября 2007 года.

Эвакуация продолжалась до 21 февраля 2008 года. На эту дату в 17 пунктах временного размещения проживало 1106 человек, в том числе 140 инвалидов, 567 детей.

искусств, библиотека, здания ЗАГС и администрации муниципального образования).

Кроме того, было выделено 1,3 млрд рублей на проектирование и строительство 12 объектов федеральной собственности (здания налоговой инспекции и федерального казначейства, дома правосудия, военкомата, управления внутренних дел, ФСБ, почты, ГИМС и другие).

Территория г. Невельск протянулась вдоль морского побережья с севера на юг, а с востока «зажата» лавино-, селе-, оползнеопасными склонами сопки. Через весь город проходит железная дорога, а в центре города расположен Невельский порт со своими санитарно-защитными зонами. В соответствии с заключением о Невельском землетрясении и о предварительной оценке сейсмической опасности территории г. Невельск, выполненном Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН, наиболее пострадавшая центральная часть города была признана непригодной для строительства жилых зданий. Эти обстоятельства повлияли на принятие решения о развитии города.

Схема существующей застройки Невельска претерпела существенные изменения: город получил развитие в северном микрорайоне на насыпных территориях и в южном распадке. Центральная часть города предназначена для размещения объектов административного и социального назначения (фото 57–63). Это повлекло необходимость реконструкции ранее существовавшей системы тепло-, водо-, электроснабжения и водо-

отведения. В настоящее время ведется проектирование по этим направлениям.

Кроме того, с учетом дефицита пригодных для застройки территорий в г. Невельск, был принят следующий вариант строительства жилых домов для граждан, изъявивших желание получить новое жилье взамен утраченного: строительство в г. Невельск площадью 51,4 тысяч квадратных метров и в пос. Троицкое Анивского района (вблизи г. Южно-Сахалинск) 26,6 тысяч квадратных метров (фото 64–66).

Остальные пострадавшие граждане воспользовались правом на жилищный сертификат для покупки жилья на вторичном рынке. В соответствии с распоряжениями Правительства РФ от 28.09.2007 № 1297-р, от 20.10.2007 № 1452-р, от 04.08.2008 № 1120-р Сахалинской области было выделено 1909 именных государственных жилищных сертификатов для выдачи их гражданам, лишившимся жилья, для приобретения квартир.

Учитывая необходимость максимально-го сокращения сроков проектирования и строительства объектов для восстановления нормальной жизнедеятельности города, распоряжением Правительства РФ от 09.08.2007 № 1030-р было разрешено одновременно осуществлять на основе типовых проектов разработку проектной документации, ее государственную экспертизу с последующим поэтапным осуществлением строительства. Несомненно, это дало значительное сокращение времени на все подготовительные работы и уже 1 декабря 2007 года первые 18 семей новоселов получили ключи от квартир в новом доме (ранее – объект незавершенного строительства, подрядчик – ООО «Передвижная механизированная колонна», директор А.П. Антошин). Конечно, это были ветераны и участники Великой Отечественной войны. Новый 2008 год встретили в новых квартирах еще 300 семей, разместившихся в 24 домах, построенных компанией ООО СКФ «Сфера» (генеральный директор А.Р. Залпин – заслуженный строитель Российской Федерации) (фото 67).

Однако у этого решения был и отрицательный аспект. Город Невельск застраивался еще японцами, которые после себя никаких схем расположения водопроводных или канализационных сетей не оставили. Сжатые

сроки, отпущенные на изыскания и проектирование (а это около 40 площадок), не позволяли своевременно выявить существующие, давно не эксплуатируемые сети, наличие грунтовых вод, которые проявились по причине подвижек грунта в результате афтершоковых толчков. Часто случалось так, что подрядчики выходили на площадку готовить котлован, и в этот момент сталкивались с необходимостью выноса сетей электро-, водоснабжения и канализации, о существовании которых никто в городе не подозревал, или боролись с притоками грунтовых вод в неожиданных объемах.

Строителям пришлось перенести в общей сложности около 550 м водопроводных и канализационных труб, около 600 м электрического кабеля, проектировщикам – разработать дополнительные проектные решения об отводе грунтовых и ливневых вод с соответствующими очистными сооружениями.

Сахалинцы получили урок: лучше сначала потратить дополнительное время на детальные изыскания, чем в дальнейшем преодолевать трудности, в том числе и юридического характера, связанные с процедурой размещения муниципальных и государственных заказов.

Самым узким местом в организации строительных работ в 2007 г. оказалась паромная переправа Ванино-Холмск. В октябре 2007 г. паром Сахалин-10 находился на ремонте, а в ноябре штормовая погода остановила транспортный конвейер с грузами с материка на 12 дней, что привело к срыву графиков поставки на 24 дня, так как вагоны были остановлены не только на направлении Хабаровск-Ванино, но и по Сибири. В январе и феврале 2008 г. над территорией Невельского района прошли три мощных циклона со скоростью ветра до 30 метров в секунду, в результате останавливались работы по монтажу конструкций стен и крыш, сбой в электроснабжении достигали трех суток.

Несмотря на все трудности к новому 2009 году были сданы в эксплуатацию 97 жилых домов (1497 квартир) с учетом 8-балльной сейсмичности. Все невельчане, включенные в списки очередников для получения жилья в г. Невельск, получили ключи от квартир. В пос. Троицкое 472 семьи также отпраздновали новоселье (фото 68–69). В се-

верном микрорайоне, расположенном на отвоеванной у моря территории, ставшем по генеральному плану г. Невельск одним из основных жилых микрорайонов, сдан уникальный объект по его берегоукреплению с сопутствующим благоустройством, ливневой канализацией и очистными сооружениями (генеральный подрядчик – ЗАО «Трансстрой-Сахалин»). Северный микрорайон с центральной частью города соединила новая дорога по ул. Победы с асфальтовым покрытием (генеральный подрядчик – ООО «СУ-4» ФСК).

02 августа 2008 года заместитель Министра регионального развития Д.С. Бакшеев, будучи с рабочей поездкой в Сахалинской области, сказал о том, что в Невельске не просто строятся дома, а идет соревнование технологий, применяемых в современном жилищном строительстве.

### 6.8. Невельское землетрясение: отражение в СМИ

2 августа 2007 года, четверг. Обычная рабочая неделя долгожданного щедрого сахалинского августа. В разгаре путина, сбор урожая. Потеплевшее море призывало провести выходные на его берегах.

В 13 час 36 мин (здесь и далее – время местное – *прим. ред.*) произошло событие, которое разделило время для сахалинцев на «ДО» и «ПОСЛЕ». Как бывало уже не раз в истории Сахалина.

Тревожное известие о произошедшем в г.Невельск землетрясении мгновенно облетело о-в Сахалин. Какими путями? Что стало для людей источником информации? Спустя год можно спокойно отследить информационные потоки, потому что в те августовские дни было не до того.

Многие жители юга острова почувствовали подземные толчки и только после этого кинулись выяснять, что происходит. Если раньше самые оперативным средством связи были телефон и радио, то теперь это, конечно, Интернет.

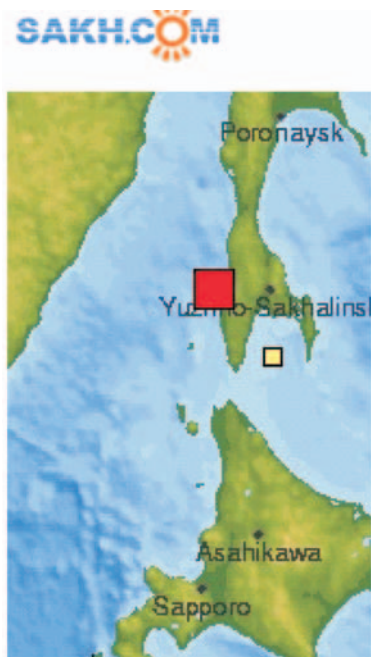
Еще один урок невелинского землетрясения: необходим комплексный подход в условиях ликвидации ЧС при выборе эффективных по стоимости, качеству и срокам строительства технологий возведения жилых домов и подрядных организаций.

Сахалинские проектировщики, изыскатели и строители (ОАО «СахалинТИСИЗ», ОАО «Институт «Сахалингражданпроект», ООО СМУ «Дальэлектромонтаж», ООО «Сахалинская механизированная колонна №68», ЗАО «СУ-4» ФСК», ООО СП «Ваккор», ЗАО «Трансстрой-Сахалин» и другие), всего около 50 компаний, выполнили поставленные задачи по проектированию и строительству жилых домов, объектов инженерной инфраструктуры. Администрация Сахалинской области и администрация Невельского муниципального района уверены в завершении строительства социальных объектов в установленные сроки.

Информационная эстафета стартовала от начальника отдела по делам ГО и ЧС муниципального образования «Невельский муниципальный район», передавшего 2 августа в 13:37 оперативному дежурному ГУ МЧС России по Сахалинской области сообщение о сильных толчках и разрушениях. Далее профессионально и оперативно сработала группа пропаганды и связи с общественностью ГУ МЧС по Сахалинской области. Уже в 13:40 был выпущен пресс-релиз, который через несколько минут появился на лентах информационных агентств. Первым выставило информацию сахалинское информационное агентство SAKH.COM (13:41), а затем Интерфакс, РИА Новости. И далее с лент информация разошлась широкими кругами по всем видам СМИ.

2 августа 2007 13:41 В Татарском проливе произошло мощное землетрясение

Первое сообщение выглядело так: (*прим ред.*)



### В Татарском проливе произошло мощное землетрясение

В Татарском проливе, у юго-западного побережья Сахалина, в 13.37 по местному времени произошло землетрясение магнитудой 5,8, по данным USGS. Координаты – 47,255° с.ш., 141,761° в.д., глубина – 10 километров.

В Невельске ощущались сильные толчки. Как сообщают очевидцы, на домах появились трещины, осыпались фасады, однако ни одно жилое здание полностью не разрушено. Упало бетонное ограждение дороги, частично разрушены районный Дом культуры и складское помещение ООО «Изготовление орудий лова». В городе нарушено энерго- и водоснабжение. А затем уже агентство последовательно дополняло первую сводку поступающей оперативной информацией (*прим. ред.*).

Как стало известно, **погибла молодая женщина**, которая во время землетрясения находилась в Доме культуры, во время эвакуации на нее упал козырек здания. Много раненых. Люди покинули дома, опасаясь повторных толчков и цунами.

В детском саду «Журавушка» рухнули перекрытия, детей успели вывести на улицу.

На центральной площади Невельска развернут пункт медицинской помощи. Многие пострадавшие самостоятельно обращаются в больницы.

Подземные толчки ощущались также в Шебунино, Горнозаводске, Холмске, Чехове. По предварительным данным, жертв и разрушений там нет.

Как сообщила пресс-служба ГУ МЧС по Сахалинской области, в район происшествия выехала оперативная группа во главе с исполняющим обязанности начальника управления Т.Касаевым.

Пресс-служба «Сахалинэнерго» сообщает: на подстанции «Невельская» – 110 кВ произошло повреждение двух изоляторов. Это вызвало отключение высоковольтной линии электропередачи, что привело к нарушению электроснабжения частично Холмского и Невельского районов. Аварийно-восстановительные бригады приступили к устранению повреждений.

На Сахалине продолжают ощущаться подземные толчки. Магнитуда двух последних составила 4,9 и 6,1, по данным USGS.

17.45. Первый вице-губернатор Сергей Шередекин, возглавляющий областную комиссию по чрезвычайным ситуациям, рассказал о мерах, которые областная власть принимает в Невельском районе для нормализации обстановки, сообщает пресс-служба областной администрации.

– В Невельск прибыл отряд спасателей, часть из них отправилась в Шебунино и Горнозаводск для изучения ситуации на месте. В Невельске уже отремонтирована подстанция, ее будут подключать в ближайшее время, и в город будет подан свет. С минуты на минуту в Невельске приземлится вертолет, который заберет серьезно пострадавших, которых насчитывается два-три человека, и доставит их в областную больницу в Южно-Сахалинск. В город также уже прибыл вице-губернатор, курирующий строительную отрасль вместе с руководителем департамента по строительству. Их задача – до темноты определить здания, скорее всего одноэтажные, где можно было бы на ночь разместить людей, а также места для установки палаток. Кстати, палатки на 400 мест мы как раз сейчас отправляем в Невельск. Толчки продолжают, поэтому люди в дома не пойдут, и мы должны создать им условия для ночлега.

Сергей Шередекин сообщил также о **еще одном погибшем** в результате землетрясения.

Далее тревожную эстафету подхватили электронные СМИ, в первую очередь радиостанции Сахалина, работающие в непрерывном режиме – в 14:00 вышли в эфир выпуски новостей на «Радио 105,5» и радиостанции «Европа+», в 16:10 «Радио-Сахалин» ВГТРК Сахалин.

В 15:30 в ГУ МЧС по Сахалинской области прошел брифинг для телеканалов, после которого телевизионные компании практически мгновенно доставили оперативную информацию многомиллионной аудитории телезрителей страны.

Но и печатные издания не остались в стороне и утром 3 августа первые репортажи появились на газетных полосах.

**БАЛЛЫ ПОСЧИТАЮТ ПОЗЖЕ**

**Землетрясение, которое произошло вчера в обеденное время на юге Сахалина, сильнее других ощутили жители Невельского района. Как сообщает РИА «Сахалин – Курилы», в Невельске погибла 23-летняя девушка.**

ВО ВРЕМЯ эвакуации из районного Дома культуры на нее упал козырек здания – такие сведения сообщил начальник отдела ГО и ЧС администрации Невельского района Георгий Глухов. Еще двоим горожанам, которые во время обрушения конструкции находились поблизости, потребовалась серьезная медицинская помощь. По словам Г.Глухова, в городе есть и другие разрушения: на зданиях появились трещины, обрушились трубы, осыпались фасады. Многие жители покинули свои дома, опасаясь повторных толчков и цунами.

Вчера в Невельский район в экстренном порядке выехала оперативная группа Главного управления по делам ГО и ЧС области. Поданным сейсмостанции «Южно-Сахалинск», магнитуда землетрясения составила 6,8, координаты подземных толчков – 46,6° с.ш. и 142,1° в.д. Эпицентр его располагался примерно в 60 км от Южно-Сахалинска, в районе Невельска.

Как сообщила пресс-секретарь Сахалинского института морской геологии и геофизики (ИМГиГ) Ольга Шестакова, согласно данным американского сейсмического агентства NEIS, магнитуда землетрясения составляла 5,8. Определить силу толчков по шкале Рихтера можно будет только после макросейсмического обследования. Сегодня для этих целей на юг выезжает группа сейсмологов ИМГиГа.

Нынешнее землетрясение укладывается в рамки среднесрочного прогноза, который в прошлом году давал заведующий лабораторией сейсмологии Института морской геологии и геофизики Иван Тихонов. Согласно его выкладкам, на юге Сахалина можно ждать землетрясения магнитудой до 7. Напомним, почти год назад в Невельском районе тоже были ощутимые толчки, сильнее других тогда пострадал Горнозаводск.

На момент подготовки этого материала не было ясности, насколько сильна угроза цунами. Но при землетрясениях на юге она вполне реальна. Кстати, прошлым летом специалисты геофизической службы Российской академии наук предупреждали жителей района: поскольку их населенные пункты находятся возле моря, то может не хватить времени, чтобы дать предупреждение об угрозе цунами. Поэтому при толчках безопаснее всего укрыться в сопках.

**P.S.**

В то время, когда готовился этот материал, жители областного центра также ощутили землетрясение. Сила толчков – 3–4 балла.

**Евгений АВЕРИН.**

Электронные и печатные СМИ страны продолжали следить за обстановкой, событиями, действиями служб и властей, отражая их в своих материалах. Сейчас мы уже видим в них неточности и ошибки, желание подать материал с ориентацией на сенсационность, что вызвало порой панику среди населения. Но тогда это были вести как с передовой на фронте. И им верили. Взвешенные аналитические статьи появятся позже. Рамки данной работы не позволяют привести их полностью, поэтому ограничимся только за-

головками, например, российского информационного канала ВЕСТИ.РУ (табл.6.7). Они, как вести с поля боя, позволяют нам сегодня увидеть как менялась обстановка в зоне бедствия.

В кратких заголовках перечисленных выше новостей сквозь строчки можно увидеть проблемы и переживания жителей Невельского района, действия команды МЧС, администрации области и правительства страны по скорейшей ликвидации последствий стихийного бедствия.

Таблица 6.7

**Даты и заголовки некоторых публикаций за 2007 г. Российского информационного канала ВЕСТИ.РУ о Невельском землетрясении 2 августа 2007 г.**

День, месяц, час, мин (время мск)	Заголовки статей
02.08 09:52	В результате землетрясений на Сахалине погибли два человека
02.08 14:03	Невельск серьезно пострадал от землетрясения
02.08 14:25	Подземные толчки в Невельске продлятся как минимум две недели
02.08 16.13	По последним данным
02.08 17:06	Стихия застала Сахалин врасплох
03.08 08.59	Из Невельска эвакуируют 2,5 тысячи человек
03.08 09:55	На Сахалин прибыл Сергей Шойгу
03.08 17:50	На Сахалин поступает гуманитарная помощь
03.08 17:50	Сахалин не оставят в беде
03.08 18:10	В Южно-Сахалинск доставлена гуманитарная помощь
04.08 10:29	В Невельском районе отменяют режим ЧС
04.08 05:40	Невельск расселили на скорую руку
04.07 17:17	Решение о выплате компенсаций жителям Невельского района примут в четверг
04.08 18:40	Сергей Шойгу требует переписать всех пострадавших на Сахалине
04.08 20:11	Невельск приходит в себя
05.08 11:01	Глава Минрегионразвития ознакомился с ситуацией в Невельске
05.08 11:56	Невельск опять без воды и света
05.08 13:03	Невельск готовят к масштабной стройке
05.08 15:22	Дома в Невельске смогут выдержать землетрясение в 9 баллов
05.08 20:09	Ситуация остается чрезвычайной
06.08 06:18	В Невельске начинается снос разрушенных зданий
06.08 08:16	Южно-Сахалинск готов принять невельчан
06.08 19:46	Невельск ждет грандиозная стройка
06.08 20:16	Путин потребовал от Шойгу проанализировать работу по восстановлению Невельска
06.08 20:16	Новые дома вместо разрушенных
07.08 08:44	В Невельск прибывают дополнительные отряды строителей
08.08 06:45	Кандидатура нового губернатора Сахалинской области будет рассмотрена уже завтра
08.08 08:04	Невельск может быть целиком отстроен заново
08.08 20:37	Годен – не годен
09.08 08:11	Хорошавин стал губернатором Сахалинской области
09.08 08:37	Режим ЧС в Невельске продлен до субботы
09.08 10.09	На юге Сахалина снова зарегистрированы подземные толчки
09.08 10:43	Новый губернатор обещает вернуть жизнь в Невельске в нормальное русло
10.08 06:51	Новое землетрясение произошло в Невельске
10.08 16:16	По факту гибели женщины во время землетрясения возбуждено уголовное дело
13.08 05:03	Жители Невельска митингуют
13.08 15:17	На восстановление Сахалина выделяют 5 миллиардов рублей
14.08 09:02	Жителей Невельска приняли за самоубийц
15.08 08:57	В Невельск доставили первый временный дом

День, месяц, час, мин (время мск)		Заголовки статей
15.08	10:25	Для юных жителей Невельска новый учебный год начнется 10 сентября
16.08	05:58	В Невельске признаны не подлежащими к дальнейшей эксплуатации 206 зданий
21.08	05:47	Из Невельска эвакуированы более 900 человек
22.08	07:37	В Невельске после землетрясения произошло более 1000 повторных толчков
23.08	16:54	В Невельске началось строительство сейсмоустойчивых домов
29.09	04:22	После землетрясения в Невельске снесено 33 здания
10.09	9:28	В Невельске снят режим чрезвычайной ситуации
21.09	10:24	Сахалин получил первые 800 миллионов рублей на ликвидацию последствий землетрясения
26.09	08:39	По поручению премьера на Сахалин прибыл Антон Дроздов
27.08	20:57	Пострадавшим от землетрясения на Сахалине выделяют 135,7 млн. рублей
29.08	11:05	Правительство намерено жестко контролировать строительство домов в Невельске
29.08	04:07	Началось перечисление компенсаций жителям Невельска
01.10	05:14	Свыше 1,5 тыс заявлений на компенсации подали жители Невельска
04.10	11.05	Невельск начинает новую жизнь
04.10	11:05	На счета пострадавших жителей Невельска поступило свыше 114 млн. рублей
13.10	03:36	Жители Невельска отказались покидать родной город
30.10	05:21	В Невельске принят в эксплуатацию первый сейсмостойкий дом
18.11	08:05	Жителям Невельска вручены ключи от новых квартир
09.11	09:11	Новый полпред президента отправился на Сахалин
21.12	10:46	Новое жилье в Невельске получили уже 162 семьи

# НЕВЕЛЬСКОЕ ЦУНАМИ 2 АВГУСТА 2007 г. И ДРУГИЕ ОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА ЮГО–ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ о. САХАЛИН

### Аннотация

В начале главы дан краткий обзор исторических цунами на сахалинском побережье Татарского пролива, а затем приведено распределение заплесков Невельского цунами вдоль побережья и краткое описание проявлений этого цунами. Масштаб проявлений данного цунами оказался значительно выше ожидавшегося от землетрясения с магнитудой 6,2. Численное моделирование распространения цунами от очага Невельского землетрясения для двух модельных источников и сопоставление с натурными данными, позволило выбрать наиболее предпочтительную модель очага цунами.

Описание экспериментальных исследований опасных морских явлений (цунами, штормовых нагонов, сейш) у юго-западного побережья о. Сахалин, проводимых в последние годы сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН, дает более полное представление о той опасности, которую они представляют для гражданских и промышленных объектов, размещаемых в прибрежной зоне. Таким образом, очевидна актуальность задач оценки риска морских опасных явлений, необходимость учета их при принятии тех или иных проектных решений.

### Referat

At the beginning of the chapter the short historical overview of tsunami manifestations on Sakhalin side of the Tatar Strait is given and then splash distribution for the Nevelsk tsunami and a short description of the tsunami effects is presented. The tsunami effects turned out to be much more severe than one could expect from the magnitude 6.2 earthquake. Numerical modeling of the tsunami propagation from the Nevelsk earthquake focus for two model sources and its comparison with field data enabled to select the most preferable model of tsunami focus.

Description of the experimental studies of the dangerous marine phenomena (tsunami, storm surge and seiche) near the south-western coast of Sakhalin, performed recently by the scientists of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern Branch of RAS, gives full idea of how dangerous these phenomena might be for the civil and industrial facilities located in the coastal area. Thus it makes risk assessment for the dangerous marine phenomena and the need to take them into account in making some design solutions very relevant tasks.

## 7.1. Проявления Невельского цунами 2 августа 2007 г. на побережье Татарского пролива

### 7.1.1. Исторические цунами на сахалинском побережье Татарского пролива

Цунами – опасное природное явление, источником которого является, как правило, сильное подводное землетрясение, реже – извержение подводного или близберегового вулкана. Наиболее сильно цунами проявляется на побережье Тихого океана, однако все побережье Сахалина также следует считать цунамиопасным, хотя уровень этой опасности меньше по сравнению с Курильскими островами.

Татарский пролив является продолжением северной части Японского моря, и основной вклад в формирование уровня цунамиопасности вносят сильные подводные

землетрясения с очагами в Японском море (рис. 3.4). Натурные данные о высотах цунами до 2007 года приведены в табл. 7.1 (данные о проявлениях цунами с япономорскими очагами записаны стандартным шрифтом, а с очагами в Тихом океане – курсивом).

Такие данные о цунами собраны в ряде каталогов и базах данных в интернете [Соловьев, 1978; Соловьев, Го, Ким, 1986; <http://tsun.sssc.ru/tsulab/>].

Цунами 1940, 1983 и 1993 года сопровождалось катастрофическими последствиями на побережье Японии и Приморья (30,6 м на о. Окусири и 4,3 м в бухте Кит в 1993 г.), однако на побережье о-ва Сахалин высоты волн были незначительными.



Таблица 7.1

**Высоты цунами для сахалинского побережья Татарского пролива (до 2007 г.)  
в метрах по данным, полученным на береговых самописцах уровня моря**

Марео-граф	02.08 1940	22.05 1960	13.10 1963	26.05 1964	12.08 1969	06.09 1971	26.05 1983	12.07 1993
Углегорск							0,12	0,13
Холмск		0,1	0,1	0,04	–	0,4	0,22	0,29
Невельск	0,5	0,04	0,15	0,03	–	0,4	0,2	0,03
Крильон		0,4	0,4	0,02	0,27	0,2	0,22	0,08

До 2007 г. на побережье Татарского пролива наиболее сильно проявилось цунами 1971 г. с очагом вблизи о. Монерон, вызванное землетрясением с магнитудой  $M = 7,5$ .

**7.1.2. Невельское цунами  
2 августа 2007 г.**

2 августа 2007 г. произошло землетрясение с магнитудой  $M = 6,2$  с очагом в сравнительной близости от г. Невельск, которое вызвало цунами, оказавшееся самым сильным в данном районе за относительно короткую письменную историю Сахалина.

Данные о заплесках цунами начали собираться на второй день после события.

Ниже приведено распределение заплесков Невельского цунами вдоль побережья и краткое описание проявлений этого цунами. Основные источники информации – показания очевидцев и замеры свежих выбросов морской капусты и мусора выше прилива (шторма в эти дни не было) (рис. 7.1).

Данный рисунок показывает, что Невельское цунами было необычно сильным для землетрясения с умеренной магнитудой  $M = 6,2$ . Обычно землетрясения подобной магнитуды не вызывают даже слабых цунами, регистрируемых только приборами.

Наибольшие высоты волн были выявлены в северной части Невельского района, причем в Невельском районе оно началось с сильного отлива практически сразу же после основных толчков.

Далее, в направлении на север высоты заплесков сначала уменьшились (работниками порт Холмск цунами визуально не отмечалось), а затем снова возросли.

В районе *пос. Яблочный* цунами началось с медленного опускания уровня моря примерно на 1 м. При этом оголились камни на

внешнем крае бенча, до этого полностью покрытые водой. Высота максимального заплеска составила примерно 1,5 м (фото 70 в Приложении 1).

В северной части *Холмска* жители отмечали отчетливый подъем уровня более полуметра, однако южнее, в порту Холмск волны цунами с максимальной амплитудой 0,23 м были зарегистрированы только прибором (см. раздел 7.2).

В порту *пос. Правда* вода медленно подняла суда на высоту 0,5–1 м и потом плавно опустила их.

В *пос. Зырянское* необычно большой отлив начался практически сразу после землетрясения. Потом пришла волна, ударившая в основном в южную от устья ручья сторону берега. Почти сразу же вода схлынула назад. Высота следа над урезом 1,3 м на расстоянии 11 м от уреза.

На пляже у *пос. Калинино* максимальные заплески цунами замерены по свежему выбросу морской капусты. К северу и югу от моста заплески оказались одинаковыми по высоте и равными 1,8 м. По словам очевидцев при откате уровень понизился примерно на 2 м. Волна зашла в речку Калинка по крайней мере до забойки примерно в 300 м от устья.

По свидетельству очевидцев, на побережье заливчика у *пос. Заветы Ильича* цунами началось с сильного отлива, частично открыв отвесные стенки бенча (называемого местными «рифом») и затем стала быстро прибывать. «Вода заливалась через стенку «рифа» в виде водяных каскадов. Было необычно и очень красиво».

Максимальные заплески на пляже отмечены свежим выбросом морской капусты, местами образующей мощный вывал (фото 71).

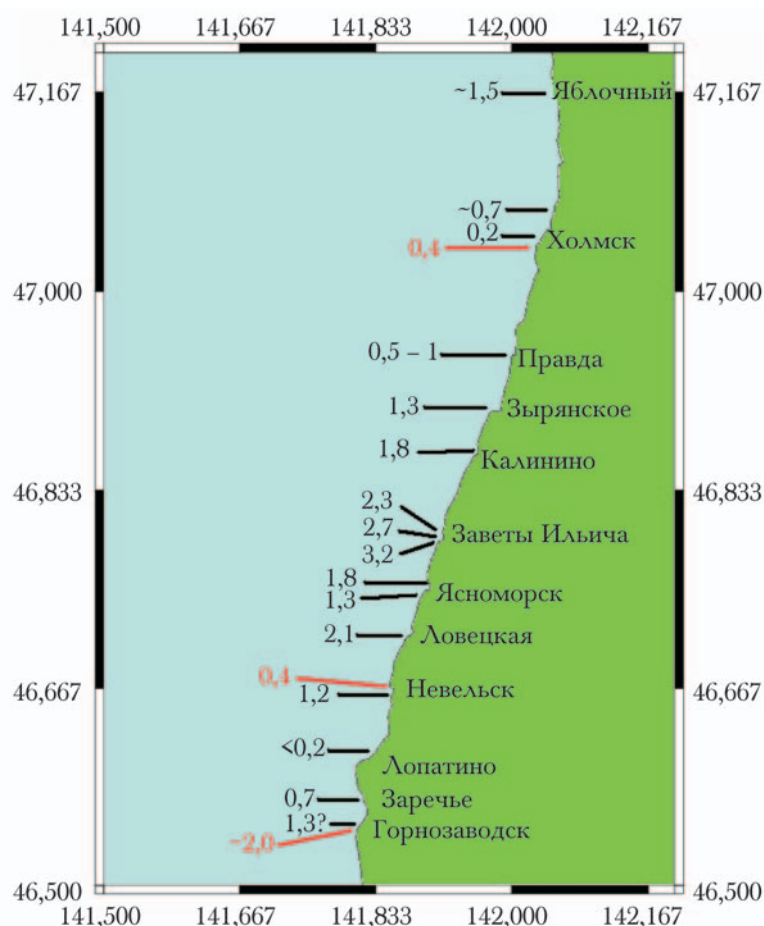


Рис. 7.1. Распределение заплесков двух цунами с сильнейшими проявлениями на сахалинском побережье Татарского пролива: Монеронского (1971 г.,  $M = 7,5$  – красный цвет) и Невельского (2007 г.,  $M = 6,2$  – черный цвет).

Fig. 7.1. Distribution of the two tsunami run-ups with strongest manifestations on the Sakhalin Tatar Strait coast: Moneron (1971,  $M = 7,5$  – shown in red) and Nevelsk (2007,  $M = 6,2$  – shown in black).

Замеры их уровней показали следующие высоты заплесков: 2,3 м к северу от моста (вторая волна в этом месте оставила след на высоте 0,96 м), и 3,24 м к югу от моста. Еще одним ориентиром послужили бетонные опоры железнодорожного моста, которые почти полностью оказались под морской водой (2,77 м).

Волна зашла в реку Асанай и на расстоянии примерно 400 м от устья занесла крупный древесный пень (1,2 метра над урезом моря) (фото 72).

Недалеко от этого места у домика в долине уровень воды в реке поднялся примерно на 1 м, и вода затопила часть двора. Местные жители удивлялись, видя волну, шедшую вверх по реке и течению реки в обратном от моря направлении.

Цунами в Ясноморском началось с отлива. Уже через 3–5 минут уровень опустился примерно на 1,5 м, и полностью оголилась коса. Потом начался подъем уровня, и вода

дошла до порога дома, стоящего у берега (1,8 м). Вторая волна была значительно меньше (0,75 м).

Цунами зашло в речку Ясноморку. На расстоянии примерно 315 м по дороге от устья, в реке появилась волна высотой примерно 0,7 м над уровнем в реке (1,2 над средним уровнем моря), и в реке в этом месте осталась занесенная волной морская капуста (фото 73).

В 30 метрах еще выше волна высотой 0,6 м над уровнем в реке (1,1 над средним уровнем моря) чуть не сшибла стоявшего в реке человека.

Немного южнее Ясноморского замер высоты максимального заплеска показал 1,3 м.

В Ловецкой почти сразу после первого сильного толчка начался сильный отлив, и уровень упал примерно на 1,5 м. Потом уровень воды поднялся до стенки кочегарки автобазы на высоту 2,1 м, затем опустился до первона-

чального состояния. На последующие сильные толчки реакции моря видно не было.

В *Невельском порту* подъем уровня был около 1,2 м.

В районе *скалистого бенча* к югу от Невельска (т.н. Казачки) цунами образовало вывал морской капусты на уровне 1,5 м на расстоянии 18 м от уреза. Поднятие и осушка этого бенча после землетрясения произошли так быстро, что крабы и даже рыба не успевали покинуть его вместе с водой.

*Пос. Лопатино.* Спустя небольшое время после основного толчка урез воды отошел от прежнего положения примерно на 1 м по горизонтали. Работники шашлычной, находящейся недалеко от моря, утверждают, что на расстоянии пары километров от берега море изменило цвет, и им показалась, что море вспучилось грядой, и это сильно испугало их. Они поднялись на близлежащую сопку и внимательно смотрели за морем. Однако кроме обычного небольшого волнения ничего не заметили и вернулись к работе. Вечерний толчок (наступали сумерки) был намного сильнее и вызвал такое же испугавшее их явление. Они снова поднялись на сопку, и снова заметной реакции уреза моря не видели.

*Заречье,* порт-ковш ООО «Мыс Кузнецова», японской постройки 1928 г.

Через 10–15 мин после основного толчка из ковша стала уходить вода. Уровень упал примерно на 1 м, и суда легли на дно (глуби-

на воды в ковше 1,80 м). Потом уровень поднялся до отметки на стенке ковша на высоте +65 см над уровнем моря. Изменения уровня сопровождались сильными течениями в ковше. После этого еще в течение некоторого времени уровень то падал, то повышался отчетливо три раза, но с меньшей затухающей амплитудой.

Невельское цунами было отмечено мареографами на о. Хоккайдо с максимальными амплитудами волны до 0,3 м. При полном штале свидетели наблюдали слабую волну в районе пос. Новиково в заливе Анива.

### 7.1.3. Особенности Невельского цунами

Как уже отмечалось, масштаб проявлений Невельского цунами оказался значительно выше ожидавшегося от землетрясения с магнитудой 6,2. Это особенно хорошо видно при сравнении среднегеометрической вы-

соты заплеска цунами  $H = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n h_k}$  с магниту-

дой землетрясения (рис.7.2). Обычная среднеарифметическая высота цунами менее устойчива (Го, 1987), хотя эффект «отскока» данных Невельского цунами из общей зависимости также отчетливо проявляется и для среднеарифметических.

Видно также, что из общей зависимости также «вылетает», хотя и в меньшей степени, точка, соответствующая цунами 12 июля

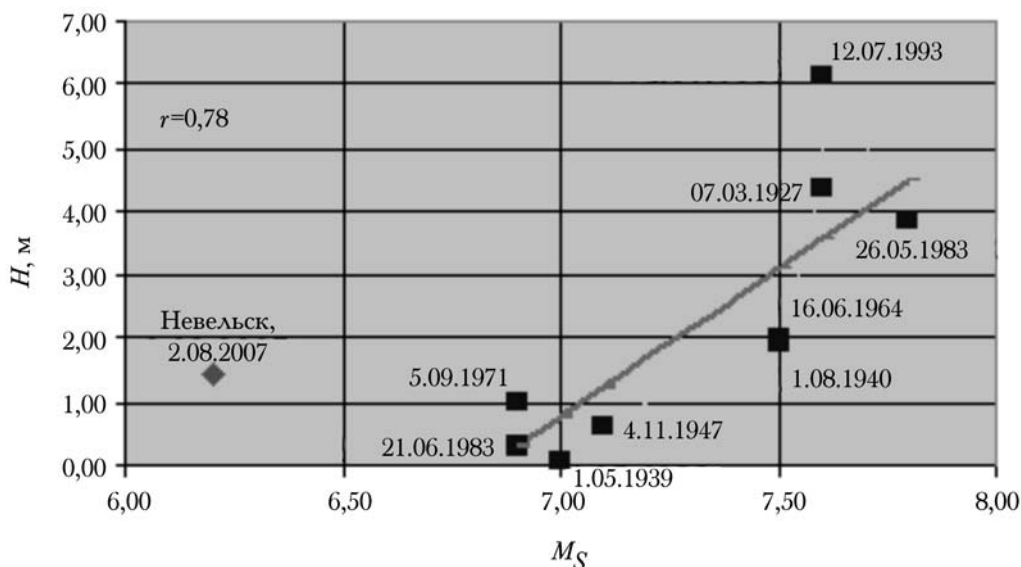


Рис. 7.2. Зависимость среднегеометрической высоты заплеска цунами от магнитуды  $M_S$ .

Fig. 7.2. Relationship between the average compound for the tsunami run-up height and magnitude  $M_S$ .

1993 г, сопровождавшемся аномально высокими заплесками до 30,6 м.

Возможно, причиной такого эффекта при Невельском землетрясении является очаг цунами, включивший в себя часть прибрежной полосы. Это следует из двух фактов. Во-первых, цунами в Невельском райо-

не последовало сразу же после основного толчка. И, во-вторых, бенчи в районе Невельска оказались подняты в результате основного толчка (раздел 6.5.2).

Указанные особенности данного события являются предметом специального исследования, которое еще не завершено.

## 7.2. Численное моделирование распространения цунами от очага Невельского землетрясения

При численном моделировании Невельского цунами 2.08.2008 г. с использованием программного комплекса «ANI» применялись следующие модельные источники.

Модельный источник 1 построен на основе макросейсмических данных о Невельском цунамигенном землетрясении (раздел 6.5.1) с использованием предложенной А.А.Поплавским модели макросейсмического источника цунами [Оперативный прогноз..., 1997]. Он представляет собой начальное возвышение уровня моря в виде половинки эллипсоида со следующими параметрами:

– координаты эпицентра:  $46,83^\circ$  с.ш. и  $141,75^\circ$  в.д.; азимут большой полуоси  $N = -65^\circ$ ; длины полуосей 21 км и 11 км; начальное возвышение уровня в очаге 10,6 м.

Модельный источник 2 основан на японских спутниковых данных о деформациях береговой зоны Татарского пролива, вызванных Невельским землетрясением (раздел 6.3): координаты эпицентра  $46,81^\circ$ ;  $141,81^\circ$ ; глубина очага 11 км, магнитуда  $MLH = 6,75$  ( $Mw = 6,3$ ). Он представляет собой начальное возвышение уровня моря в виде половинки эллипсоида со следующими параметрами:

– координаты эпицентра:  $46,85^\circ$  с.ш. и  $141,87^\circ$  в.д.; азимут большой полуоси

$N = -65^\circ$ ; длина горизонтальных полуосей 20 км и 12 км; начальное возвышение 0,4 м.

Сравнение результатов численного моделирования цунами с данными наблюдений показывает, что численный эксперимент с модельным источником 1 дает распределение заплесков цунами на берег, близкое к реально наблюдавшемуся, а численный эксперимент с использованием источника 2 дает заплески на порядок меньше. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать результаты вычислительного эксперимента 1 (табл. 7.2, рис. 7.3).

В табл.7.3 представлены результаты численного моделирования (модель 1) с натурными данными.

Среднее квадратичное отклонение результатов численного эксперимента 1 от данных наблюдения составляет 0,54 м, коэффициент корреляции между ними 0,97.

Таким образом, уже пробная численная модель цунами с использованием программного комплекса ANI и модели макросейсмического источника цунами позволяет получить значения заплесков, близкие к реальным.

Однако, ряд проблем, в частности, учет «прибрежной» части очага цунами, еще находится в процессе решения.

Таблица 7.2

**Сравнение заплесков цунами, полученных в численных экспериментах с данными наблюдений в базовых пунктах**

Пункт	Высота заплеска, м		
	Наблюденная	Эксперимент 1	Эксперимент 2
Холмск (сев.)	0,7	1,13	0,06
Невельск	1,2	1,60	0,07
Горнозаводск	1,3	1,40	0,06

Таблица 7.3

## Сравнение результатов численного эксперимента 1 с данными наблюдений

Пункт	Заплеск, м	
	Эксперимент 1	Наблюдение
Чехов	1,61	
Яблочный	0,95	1,5
Холмск (сев.)	1,13	0,5
Правда	1,67	1,0
Калинино	1,69	1,8
Заветы Ильича	3,47	3,2
Ловецкое	3,15	2,1
Невельск	1,6	1,2
Заречье	1,28	0,7
Горнозаводск	1,4	1,3
Шебунино	0,5	
Сивучий	1,21	
Крильон	0,68	
Корсаков	0,2	

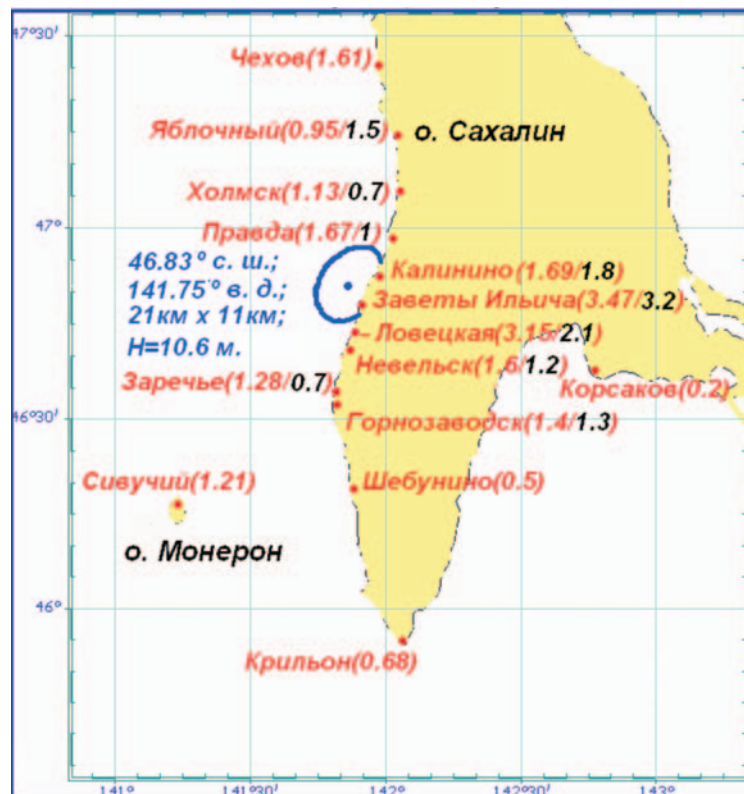


Рис.7.3. Сравнение результатов численного моделирования (эксперимент 1, красный цвет) и данных наблюдений (черный цвет)

Fig. 7.3. Comparison between the results of numerical modeling (experiment 1, red color) and observational data (black color)

### 7.3. Экспериментальные исследования опасных морских явлений у юго-западного побережья о. Сахалин

#### 7.3.1. Цунами

Реконструкция Невельского порта, без которой невозможно представить возрождение города и успешное развитие его экономики, требует максимально точного учета риска, связанного с возможным воздействием морских опасных явлений на существующие и планируемые гидротехнические сооружения. На побережье Сахалина самыми грозными из них являются волны цунами, которые, впрочем, имеют здесь высоты на порядок меньшие, чем на Курильских островах. В районе гг. Холмск и Невельск, как и на других участках япономорского побережья России, большинство исторических цунами связано с сильными подводными землетрясениями у берегов Японии (август 1940 г., май 1983 г., август 1993 г.).

Однако особую опасность обычно представляют цунами, связанные с землетрясениями, очаги которых находились на небольшом удалении от исследуемого участка побережья. Примером такого цунами являются волны, вызванные Монеронским землетрясением 4 сентября 1971 г. На юго-запад-

ном побережье Сахалина оно было самым опасным, по крайней мере, за последнее столетие, в то время как на побережье Приморья и тем более Японии волны имели незначительную величину. Мареографные ленты, содержащие записи этого цунами на береговых самописцах уровня в портах Невельск и Холмск, были оцифрованы с дискретностью 1 мин. Из полученных рядов был вычтен предвычисленный прилив, затрудняющий определение статистических характеристик цунами. Отрезки продолжительностью 1 сутки представлены на рис. 7.4.

Размах колебаний в пунктах Холмск и Невельск составил около 70 и 50 см соответственно. Такие волны могут представлять опасность только для кораблей, находящихся в портах, но вряд ли способны нанести существенный ущерб гидротехническим сооружениям. Впрочем, это нельзя утверждать однозначно, так как, во-первых, мареограф вследствие особенностей своей конструкции может существенно занижать амплитуду цунами, а во-вторых, для данного явления характерна очень сильная пространственная

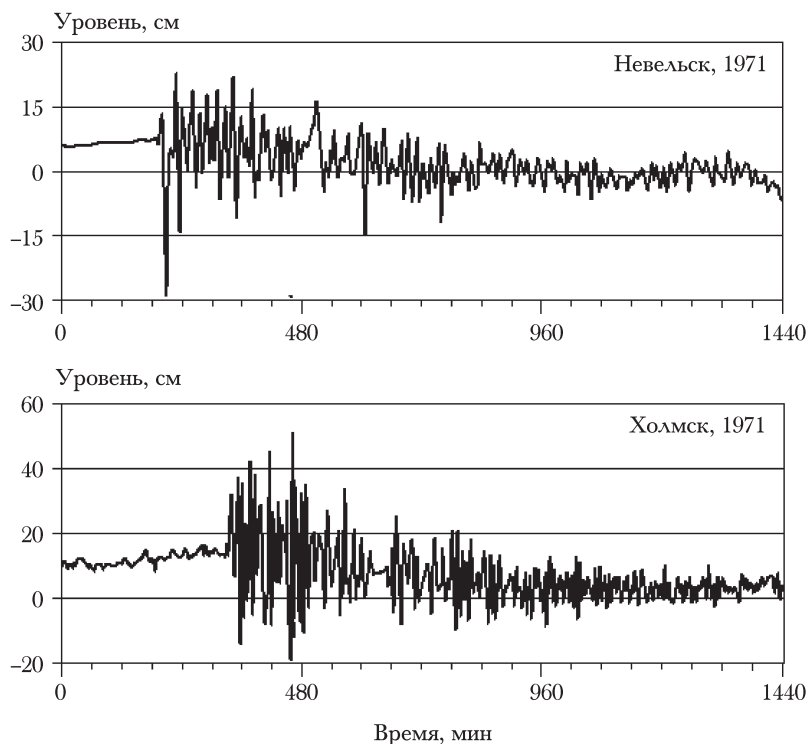


Рис. 7.4. Суточные отрезки записи, содержащие Монеронское цунами 4 сентября 1971 г., полученные путем оцифровки мареограмм в портах Невельск и Холмск.

Fig. 7.4. 24 hour portion of the record containing Moneron tsunami of September 4, 1971, obtained by digitizing mariograms of Nevelsk and Kholmok ports.

изменчивость интенсивности. На любой акватории могут быть участки, как локального усиления, так и ослабления волн, связанные с особенностями пространственной структуры резонансных колебаний.

Именно изучение периодов и пространственной структуры этих резонансных колебаний, обусловленных особенностями прибрежной топографии, является одной из важнейших задач при оценке риска морских опасных явлений, на которых основываются проектные решения, обеспечивающие безопасность промышленных объектов, размещаемых в прибрежной зоне. Особенно опасными могут быть те ситуации, когда периоды подходящих к берегу волн цунами близки к собственным периодам залива или бухты – в этом случае можно ожидать наибольшего усиления колебаний в порту. В частности, как показано в работе [Ивельская, Храмушин, Шевченко, 2001], при всех зарегистрированных в г. Холмск цунами (включая Монеронское) выделялись резонансные колебания с периодом около 8 мин. Ниже этот вопрос обсуждается более детально.

Известно также, что побережье Сахалина, и в том числе порт г. Невельска, страдает от штормовых нагонов – крупномасштабных подъемов уровня, формирующихся при прохождении вблизи данного пункта атмосферных возмущений – тайфунов и глубоких циклонов в результате реакции морской поверхности на падение приземного атмосферного давления и действие касательного напряжения ветра. Это явление приводит к гибели судов, порче берегового оборудования, разрушению пирсов и расположенных на них сооружений, порче хранящихся на территории порта грузов [Шевченко, Любицкий Като, 1994; Като, Миськов, Шевченко, 2001]. Некоторые сведения о наиболее опасных проявлениях нагонов и связанном с ними ущербе на юго-западном побережье Сахалина приведены ниже. При этом надо учитывать также возможность сочетания нагона с возрастанием интенсивности сейш, которое также может быть связано с метеорологическими условиями – как за счет непосредственного действия ветра, так и в результате трансформации ветрового волнения в прибрежной зоне.

Длинные волны, образующиеся в результате такой трансформации, получили название *инфразгравитационных*, так как диапазон их существования (0,5–5 мин) вплотную прижимается к диапазону гравитационных волн зыби. Короткопериодные резонансные колебания в гаванях, формирующиеся в результате трансформации ветрового волнения, приводят к явлению тягуна, которое серьезно осложняет работу портов Сахалина, в том числе Холмска и Корсакова, препятствует проведению погрузо-разгрузочных работ и приводит к повреждению судов [Ивельская, Храмушин, Шевченко, 2001; Ковалев, Шевченко, Ковалев, 2007б]. Сведения о характеристиках таких колебаний в порту Невельска на сегодняшний день отсутствуют, так как необходимые изыскания здесь не проводились.

Наиболее эффективным способом изучения морских опасных явлений и оценки их режимно-статистических характеристик, которые необходимы для безопасного проектирования промышленных объектов на побережье и портовых гидротехнических сооружений, является проведение экспериментальных измерений волновых процессов непосредственно в районе планируемого строительства.

*Организация экспериментальных измерений в порту г. Холмск.* В 2006–2007 гг. на акватории порта г. Холмск проводился натурный эксперимент, в ходе которого были зафиксированы два цунами – помимо вызванного Невельским землетрясением 2 августа 2007 г., юго-западного побережья Сахалина достигли волны, источник которых находился на значительном удалении, в районе о. Симушир (15.11.2006 г.). На рис. 7.5 представлена схема акватории порта г. Холмск и подходов к нему, показано расположение основных портовых сооружений.

Холмская бухта представляет собой акваторию грушевидной формы с относительно широкой основной частью и узкой удаленной (кутовой), в которой собственно и находятся основные портовые сооружения. Вход в бухту прикрыт с юга и севера волнозащитными стенками, которые оставляют свободным достаточно широкий проход – данное обстоятельство является весьма важным для формирования в ней резонансных колеба-



Рис. 7.5. Батиметрическая карта акватории порта г. Холмск и расположение основных портовых сооружений.

Кружком указано положение мареографа до 1973 г., а квадратом – в настоящее время.

Fig. 7.5. Bathymetric map of the Kholmsk port basin and location of the main port facilities.

Circle marks marigraph position before 1973 and square – marigraph position at present.

ний. В особенности это относится к нулевой моде собственных колебаний (моде Гельмгольца), имеющей узловую линию в горловине [Рабинович, 1993]. Глубина в районе входа в бухту – около 10 м. От входа к кутовой части бухты проходит фарватер, глубины в котором уменьшаются от 10 м на входе до 8–9 м на основной части акватории и до 6–7 м в удаленной. Более мелководные зоны выделяются в районе, примыкающем к южному молу, а также (несколько более обширная) вдоль северного и северо-восточного побережья бухты.

Самописец уровня моря в порту г. Холмск располагался ранее (до 1973 г.) в конце паромного причала № 1 (колодец мареографа был вмонтирован в причал), в настоящее время он находится в самой удаленной части бухты (рис. 7.5).

Соединение колодца мареографа с морем посредством труб, предназначенное для подавления влияния ветрового волнения, приводит обычно к определенным искажениям и собственным колебаниям (тем более существенным, чем меньше их период и больше амплитуда). К тому же положение измерителя в удаленной части бухты позволяет фиксировать проявление только продольных собственных колебаний – поперечные сейши,

которые формируются на основной части акватории бухты, вряд ли могут быть им записаны. Эти обстоятельства будем учитывать при анализе полученных материалов.

Эксперимент начался 26 июля 2006 г. с установки в мареографном посту порта Холмск у паромного причала №3 (рис. 7.5) измерительного комплекса, состоящего из пьезорезонансного донного датчика гидростатического давления, кабельной линии связи, платы таймера-счетчика PCI 1780, персонального компьютера, цифровой метеостанции WS 2300 и блока бесперебойного питания.

Измерения волновых процессов в Холмской бухте осуществлялась с дискретностью 2 с и, в связи с большим объемом поступающей информации, данные накапливались в виде суточных файлов на жестком диске компьютера. Одновременно с регистрацией колебаний уровня, осуществлялся прием данных с цифровой метеостанции WS-2300, которая была смонтирована на крыше будки мареографа. Дискретность измерения метеорологических параметров составляла 1 мин.

Кроме кабельных приборов, в настоящее время для наблюдения за колебаниями уровня используются автономные регистраторы волнения (АРВ), которые были разработаны в «СКТБ ЭЛПА», г. Углич и Нижегородском техническом университете в 2004 г. с учетом имеющегося в ИМГиГ ДВО РАН опыта создания приборов аналогичного назначения [Проблемы создания..., 2006]. Установка АРВ на длительный срок позволяет регистрировать неперiodические гидрофизические процессы, изучать волновые явления характерные для конкретного района. Запись проводится с разрешением 0,3 мм вод. ст. и дискретностью 1 с, что дает возможность регистрировать даже слабые волны в широком диапазоне периодов – от ветровых до приливных.

*Регистрация цунами.* В результате проведенных экспериментальных измерений [Ковалев, Шевченко, Ковалев, 2007a], в Холмской бухте дважды были зарегистрированы волны цунами, вызванные Симуширским и Невельским землетрясениями (рис. 7.6). Получение записи реального цунами в ходе натурного эксперимента является весьма редкой удачей, в данном же случае имелась дополнительная возможность сравнения ха-



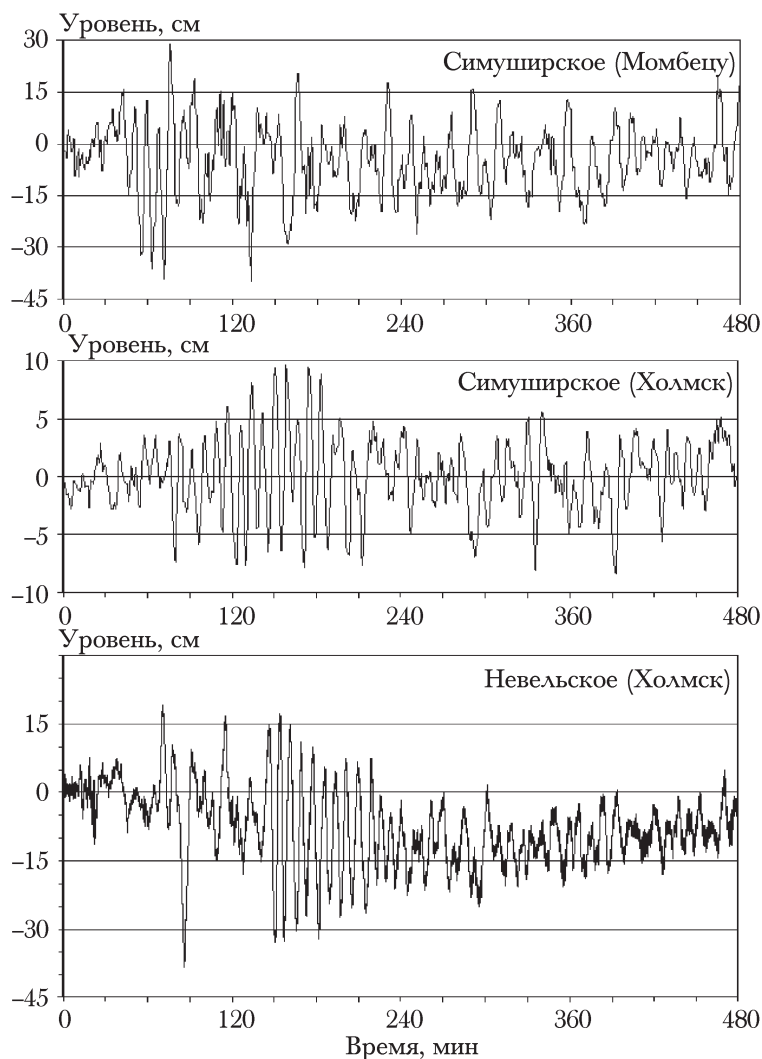


Рис. 7.6. Отрезки записи продолжительностью 8 часов, содержащие Симуширское (16.11.2006 г.) и Невельское цунами (02.08.2007 г.), зарегистрированные в порту г. Холмск, и фрагмент записи колебаний уровня моря, зарегистрированных 16 ноября 2006 г. на станции Момбetsу (северное побережье о. Хоккайдо).

Fig. 7.6. 8 hour long portions of the record containing information of the Simushir and Nevelsk tsunamis of November 16, 2006 and August 2, 2007 respectively, registered in the port of Kholmsk and a record portion containing sea level fluctuations recorded at Mombetsu station on November 16, 2006 (northern coast of Hokkaido).

рактических волн, вызванных близким и удаленным источниками.

Данные были предварительно сглажены и приведены к дискретности 1 минута. Для этой цели использовался фильтр высоких частот с 15-точечным окном Кайзера-Бесселя (интервал 30 секунд) в первом и 30-точечным – во втором случае. После этого из полученных значений вычитался предвычисленный прилив – использовались четыре основные гармоники – две суточного (O1 и K1) и две полусуточного диапазона (M2 и S2). Впрочем, в г. Холмск приливы относительно невелики и, в отличие от других станций о-ва Сахалин, не затрудняют существенно определение статистических характеристик цунами.

В случае Симуширского цунами сравнительно легко идентифицировать вступление – гребень первой волны зафиксирован в 2 час 26 мин сахалинского зимнего времени (16 час 26 мин 15 ноября по Гринвичу), его высота составила около 6 см. Начальный импульс был сравнительно низкочастотным, после чего в течение примерно двух часов колебания имели выраженный циклический характер с периодом около 8 минут, который обычно выделяется в записях цунами в данном пункте [Ивельская, Храмушин, Шевченко, 2001]. Высота максимальной волны составила 17,5 см, причем она была зафиксирована существенно позже прихода первой волны, в 3 час 54 мин. Интенсивный волновой процесс, который характеризовался ве-

сьма медленным затуханием, продолжался до конца суток, но не носил уже характер таких регулярных осцилляций. С течением времени в записи преобладали более низкочастотные вариации, 8-минутные колебания проявлялись время от времени, причем их интенсивность была наиболее высокой.

Для сравнения в качестве входного сигнала была рассмотрена запись колебаний уровня моря на станции Момбецу, расположенной на северном побережье о. Хоккайдо. Фрагмент записи представлен на рис. 7.6. Значения фиксировались с дискретностью 0,5 минуты. Эти данные были любезно предоставлены нам начальником Центра цунами СахУГМС Т.Н. Ивельской, которая получила их, в свою очередь, от Японского гидрометеорологического агентства.

Здесь также легко идентифицируется вступление – высота первой волны составляла 30 см, ее гребень отмечен 15 ноября в 22 час 46 мин по японскому времени (13 час 46 мин по Гринвичу). Максимальная волна имела высоту 68 см, и наблюдалась спустя 33 мин после прихода цунами в данный пункт. Интересно отметить, что начальный отрезок записи представлял собой четко выраженный пуг из четырех колебаний с периодом около 8 мин. Наиболее вероятно, именно совпадение периода этого начального пакета с резонансным периодом нулевой моды собственных колебаний Холмской бухты и явилось причиной увеличения длительности и сравнительно большой интенсивности колебаний на этой частоте.

Несколько иная картина наблюдалась при цунами, вызванного Невельским землетрясением, очаг которого находился на незначительном удалении к юго-западу от места регистрации колебаний уровня моря. Вступление волны также характеризовалось положительным импульсом. Затем, после сравнительно слабого колебания, было отмечено продолжительное понижение уровня более чем на 40 см, после чего наблюдались нерегулярные вариации, в которых можно выделить более устойчивые, с периодом около 16 мин. Спустя ~ 80 мин после прихода первой волны, был отмечен четкий, хорошо выраженный пуг колебаний с периодом около 8 мин, длительность которого составила более часа. Амплитуда колебаний вначале

плавно убывала от 22 см до 15 см, после чего их интенсивность резко уменьшилась, и волновой процесс приобрел менее регулярный характер с преобладанием более низкочастотных вариаций.

Такое резкое изменение характера волнового процесса более чем через час после прихода первой волны может быть обусловлено либо сильным афтершоком, либо отражением волны от берега Приморья. Нужно отметить, что повторный толчок почти такой же интенсивности произошел более двух часов после основного, то есть интервал между сейсмическими событиями был существенно больше, чем между моментами вступления морских волн. Поскольку такую разницу во времени трудно объяснить различием положения очагов цунами, более вероятным представляется влияние отраженной волны.

Для того чтобы уточнить данный вопрос, обратимся к результатам численного моделирования цунами, вызванного Невельским землетрясением 2 августа 2007 года (раздел 7.2). В качестве начальных условий задавался меридионально вытянутый очаг, пространственные размеры которого соответствовали магнитуде и глубине землетрясения, с центром в координатах  $46,83^\circ$  с.ш. и  $141,75^\circ$  в.д.

На расчетных волнограммах в районе гг. Невельск и Холмск четко идентифицируются максимумы интенсивности, связанные с приходом отраженных от берега материка волн. Для обоих пунктов интервал между первой волной и отраженной составлял около полутора часов, что хорошо согласуется с данными наблюдений. Причем в определенной степени идентичен был и сам характер волнового процесса в г. Холмск – на начальном отрезке преобладали существенно более низкочастотные колебания по сравнению с часовым интервалом после прихода отраженной волны. Наиболее вероятно, это связано с направленностью излучения волны, обусловленной ориентацией источника – непосредственно в сторону г. Холмск распространялись более длинные волны, в то время в направлении материка – сравнительно короткопериодные. Соответственно приход отраженных волн привел к преобладанию более высокочастотных вариаций. Отметим, что расчетная волнограмма фикси-

ровалась в точке, расположенной вне бухты, и влияние собственных колебаний здесь не проявлялось.

*Влияние собственных колебаний на формирование цунами.* Анализ записей цунами, как от близкого, так и от удаленного источника выявил преобладающую роль колебаний с периодом около 8 мин – на спектрах записей (рис.7.7) выделяется мощный, хорошо выраженный пик на данном периоде. Более того, резонансные колебания на данном периоде проявились при всех зарегистрированных в г.Холмск цунами, включая представленное выше Монеронское 1971 года [Ивельская, Храмушин, Шевченко, 2001]. Исключение составило только Чилийское цунами (май 1960 г.), которое было существенно более низкочастотным по сравнению с другими событиями.

Численное моделирование показало, что время распространения длинной волны от входа в бухту до ее кутовой части составляет чуть более полутора минут и, следовательно, период первой продольной моды собственных колебаний составляет около 3 мин. Соответствующий пик также выделяется в спектрах как Симуширского, так и Невельского цунами. На спектрах оцифрованных мареограмм этот пик не был обнаружен, что

с одной стороны может быть обусловлено подавлением высокочастотных колебаний подводным устройством мареографа, а с другой – погрешностями их ручной оцифровки. В этом смысле цифровая регистрация колебаний при помощи высокочувствительного прибора представляет гораздо больше возможностей для детального исследования особенностей волновых процессов. В частности, при Невельском цунами можно отметить заметный вклад колебаний с периодом около 1,9 мин, природа которых пока не выяснена. Возможно, они связаны с вкладом поперечных сейш в формирование волнового поля при цунами.

Теоретически период нулевой моды собственных колебаний для бухты с широким входом должен составлять учетверенное время распространения волны по ее акватории, то есть около 6,5 мин. Но на практике ее период всегда несколько больше – в данном случае он составляет около 8 мин. Нулевая мода, имеющая узловую линию в горловине бухты, обычно весьма эффективно возбуждается при цунами [Рабинович, 1993]. Возможно, именно влияние данной моды явилось причиной того, что Монеронское цунами проявилось в порту г. Холмск сильнее, чем в Невельском порту (рис. 7.4).

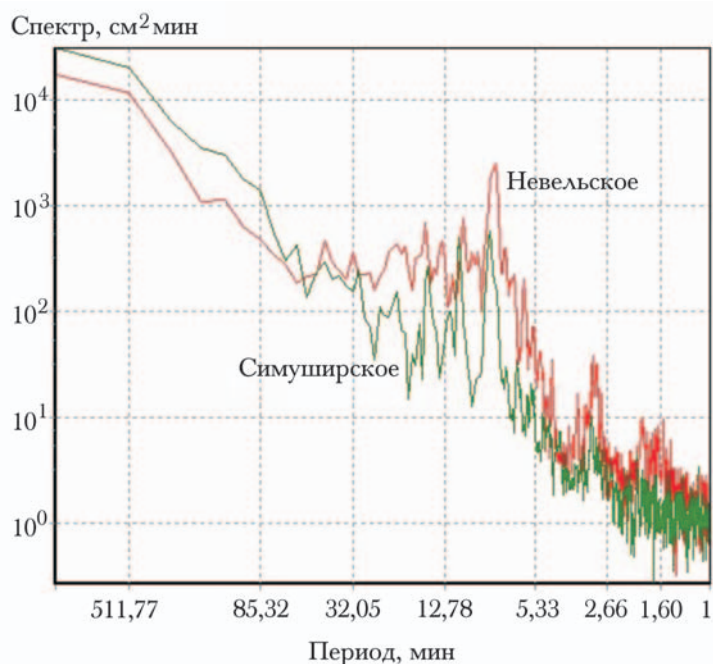


Рис. 7.7. Спектры цунами в бухте г.Холмск от Симуширского 15.11.2006 г. и Невельского 2.08.2007 г. землетрясений.

Fig. 7.7. Spectra of tsunamis in the Kholmok Bay caused by Simushir and Nevelsk earthquakes of November 16, 2006 and August 2, 2007 respectively.

Соответственно, пики на периодах более 8 мин не связаны с резонансными колебаниями в бухте – они могут быть следствием особенностей источника цунами, либо связаны с влиянием участка шельфа, прилегающего к району проведения исследований. Например, пики на периодах около 11 и 16 мин, проявившиеся в обоих цунами, скорее всего обусловлены влиянием местного донного рельефа. Исследование резонансного усиления на шельфе приходящих из открытого океана длинных волн типа цунами также представляет значительный интерес при оценке возможного воздействия морских опасных явлений на объекты, расположенные в береговой зоне. Данный эффект имеет явную аналогию с собственными колебаниями в заливах и бухтах – усиление волн на отдельных частотах связано с отражениями волн от берега и от кромки шельфа, и поэтому иногда его именуют «шельфовыми сейшми».

Таким образом, в результате анализа записей цунами выявлены основные периоды, на которых возможно усиления приходящих из открытого моря длинных волн. Внутри бухты особенно выделяются колебания на периоде около 8 мин, отвечающие нулевой моде собственных колебаний бухты.

В спектрах записей как удаленного, так и близкого цунами выделялся также четкий максимум на периоде около 3 мин, отвечающий одноузловой продольной сейше бухты, пучности которой находятся у входа в бухту и в ее кутовой части.

В результате выполненного анализа выявлено также усиление колебаний на периодах около 11 и 16 мин, обусловленное, вероятно, явлением шельфового резонанса.

### **7.3.2. Характеристика штормовых нагонов**

*Общие сведения, характеристика ущерба от нагонов.* Для юго-западного побережья о. Сахалин серьезную опасность представляют также штормовые нагоны – крупномасштабные повышения уровня моря, обусловленные действием ветра и падением приземного атмосферного давления при прохождении над акваторией моря глубоких циклонов или тайфунов. Помимо того, что штормовые нагоны сами по себе вызывают затопление прибрежных участков, на фоне повышения уровня моря резко

усиливается действие штормового волнения. Возможность опасного воздействия нагонов на береговую инфраструктуру в данном районе сильно недооценивалась, пока в 1990 и 1995 годах не произошли катастрофические события, заставившие по-иному взглянуть на данную проблему.

Недостаточный учет возможных нагонных волн можно проиллюстрировать примером берегозащитных сооружений станции «Холмск-сортировочная» (Поляково), построенной на искусственном, отсыпанном участке побережья. Несмотря на мощные волнозащитные приспособления и специальное бетонное берегоукрепление из тетраэдров, уже вскоре после запуска станции в эксплуатацию, дважды в течение 1990 года (в апреле и в ноябре) эти берегоукрепительные сооружения на некоторых участках были разрушены, и железнодорожное полотно получило повреждения. Позднее, осенью 1994 и 1995 годов, ситуация повторилась, и на данной станции вновь были разрушения и значительный экономический ущерб.

Нужно отметить, что аналогичный искусственно созданный путем отсыпки и застроенный участок побережья в Невельске не был поврежден. Мощная волнозащитная стенка выдержала удары стихии, в том числе при экстремальных нагонах 1990 и 1995 годов.

*Анализ колебаний уровня моря при штормовых нагонах.* Для анализа штормовых нагонов из исходных измеренных рядов уровня моря вычитают предвычисленный прилив. Остаточные непериодические вариации уровня обусловлены метеорологическими явлениями – колебаниями приземного атмосферного давления и скорости ветра. Обычно они сравнительно невелики, их среднеквадратическая амплитуда составляет 10–12 см. На их фоне резко выделяются значительные подъемы уровня – штормовые нагоны. Рассмотрим несколько наиболее сильных нагонов, зафиксированных на мареографных станциях Сахалинского управления Росгидромета (береговых самописцах уровня моря) юго-западного Сахалина, которые расположены в портах Холмска и Невельска (в Невельске самописец не работает с 1993 г.).

Приведенные в работах [Шевченко, Любичкий, Като, 1994; Като, Миськов, Шевченко, 2001] примеры записей штормовых наго-

нов 9 апреля и 9–10 ноября 1990 года показывают, что в данном районе нагоны могут достигать значительной величины. Число опасных нагонов с высотой подъема уровня более полуметра за 25-летний период наблюдений составило 12, то есть в среднем один опасный нагон в два года. Экстремальные нагоны с высотой 1 м и более были отмечены в данном районе дважды – в ноябре 1990 и 1995 гг. Последний зафиксирован только мареографом в порту Холмск, так как самописец уровня в порту Невельск был к тому времени демонтирован. Эти природные явления были катастрофами крупного масштаба и относятся к редким событиям. Несмотря на то, что они отмечены дважды с интервалом в 5 лет, ранее подобные нагоны здесь не наблюдалось, и они относятся к редким событиям, соответствующим периоду повторяемости около 100 лет.

Значительный нагон был зафиксирован в г. Холмск 22–23 ноября 2006 г. в процессе проведения экспериментальных исследований волновых процессов на акватории порта (рис. 7.8). Высота нагонной волны по предварительной оценке превысила 75 см, то есть данное событие можно отнести к числу особо опасных природных явлений.

Характерно, что на фоне максимального подъема уровня хорошо просматриваются резкие колебания, причем особенно сильные из них имели период 3 мин, то есть были связаны с одноузловой продольной сейшей бухты. Амплитуда этих колебаний достигала 15 см, что и само по себе, без учета нагона,

может представлять значительную опасность для находящихся в порту судов.

Существенную роль в формировании этих резких вариаций играла также нулевая мода собственных колебаний, хотя ее амплитуда достигала 7–8 см, то есть была примерно вдвое меньше, чем на периоде 3 мин.

С короткопериодными собственными колебаниями в гаванях связаны возвратно-поступательные движения судов, которые в некоторых случаях приводят к обрыву швартовых канатов, ударам судов о причалы и т.д. Это явление получило название тягуна и связывают его обычно с метеорологическими причинами – усилениями ветра при прохождении атмосферных возмущений и возрастании интенсивности ветрового волнения. Как уже отмечалось выше, экспериментальные измерения волновых процессов в Холмской бухте сопровождалась регистрацией приземного атмосферного давления и скорости ветра. При помощи автономной метеостанции WS-2300 была проведена оценка связи атмосферных возмущений с волнением на море и построен график скорости и направления ветра за ноябрь 2006 г., приведенный на рис. 7.9. В районе проведения эксперимента воздушные потоки имеют преимущественно меридиональный характер, что обусловлено влиянием орографии – вблизи г. Холмск местность гористая, а берег имеет меридиональную ориентацию (аналогичный рельеф в районе г. Невельск). Анализ скорости ветра в районе наблюдений показал, что развитию штормовых волн вы-

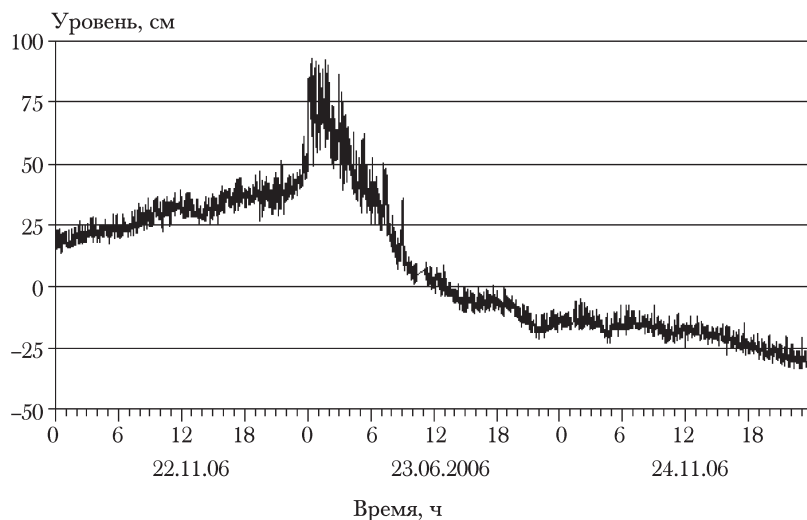


Рис. 7.8. Запись непериодических колебаний уровня моря, содержащая штормовой нагон 22–23 ноября 2006 г.

Fig. 7.8. Record of the non-periodic sea level fluctuations containing storm surge of November 22–23, 2006.

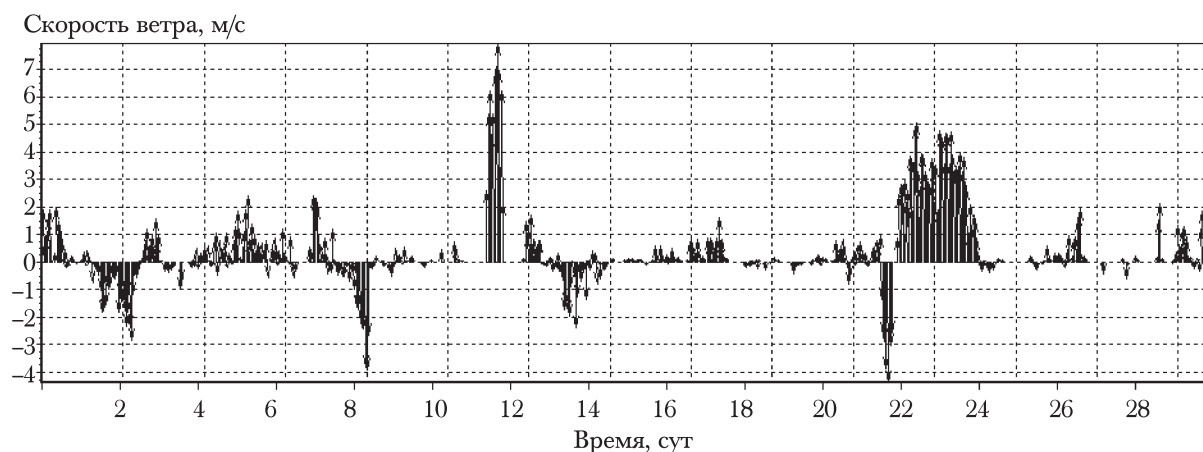


Рис. 7.9. Скорость и направление ветра в ноябре 2006 г.

Fig. 7.9. Wind speed and direction in November of 2006.

сотой 2,5–3,5 м, а также и усилению тягуна, предшествует продолжительный – от 6 до 10 часов, ветер вдольберегового направления со скоростью 3–7 м/с и более. При более слабых ветрах амплитуда сейши с периодом 3 мин невелика, и тягун не представляет опасности для находящихся в порту судов.

Таким образом, анализ продолжительности и силы ветра позволяет определять дальнейшее развитие волнения на море, а значит предопределять действия по безопасности мореходства.

*Выводы по разделу 7.3.* Организация инструментальных измерений волновых процессов в порту г. Холмск позволила выявить важные особенности резонансных колебаний в бухте и их влияния на формирование морских опасных явлений. Обнаружено, что как при удаленном Симуширском, так и при близком Невельском цунами наиболее важную роль играла нулевая мода собственных колебаний с периодом около 8 мин. Одноузловая продольная сейша с периодом около 3 мин проявилась существенно слабее.

При сильном штормовом нагоне ситуация была противоположной – наиболее существенным был вклад первой моды, амплитуда которой достигала 15 см. Интенсивность вариаций, связанных с нулевой модой, была в два раза ниже.

Колебания с периодом около 3 мин тесно связаны с величиной скорости ветра и интенсивностью ветрового волнения на море, они ответственны за формирование тягуна в порту г. Холмск.

Аналогичный эксперимент по измерению характеристик длинноволновых процессов в районе г. Невельск был начат 22 октября 2007 г., когда у причалов порта были установлены два автономных измерителя волнения. 5 июня 2008 года кабельная станция была выставлена в районе пос. Горнозаводск, схема постановки датчиков приведена на рис. 7.10. Анализ материалов инструментальных измерений длинных волн позволит выявить особенности морских опасных явлений и оценить их возможное воздействие на объекты, расположенные в прибрежной зоне изучаемого района.

Актуальность выполнения таких работ обусловлена еще и сильной сейсмической активностью вблизи г. Невельск в настоящее время, которая продолжается после землетрясения, произошедшего 2 августа 2007 года.

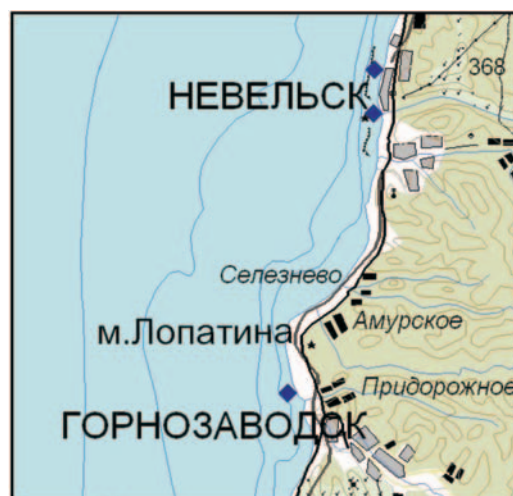


Рис. 7.10. Карта постановки измерителей в порту Невельск. ◆ – автономный измеритель волнения.

Fig. 7.10. Map of the metering equipment's location in the port of Nevelsk. ◆ – self-contained wave meter.

#### 7.4. Акустическая активность зоны разлома Невельского землетрясения

Гидроакустические шумы несут информацию о различных динамических процессах, как в водной среде, так и в пограничных средах. Одним из источников, дающим существенный вклад в общее шумовое гидроакустическое поле водных акваторий, может быть акустическая эмиссия, особенно сильно проявляющаяся в зоне активных разломов. Акустическая эмиссия возникает в моменты образования микротрещин под воздействием накапливающейся упругой энергии в твердых породах при условии превышения некоторых пороговых значений растущих механических напряжений. Акустической эмиссией сопровождаются все геодинамические процессы – независимо от их пространственных и временных масштабов. Акустоэмиссионные волны порождаются различными физическими и химическими процессами, происходящими в твердых и вязких породах Земли, и носят импульсный характер, отображающий дискретную природу их источников.

Диапазон частот, в котором могут наблюдаться сигналы геоакустической эмиссии, весьма широк – от единиц-десятков герц до десятков и даже сотен килогерц, и зависит от природы источников акустической эмиссии. Такие природные явления, как крипы, микроразрушения горных пород вызывают геоакустическую эмиссию, в основном, в нижней части спектрального диапазона.

Более высокочастотный диапазон (сотни герц – килогерцы) геоакустической эмиссии обусловлен образованием микротрещин. Диапазон частот эффективного акустического излучения микротрещиной, как механической колебательной системы, зависит от скорости развития и конечного размера микротрещины. В свою очередь, скорость развития микротрещины и ее размеры определяются, в основном, механическими свойствами породы, а также величинами и пространственно-временным распределением механических напряжений, приложенных к зоне образования микротрещины.

Скорость образования микротрещины определяет крутизну фронта акустоэмиссионной волны. Размеры микротрещины (совместно с акустическими свойствами породы) определяют резонансные свойства микротрещины, точнее, ее берегов (границ), как

акустической колебательной системы. Таким образом, проводя диагностику микротрещин по тонкой структуре сигналов акустической эмиссии, можно осуществлять оценку механических свойств породы и ее напряженного состояния. Пространственная селекция кластерных образований микротрещин возможна с помощью томографических методов приема и обработки сигналов геоакустической эмиссии.

Ряд исследователей отмечает эффект резкого возрастания интенсивности высокочастотной составляющей геоакустической эмиссии непосредственно (за десятки минут – сутки) перед землетрясением [Рыкунов, Хаврошин, Цыплаков, 1979; Акустический мониторинг..., 2005]. Причем диапазон частот, в котором наблюдались эти эффекты, достаточно широк. Так, в первой из этих работ описаны акустоэмиссионные эффекты в среде, которые наблюдались в диапазоне частот 30–40 Гц, а во второй описаны наблюдения, которые проводились в широкой полосе частот, вплоть до 3 кГц. Причем, за единицы-десятки минут до сильных землетрясений, наблюдаемые импульсные сигналы высокочастотной акустической эмиссии сливались в непрерывный сплошной поток.

Некоторые исследователи наблюдали перед землетрясением исчезновение модулирующих эффектов с суточным периодом и снижение общего уровня геоакустической эмиссии с последующим восстановлением суточного хода после землетрясения [Гаврилов, 2005]. Для близких землетрясений перед нарушением суточного хода и снижением общего уровня геоакустической эмиссии наблюдалось возрастание уровня эмиссионных акустических шумов. Наиболее заметно описанные эффекты проявлялись на частотах в районе 160 Гц. Предполагается, что снижение уровня геоакустической эмиссии связано с повышением пороговых напряжений и, соответственно, с уменьшением количества образующихся микротрещин, вследствие упрочнения пород за счет сильного сжатия среды непосредственно перед событием.

При подготовке землетрясений объем среды, подвергающийся значительным механическим напряжениям, превышающим пороговые значения, необходимые для обра-

зования микротрещин, гораздо больший, чем размеры будущего очага. То есть, непосредственно перед землетрясением лавинообразно возникают кластерные поля микро- и нанотрещин, которые не обязательно будут участвовать в генерации основного разрыва. Поэтому обнаружение спонтанного роста интенсивности геоакустической эмиссии килогерцового диапазона возможно на значительных удалениях, как от гипоцентра, так и от эпицентра будущего события.

Отдельная микротрещина в момент ее образования, может быть представлена, как акустический излучатель малых волновых размеров со сложной формой противофазно колеблющихся берегов трещины. Излучение такой трещины обладает направленностью. Кластеры – структуры, состоящие из примерно одинаковых и одинаково ориентированных микротрещин, могут быть представлены как объемные излучающие акустические антенны, обладающей высокой направленностью. Высокочастотные акустоэмиссионные волны могут достигать дневной поверхности над областью кластера микротрещин и быть обнаруженными геофонами, установленными на поверхности земли.

Если микротрещины в осадочных породах образуются в районах, находящихся под какими либо водными бассейнами, то акустоэмиссионные волны, трансформировавшиеся в гидроакустические волны, могут быть обнаружены гидрофонами на гораздо больших расстояниях от зон образования микротрещин, чем непосредственно геофонами. Это обусловлено тем, что поглощение акустических волн в воде на три-четыре порядка меньше, чем поглощение в твердых породах.

Имеется ряд работ, в которых обсуждаются вопросы обнаружения геоакустической эмиссии по гидроакустическому каналу и анализируется возможность использования получаемых данных для формирования краткосрочных признаков готовящегося землетрясения [Гидроакустическая локация..., 2003; Морозов, Сасорова, 2003]. Для этой части работ характерно то, что сейсмическая активность обнаруживалась в диапазоне частот 40–110 Гц гидроакустической антенной (решеткой больших волновых размеров). Это позволило не только обнаруживать события и микроземлетрясения на уда-

лениях в десятки и сотни км, но и определять направления на их эпицентры.

В этих работах сделаны выводы о том, что в гидроакустических данных можно выделять сигналы, генерируемые в близ очаговой зоне на последней стадии подготовки землетрясения, которые не наблюдаются наземными сейсмографами из-за сильного затухания этих сигналов в твердых породах. Поэтому использование гидроакустических сигналов дает возможность представить процессы, происходящие в зоне эпицентра на стадии, предшествующей основному толчку.

Представляется перспективным комплексный подход в решении задач прогнозирования сильных землетрясений, который осуществлен в работе [Землетрясение 17(18) августа..., 2007]. В этой работе, основываясь на долгосрочном прогнозе сильного землетрясения на Сахалине, в области его предполагаемой подготовки была установлена передвижная полевая станция, которая фиксировала гидроакустические и геоакустические сигналы (подробное изложение см. в разделе 4.3). Землетрясение произошло 17.08.2006 г. вблизи пос. Горнозаводск (Холмский район Сахалинской области). Его параметры оказались следующими: магнитуда  $M = 5,6$ , координаты эпицентра  $46,45^\circ$  с.ш. и  $142,11^\circ$  в.д., глубина очага  $h = 12$  км. На рис. 4.8 приведены осциллограммы гидроакустических и сейсмических сигналов, зарегистрированных в 16:20:08 с помощью сейсмогидроакустической станции. Из осциллограмм видно, что времена вступления сейсмических сигналов на все каналы практически одинаковы. Это говорит о незначительном удалении сейсмоакустической станции от гипоцентра. Перед главным событием авторы наблюдали сигналы акустической эмиссии (рис. 4.7), представляющие собой почти периодически повторяющиеся пакеты импульсов. Серия таких сигналов стала наблюдаться примерно за 21 час до главного события. Гидроакустические сигналы эмиссионного происхождения подобной формы могут рассматриваться как краткосрочный предвестник сильного землетрясения.

Ряд сеансов регистрации акустических шумов был проведен авторами данной работы в портах г. Невельск и г. Холмск и на од-



ном из озер (рис. 7.11), расположенном в 7 км от грязевого вулкана, в сопках на высоте примерно 300 м. Средняя глубина озера была равна примерно два метра. Запись гидроакустических шумов проводилась 24 октября 2007 г. Начало записи – 12 час 24 мин. Для регистрации сигналов использовалась, разработанная в ИМГиГ ДВО РАН автономная одноканальная микроминиатюрная гидрофонная система (рис. 7.12), содержащая 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь и встроенную флэш-память. Чувствительность гидрофона – 200 мкВ/Па.

Гидрофон был установлен в небольшом озере, находящимся в сопках на высоте ~ 300 м на юго-западе о-ва Сахалин, в районе активного разлома. Непрерывный поток сигналов акустической эмиссии (рис. 7.13) показывает высокую наномасштабную геодинамическую активность данного района. Энергетический спектр сигнала – СПМ (спектраль-



Рис. 7.11. Вид на озеро в месте установки гидрофона.

Fig. 7.11. Lake, location of the hydrophone's deployment.



Рис. 7.12. Миниатюрная гидрофонная система

Fig. 7.12. Miniature hydrophone system

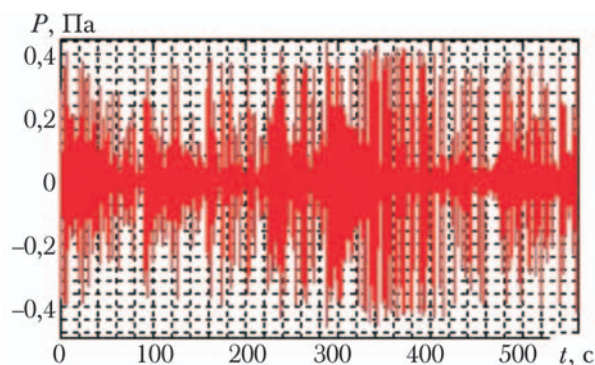


Рис. 7.13. Гидроакустическая реализация геоакустических сигналов. Длительность – 9 мин 20 с.

Fig. 7.13. Hydro-acoustic registration of the geo-acoustic signals. Duration 9 min 20 sec.

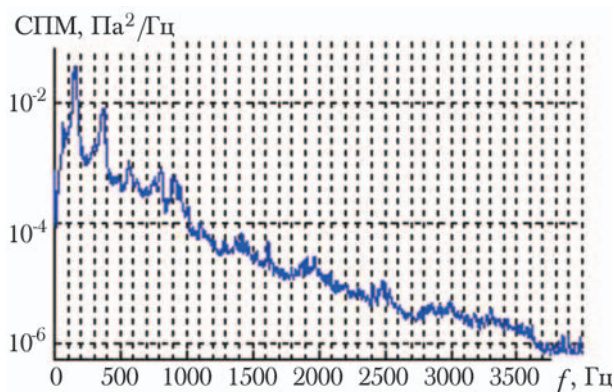


Рис. 7.14. Энергетический спектр гидроакустических сигналов.

Fig. 7.14. Energy spectrum of the hydro-acoustic signals.

ная плотность мощности) сосредоточен в диапазоне нескольких сотен герц, причем, в основном, в районе двух частот: ~ 360 Гц и ~ 160 Гц (рис. 7.14). Из осциллограммы на рис. 7.13 видно, что максимальные амплитуды импульсных гидроакустических сигналов достигают значений  $P = 0,4-0,5$  Па. При этом амплитуда колебательной скорости частиц воды в гидроакустическом поле (считаем волну плоской) составит:  $\xi = P / \rho c \approx 0,3$  мкм/с, где  $P = 0,5$  Па – амплитуда звукового давления в акустической волне;  $\rho \cdot c$  – акустическое волновое сопротивление среды;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды;  $c = 1500$  м/с – скорость звука. На частоте 360 Гц, при колебательной скорости 0,3 мкм/с, колебательное смещение частиц водной среды составит  $\xi = \xi / 2\pi f \approx 1,5 \cdot 10^{-10}$  м.

Для тех условий, в которых производился прием гидроакустических сигналов, а именно – малые размеры озера (порядка 400 м<sup>2</sup>) и тонкий слой воды (меньше четвер-

ти длины волны на частоте 160 Гц), можно считать, что эпицентр источника геоакустической эмиссии находится либо в районе озера, либо в непосредственной близости от него. А амплитуда колебательного смещения донной поверхности равна амплитуде колебательного смещения частиц воды у гидрофона. Одним словом, амплитуда звукового давления 0,5 Па создается колеблющейся донной поверхностью в озере, имеющей смещение  $1,5 \cdot 10^{-10}$  м. Эти значения деформаций находятся в диапазоне, характеризующем наноземлетрясения.

Несмотря на различную форму отдельных импульсов в рассматриваемой реализации, их объединяет то, что в своей структуре импульсы имеют короткое высокочастотное вступление с последующим переходом колебаний на более низкую частоту. Широкополосная высокочастотная часть импульса характеризует колебательный процесс берегов образующихся нанотрещин и их размеры. Спектр этих колебаний занимает широкую полосу частот практически во всех импульсах из реализации, представленной на рис. 7.13, с центральной частотой, примерно равной 360 Гц. Это означает, что образуемые нанотрешины в исследуемом геоблоке имеют примерно одинаковые размеры. Последующий, более низкочастотный колебательный процесс внутри импульсного сигнала характеризует резонансный отклик среды на короткий широкополосный колебательный процесс берегов трещины.

В реализации, приведенной на рис. 7.13, обнаружена пара акустических импульсов, следующих непосредственно один за другим, с удивительно близкими значениями по форме, длительности и амплитуде (рис. 7.15). Этот сигнал условно был назван «дуплетным» гидроакустическим импульсом. Такой сигнал может означать почти полную идентичность пространственно-временного распределения механических напряжений и структур геосреды в «точках» образований двух нанотрещин. А отклики среды на эти два коротких импульса, происходящие в районе частоты 160 Гц, оказались незначительно отличающимися по частоте. В результате чего в сигнале на рис. 7.15 образовались биения. Различие по частоте составляет примерно 10 Гц.

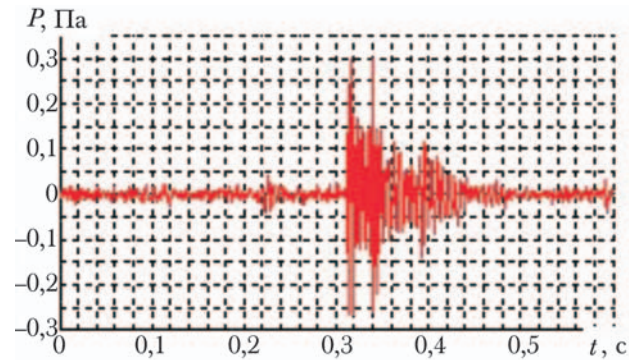


Рис. 7.15. «Дуплетный» гидроакустический импульс.

Fig. 7.15. «Doublet» hydro-acoustic pulse.

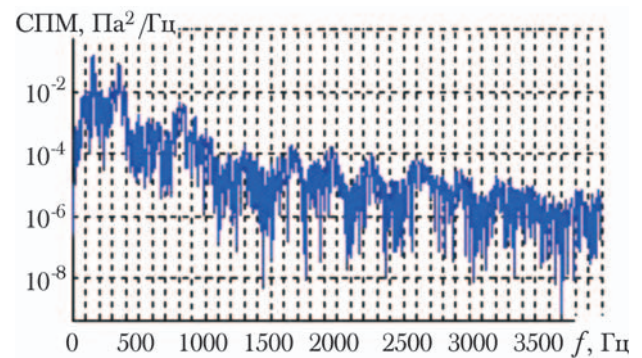


Рис. 7.16. Энергетический спектр «дуплетного» импульса.

Fig. 7.16. Energy spectrum of «doublet» pulse.

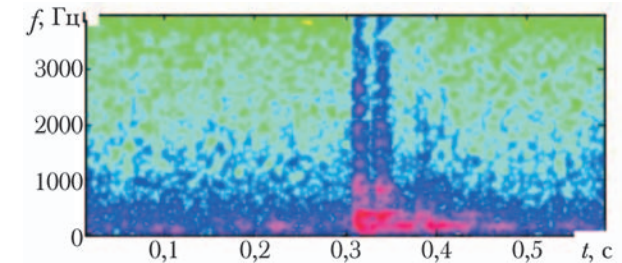


Рис. 7.17. Спектрограмма «дуплетного» импульса.

Fig. 7.17. Spectrogram «Doublet» pulse.

На рис. 7.16 и рис. 7.17 представлены график энергетического спектра акустического импульса, приведенного на рис. 7.15, и его спектрограмма. Спектрограмма хорошо иллюстрирует изменение частоты излучения во времени, а энергетический спектр указывает на концентрацию излучаемой энергии в районе частот 360 Гц, 160 Гц и в диапазоне 700–800 Гц. Еще один импульс (рис. 7.18) из реализации на рис. 7.13 имеет отличительное свойство в том, что энергия излучения берегов нанотрешины сосредоточена в большей степени в диапазоне частот 700–800 Гц и в меньшей степени на частоте 360 Гц. Это видно из графика энергетического спектра

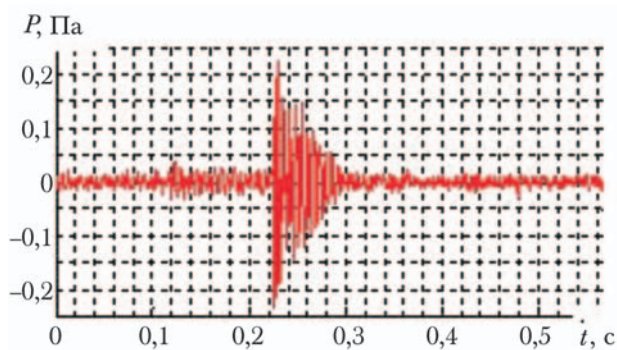


Рис. 7.18. Импульс с высокочастотным возбуждением.

Fig. 7.18. High – frequency excitation pulse.

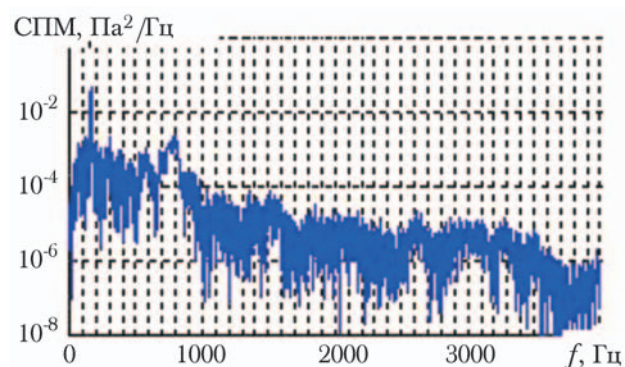


Рис. 7.19. Энергетический спектр импульса, приведенного на рис. 7.18.

Fig. 7.19. Energy spectrum of the pulse shown in the Fig. 7.18.

(рис. 7.19) акустического импульса. На рис. 7.20–7.22 приведены спектрограмма и осциллограммы рассматриваемого импульсного сигнала, отфильтрованного фильтром верхних частот и фильтром нижних частот, соответственно. Видно, нанотрещина меньших размеров, излучающая короткий импульс на более высоких частотах, также возбуждает резонансную неоднородность на частоте 160 Гц. Интересно отметить любопытное совпадение – В.А. Гаврилов (2005) наблюдал в глубокой скважине на Камчатке максимумы шумов геоакустической эмиссии в узкой полосе с центральной частотой 160 Гц.

Как видим, гидроакустический канал может быть использован не только для простого обнаружения геоакустических шумов акустоэмиссионного происхождения. С помощью гидрофонных станций возможно осуществлять оценки некоторых параметров микротрещин, как излучателей акустических волн. Запись и дальнейший анализ гидроакустических сигналов акустоэмиссионного происхождения необходимы для поиска в тонкой структуре сигналов геоакусти-

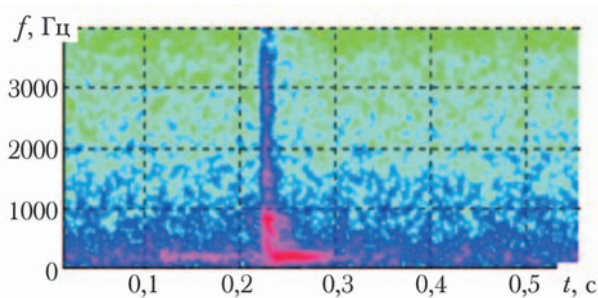


Рис. 7.20. Спектрограмма импульса, приведенного на рис. 7.18.

Fig. 7.20. Spectrogram of the pulse shown in the Fig. 7.18.

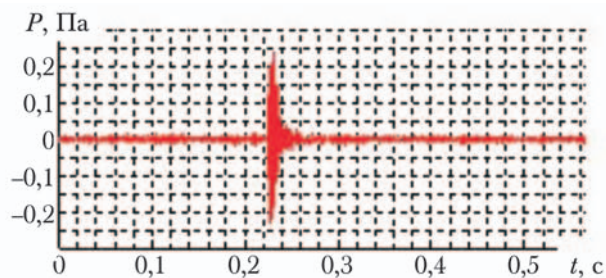


Рис. 7.21. Результат ФВЧ фильтрации импульса, приведенного на рис. 7.18.

Fig. 7.21. Result of the Fig. 7.18. pulse' filtration using HF filter.

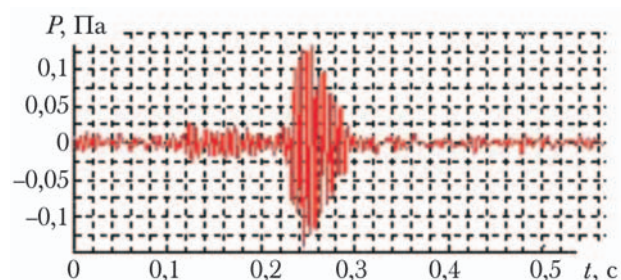


Рис. 7.22. Результат ФНЧ фильтрации импульса, приведенного на рис.7.18.

Fig. 7.22. Result of the Fig.7.18 pulse' filtration using LF filter.

ческой эмиссии информативных, устойчивых признаков краткосрочных предвестников сильных землетрясений.

Тонкая структура акустических сигналов, определение координат и оконтуривание кластеров микротрещин, определение пространственно-временной изменчивости интенсивности и преимущественной направленности излучения микротрещин, позволят разработать методики оценивания параметров готовящихся землетрясений. В настоящее время проводятся подготовительные работы по установке стационарных донных гидрофонных станций на акваториях в районах г. Невельск и г. Холмск.

## Список литературы

- Акустический мониторинг и прогноз землетрясений / А.С. Беляков, В.С. Лавров, А.В. Николаев, Л.Л. Худзинский // Труды Российского акустического общества (РАО), XVI сессия, геоакустика. 2005. С.266–269.
- Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е.* О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника // Вычислительная сейсмология. М.: ГЕОС, 2001. Вып.32. С.81–97.
- Анализ текущей сейсмической обстановки в районе Южного Сахалина / И.Н.Тихонов, А.И. Иващенко, Ким Чун Ун, В.И. Михайлов, Сен Рак Се // Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005). Международный научный симпозиум, 5–8 июня, 2005. Южно-Сахалинск, Россия: тезисы докладов. Южно-Сахалинск. 2005. С.134–135.
- Арефьев С.С.* О картировании основных параметров сейсмического режима // Оценка эффекта сильных землетрясений. М.: Наука, 1989. С.4–14. (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.30).
- Арефьев С.С.* Эпицентральные сейсмологические наблюдения. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 375 с.
- Балабко Г.Ф., Ефременков А.Ф., Еремина Г.Ф.* и др. Комплексные региональные исследования в южной части Татарского пролива (объект 17/78). – Южно-Сахалинск: Тихоокеанская морская геолого-геофизическая нефтегазовая экспедиция, 1979. – 197 с.
- Бурмин В.Ю.* Новый подход к определению параметров близких землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1992. №3. С.73–82.
- Бурмин В.Ю.* Оптимизация сетей сейсмологических наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы Второй международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2007. С.54–62.
- Бурмин В.Ю., Ахметьев В.М.* Погрешности в определении параметров гипоцентров близких землетрясений и эффективность системы сейсмологических наблюдений // Вулканология и сейсмология. 1994. №2. С.109–128.
- Войкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И.* Неотектоника и активные разрывы Сахалина. М.: Наука, 2007. 186 с.
- Волгин П.Ф., Корнев О.С., Васюк Б.С.* К перспективам нефтегазоносности прогиба Анива о. Сахалин // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах северо-западной окраины Тихого океана. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. – Т.1. – С.67–75.
- Воробьева Е.А.* Механизм очага Монеронского землетрясения по инструментальным данным // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, 1977. С.68–76.
- Гаврилов В.А.* Изменения характеристик геоакустической эмиссии в глубокой скважине, связанные с подготовкой землетрясений // Труды Российского акустического общества (РАО), XVI сессия, геоакустика. 2005. С.283–287.
- Геология СССР. Т.33. Остров Сахалин. – М.: Недра, 1970. – 431 с.
- Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. – Владивосток. – 2004. – 219 с.
- Гидроакустическая локация области зарождения океанического землетрясения / С.С. Лаппо, Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, В.Е. Морозов, И.Н. Диденкулов, Я.С. Карлик // Доклады АН. 2003. Том 388, №6. С.805–808.
- Го Ч.Н.* Статистические свойства заплесков цунами на побережье Курильских островов и Японии. – Препринт. – Южно-Сахалинск, 1987. 45 с. (ИМГиГ ДВНЦ АН СССР).
- Землетрясение 17(18) августа 2006 г. на Сахалине и первая реализация комплексного прогноза / Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, Ч.У. Ким, М.Е. Коровин, А.Е. Малашенко, П.В. Савочкин, И.Н. Тихонов // Доклады АН. 2007, том 412, №3. С.396–400.
- Злобин Т.К., Бобков А.О.* Современная сейсмичность и разломная тектоника юга Сахалина. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2003. 124 с.
- Злобин Т.К.* Динамика сейсмического процесса и строение очаговых зон сильных землетрясений Сахалина и Курил. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2005. – 137 с.
- Зоненштайн Л.П., Савостин Л.А.* Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
- Ивельская Т.Н., Храмушин В.Н., Шевченко Г.В.* Мониторинг морских опасных явлений в порту города Холмск // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 2001. С.146–159.
- Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность / отв. ред. Ю.Б. Гладенков. – М.: ГЕОС, 2002. – 224 с.
- Като Э., Миськов О.А., Шевченко Г.В.* Штормовые нагоны на побережье острова Сахалин в конце XX века // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 2001. С.160–176.

Ким Ч.У., Сен Р.С. Результаты сейсмических исследований в окрестности Южно-Сахалинска с использованием цифровых сейсмических станций // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т.5. С.163–175.

Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Экспериментальные исследования цунами в порту г.Холмск // Известия АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. Н. Новгород: НГТУ. 2007. Т.20. С.68–79.

Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Экспериментальные исследования явления тягуна в порту г.Холмск // Известия АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. Н. Новгород: НГТУ. 2007. Т.20. С.106–112.

Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования в Охотском море (объект 11/86). / А.С. Чуйко, В.В. Куделькин, Т.И. Карпей и др. – Южно-Сахалинск: трест Дальморнефтегеофизика, 1988. – 284 с.

Кособоков В.Г. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. // Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. – М.: ГЕОС, 2005. – Часть I. 179 с. – (Вычислительная сейсмология; вып.36).

Кофф Г.А., Малаховский А.А., Ким Чун Ун. Роль характера застройки городов острова Сахалин в формировании сейсмического риска и анализ последствий Невельских землетрясений 18 августа 2006г. и 2 августа 2007г. Владивосток: Дальнаука, 2007. 59 с.

Краева Н.В. Исследование сейсмичности на юге Сахалина в 1992–1996 гг. по данным IRIS-2 // Очаги сильных землетрясений Дальнего Востока. Южно-Сахалинск, 1997. С.149–162. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; том V).

Купцов А.В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. №10. С.59–65.

Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. №5. С.45–59.

Кучай В.К. Современная орогенная структура южной части о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 1987. №1. С.50–57.

Кучай В.К., Полунин Г.В. Предельная интенсивность землетрясений Сахалина по палеосейсмологическим данным // Тихоокеанская геология. 1986. №3. С.112–115.

Левин Б.В., Ким Ч.У., Тихонов И.Н. Горнозаводское землетрясение 17(18) августа 2006 г. на юге Сахалина // Тихоокеанская геология. 2007. Том 26, №2. С.102–108.

Ломтев В.А., Жигулев В.В., Кононов В.Э., Агеев В.Н. Возможности непрерывного сейсмического профилирования (НСП) при нефтегазописковых исследованиях // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России: доклады международного научного симпозиума. Южно-Сахалинск, 24–28 сентября 2002 г. – Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2004. – Том 1. – С.107–118.

Ломтев В.А., Кругляк В.Ф., Савицкий В.О. Геологическое строение, история геологического развития в неогене и направление нефтепоисковых работ в северной части Татарского пролива // Геология и стратиграфия кайнозойских отложений Северо-Западной Пацифики. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. – С.63–69.

Ломтев В.А., Никифоров С.П., Ким Чун Ун. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник ДВО РАН. – 2007. – №4. – С.64–71.

Макросейсмические проявления Невельских землетрясений 2 августа 2007 года / Н.А. Урбан, Т.А. Фокина, Н.С. Коваленко, Т.В. Нагорных, Д.А. Сафонов, В.М. Кайстренко, Е.П. Семёнова, М.Ю. Андреева. – Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. 60 с.

Макросейсмический эффект Монеронского землетрясения / Н.Н.Леонов, С.Л.Соловьев, В.А. Субботин, Р.З. Тараканов, М.Д. Ферчев, Н.А. Щетников // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, 1977. С.93–111.

Мальшев А.И., Тихонов И.Н., Дугарцыфернов К.Ц. Методика построения математических моделей развития форшок-афтершоковых последовательностей сильных курильских землетрясений. – Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1992. 35 с.

Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ / Ж.Я. Аптекман, Т.С. Желанкина, В.И. Кейлис-Борок, В.Ф. Писаренко, Л.Н. Поплавская, М.И. Рудик, С.Л. Соловьев // Теория и анализ сейсмологических наблюдений. М.: Наука, 1979. С.45–58. (Вычислительная сейсмология; Вып.12).

Мельников О.А. Динамическая модель земной коры и ее вероятный механизм // Восточноазиатские островные системы: тектоника и вулканизм. Южно-Сахалинск, 1978. С.27–32.

*Мельников О.А.* К вопросу об оценке максимальной балльности ожидаемых землетрясений и о региональном сейсмическом районировании // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. Нефтегорское землетрясение 27 (28).05.1995 г. М., 1995. С.208–214.

*Мельников О.А.* К вопросу об оценке максимальной балльности ожидаемых землетрясений и региональном сейсмическом районировании // Геология и геодинамика Сихотэ-Алиньской и Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. Южно-Сахалинск, 1997. С.150–159.

*Мельников О.А.* О взаимосвязи геологического строения и сейсмичности Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, 1977. С.46–51.

*Мельников О.А.* Определяющая роль основных ротационных геодинамических механизмов в естественной сейсмичности Земли // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский, 2000. С.255–267.

*Мельников О.А.* Структура и динамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 95 с.

*Могилевский К.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.

Монеронское землетрясение 5 (6) сентября 1971 г. / С.Л. Соловьев, Н.Н. Леонов и др. // Доклады АН СССР. 1973. Т.212, №1. С.92–98.

*Морозов В.Е., Сасорова Е.В.* Высокочастотные сигналы (40–110 Гц), предшествующие землетрясениям, по гидроакустическим данным на Тихоокеанском побережье Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2003. №1. С.64–74.

О необходимости федеральной программы работ по решению проблемы краткосрочного прогноза землетрясений / В.Н. Страхов, Г.А. Соболев, М.Д. Рукин, В.А. Моргунов, А.Я. Сидорин. М.: ИФЗ РАН. 2005. 40 с.

Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России / А.А. Поплавский, В.Н. Храмушин, К.И. Непоп, Ю.П. Королев. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. 273 с.

*Оскорбин Л.С.* Сейсмичность Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, 1977. С.3–22.

*Оскорбин Л.С., Бобков А.О.* Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока. // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т.6. С.179–197.

Особенности тектонических деформаций при Невельском (02.08.2007) цунамигенном землетрясении ( $M \sim 6,1$ ) / В.Л. Ломтев, В.М. Кайстренко, М.Ю. Андреева, Е.П. Семенова, О.Л. Каргашова, Н.А. Урбан, Н.С. Коваленко, Т.Н. Ивельская, Ю.П. Королев, П.Ю. Королев // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: международный научный симпозиум, Южно-Сахалинск, 27–30 сентября, 2007. Южно-Сахалинск, 2007. С.42–43.

*Паровышний В.А.* Надвиговые системы в кайнозойских прогибах Чукотки и Сахалина: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2005. – 23 с.

Подводные землетрясения вблизи от береговой линии: акустические методы для выделения процесса подготовки землетрясения и перспективы применения для систем предупреждения о цунами / Е.В. Сасорова, И.Н. Диденкулов, Я.С. Карлик, Б.В. Левин, В.Е. Морозов, С.П. Петровиченко // Труды международной конференции «Локальные цунами: предупреждение и уменьшение риска». М., 2002. С.167–180.

*Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И.* Методика и первые результаты массовых определений механизмов очагов коровых землетрясений Дальнего Востока // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: ГС РАН, 2001. С.95–99.

*Поплавский А.А., Куликов Е.А., Поплавская Л.Н.* Методы и алгоритмы автоматизированного прогноза цунами. М.: Наука, 1988. 87 с.

Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) / Л.Н. Поплавская, А.О. Бобков, В.Н. Кузнецова, Т.В. Нагорных, М.И. Рудик // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. (Методические работы ЕССН). М.: Наука, 1989. С.32–51.

Проблемы создания аппаратно-программного комплекса для исследования гидродинамики шельфовой зоны / А.О. Лухнов, А.Г. Чернов, А.А. Куркин, О.Е. Полухина // Известия АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. Н. Новгород: НГТУ. 2006. Т.18. С.120–123.

*Рабинович А.Б.* Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.

Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. / Л.Н. Поплавская, А.И. Иващенко, Л.С. Оскорбин, Т.В. Нагорных, Ю.Ю. Пермикин, А.А. Поплавский, Т.А. Фокина, Ч.У. Ким, Н.В. Краева, М.И. Рудик, Д.А. До-

рошкевич, И.А. Паршина, О.А. Жердева. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2006. 103 с.

*Родкин М.В.* Аномалии сейсмического режима в окрестности сильного землетрясения // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: материалы II Сахалинской молодежной научной школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. С.25–53.

*Рожественский В.С.* Геодинамическая эволюция Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы // Тихоокеанская геология. 1993. №2. С.76–88.

*Рожественский В.С.* Активный рифтинг в Японском и Охотском морях и тектоническая эволюция зоны Центрально-Сахалинского разлома в кайнозойе // Тихоокеанская геология. 2008. №1. С.17–28.

*Рожественский В.С.* Тектоническое развитие острова Сахалин // Тихоокеанская геология. – 1987. – №3. – С.42–51.

*Рыкунов Л.Н., Хаврошин О.Б., Цыплаков В.В.* Временные вариации высокочастотных сейсмоакустических шумов // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1979. С.72–77.

*Сергеев К.Ф.* О тектонической природе поднятия Западно-Сахалинских гор // Тихоокеанская геология. – 1982. – №1. – С.75–83.

*Смехов Е.М.* Геологическое строение острова Сахалин и его нефтегазоносность. – М.: Гостоптехиздат, 1953. – 321 с.

*Соловьев С.А.* Основные данные о цунами на Тихоокеанском побережье СССР, 1737–1976 гг. // Изучение цунами в открытом океане. М., 1978. С.61–136.

*Соловьев С.А., Го Ч.Н., Ким Х.С.* Каталог цунами в Тихом океане, 1969–1982 гг. М., 1986. 164 с.

*Соловьев С.А., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д.* Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 180 с.

Такойское землетрясение 1 сентября 2001 г.  $M = 5,2$ ,  $I_0 = 7$  (Сахалин) / Л.Н. Поплавская, Т.А. Фокина, Д.А. Сафонов, Т.В. Нагорных, Ч.У. Ким // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. Обнинск: ГС РАН, 2007. С.331–344.

*Тараканов Р.З.* Размеры очаговых зон сильных землетрясений Курило-Камчатского региона и Японии и проблема максимальных возможных магнитуд // Вулканология и сейсмология. 1995. №1. С.76–89.

Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / отв. ред. К.Ф. Сергеев. – М.: Наука, 2006. – 130 с.

*Тихонов И.Н.* Динамика сейсмического режима юга Сахалина // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Южно-Са-

халинск, 1997. С.5–20. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; том VI).

*Тихонов И.Н.* Методы анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий. 2006. Владивосток, Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 214 с.

*Тихонов И.Н.* Сильные землетрясения в Сахалинской области: исследования и прогнозы // Вестник ДВО РАН. 2006. №1. С.67–80.

*Тихонов И.Н., Ким Ч.У.* Успешный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 года ( $M_{LH} = 6,2$ ) на юге о-ва Сахалин // Доклады АН. 2008. Т.420, №4. С.532–536.

*Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. – М.: Наука, 1971. – Т.1. – 548 с.

*Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенков А.А.* Разломы Сахалина. // Тихоокеанская геология. 1984. №2. С.77–86.

*Шебалин Н.В.* Балльность, магнитуда и глубина очага землетрясений // Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С.126–138.

*Шебалин Н.В.* Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.

*Шебалин Н.В.* Проблемы макросейсмологии; Вып.34). М.: Геос, 2003. 233 с. (Вычислительная сейсмология; Вып.34).

*Шебалин П.Н.* Цепочки эпицентров как индикатор возрастания радиуса корреляции сейсмичности перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – 2005. – №1. – С.3–15.

*Шевченко Г.В., Любичкий Ю.В., Като Л.Н.* Проявления штормовых нагонов в южной части острова Сахалин. – Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1994. 44 с.

Шкала сейсмической интенсивности MSK-64 / Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.

Эпицентральные наблюдения роя ощутимых землетрясений 2001 года на юге Сахалина: инструментальные и макросейсмические данные / А.И. Иващенко, Ч.У. Ким, Л.Н. Поплавская, Т.А. Фокина, О.А. Мельников, О.А. Бобков, Г.И. Брагина, Е.Н. Дорошкевич, Н.С. Коваленко, В.И. Михайлов, Н.К. Мулякаева, М.И. Рудик, Р.С. Сен, А.И. Спиринов, Н.А. Сычаева // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений Северо-Запада Тихого океана (в двух томах). Южно-Сахалинск, 2001. Т.2. С.161–193.

*Alsdorf D., Birkett C., Dunne T., Melack J., & Hess L.* (2001). Water level changes in Large Amazon Lake measured with spaceborn radar interferometry and altimetry // *Geophysical Research Letter*. 28(14). P.2671–2674.

Deformation of the 1995 North Sakhalin earthquake detected by JERS-1/SAR interferometry / M.Tobita, S.Fujiwara, S.Ozawa, P.A.Rosen, E.J.Fiel- ding, Ch.L.Werner, M.Murakami, H.Nakagawa, K.Nitta, M.Murakami // *Earth Planets Space*. 1998. Vol.50. P.313–325.

*Drakopoulos J.C.* A statistical model on the occurrence of aftershocks in the area of Greece // *Bul. Int. Inst. Seismol. Earthquake Eng.*, 1971, 8: P.17–39.

<http://tsun.sccc.ru/tsulab/>

<http://www.globalcmt.org>

Neogen strike-slip faulting in Sakhalin and the Japan Sea opening / M.Fournier, L.Jolivet, Ph.Huchon, K.F.Sergeyev, L.S.Oskorbin // *J.Geophys. Res.* 1994. Vol.99, No.B2. P.2701–2725.

*Okada Y.* Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-spase // *Bul. Seismol. Soc. Am.* 1985. Vol.75, No.4. P.1135–1154.

*Omori F.* On the aftershocks of earthquakes // *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*. 1894. 7. P.111–200.

*Papa F., Legresy B., & Remy F.* Use of the Topex-Poseidon dualfrequency radar altimeter over land surfaces. *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol.87. P.136–147.

*Remy F., Legresy B., Bleuzen S., Vincent P., & Minster J.F.* Dual-frequency Topex altimeter observation of Greenland. *Journal of Electron Waves and Appliance*. 1996. Vol.10. P.1505–1523.

*Remy F., Schaeffer P., & Legresy B.* Ice flow physical processes derived from ERS-1 high resolution map of the Antarctica and the Greenland ice sheets. *International Journal of Geophysics*. 1999. Vol.139. P.645–649.

*Sasorova E.V., Levin B.W., Morozov V.E.* Local tsunami warning problem and one of possible method of its solving // *Proceedings of 22-nd International Tsunami Symposium, Chania. Greece, 27–29 June, 2005*. Eds. G.A.Papadopoulos, K.Satake. Athene. 2005. P.204–210.

*Sato R.* Theoretical basis on relationship between focal parameters and magnitude // *J. Phys. Earth*. 1979. Vol.27, No.5. P.353–372.

*Seno T., Sakurai T., Stein S.* Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate? // *J. Geophys. Res.* 1996. Vol.101, No.B5. P.11305–11315.

*Shimada M.* Verification processor for SAR calibration and interferometry // *Adv. Space Res.* 1999. Vol.23, No.8. P.1477–1486.

*Tanaka K.* Formation pattern of seismic gaps before and after large earthquakes // *Zisin, J. Seismol. Soc. Japan*. 1980. Vol.33, No.3. P.369–377.

*Tikhonov I.N. and Kim Ch U.* A successful prediction of the Nevel'sk August 2, 2007, earthquake ( $M_{LH} = 6,2$ ) in southern Sakhalin Island // *Doklady Earth Sciences*. 2008. Vol.420, No.1. P.704–708.

*Wells D., Coppersmith K.* New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // *Bul. Seismol. Soc. Am.* 1994. Vol.84, №4. P.974–1002.



# Приложение 1

## ФОТОАЛЬБОМ

Горнозаводское землетрясение 17(18) августа 2006 года с магнитудой  $M_w = 5,6$

Gornozavodsk earthquake of August 17(18), 2006 with  $M_w = 5,6$



Фото 1. Два жилых дома в пос. Лопатино, разрушенных Горнозаводским землетрясением 17(18) августа 2006 г. (автор – Шестакова О.М.).

Photo 1. Two houses in Lopatino village ruined by the Gornozavodsk earthquake of August 17(18), 2006 (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 2. Провисание потолочной плиты в квартире пятиэтажного дома в пос. Шебунино (автор – Шестакова О.М.).

Photo 2. Sagged ceiling slab in the apartment of the five-storey apartment house. Shebunino village (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 3. Трещины в песчаном грунте возле реки в пос. Шебунино (автор – Шестакова О.М.).

Photo 3. Fractures of sandy soil by the river in Shebunino village (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 4. Трещины в штукатурке недавно отремонтированного здания интерната в пос. Горнозаводск (автор – Шестакова О.М.).

Photo 4. Cracked stucco (plaster) on the walls of the newly renovated boarding school in the town of Gornozavodsk (Photo by O.M. Shestakova).

Невельское землетрясение 2 августа 2007 г. с магнитудой  $M_W = 6,2$

Nevelsk earthquake of August 2, 2007 with  $M_W = 6,2$



Фото 5. Сейсмологи Института морской геологии и геофизики ДВО РАН Ч.У. Ким (в центре), И.Н. Тихонов и О.Л. Карташова спустя несколько минут после землетрясения 2 августа 2007 г. планируют работы по обследованию его последствий и мониторингу афтершокового процесса (автор – Шестакова О.М.).

Photo 5. Seismologists of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science Ch.U. Kim (center), I.N. Tikhonov and O.L. Kartashova are planning work on survey of the earthquake effects and aftershock process monitoring several minutes after the August 2, 2007 earthquake (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 6 (справа налево). Губернатор Сахалинской области И.П. Малахов, и.о. начальника ГУ МЧС по Сахалинской области Т.Б. Касаев и мэр г. Невельск В. Пак совместно с учеными ИМГиГ ДВО РАН обсуждают мероприятия по ликвидации последствий землетрясения 2 августа 2007 г. (автор – Шестакова О.М.).

Photo 6 (Right to left) I.P. Malakhov, Sakhalin Governor; T.B. Kasaev, Acting Director of the Sakhalin Head Directorate of EMERCOM (Ministry of Russian Federation for Emergency Situations) and V. Pak, the Mayor of Nevelsk, are discussing remedial measures to mitigate August 2, 2007 earthquake effects together with the IMG & G (Institute of Marine Geology and Geophysics) scientists (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 7. Глава МЧС России С.К. Шойгу беседует с журналистами в г. Невельск (фото предоставлено Главным управлением МЧС по Сахалинской области).

Photo 7. S.K. Shoigu, Russian Minister for Emergency Situations is talking with journalists in Nevelsk (The photo is a courtesy of the Sakhalin Head Directorate of EMERCOM).



Фото 8. Председатель Дальневосточного отделения Российской академии наук академик Сергиенко В.И. (в центре), академик Гордеев Е.И. (слева) и член-корреспондент РАН Левин Б.В. в г. Невельск обсуждают последствия землетрясения 2 августа 2007 г. (автор – Лихачева О.Н.).

Photo 8. Academician V.I. Sergienko, a Chairman of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science (center), Academician E.I. Gordeev (on the left) and B.V. Levin, Corresponding member of the Russian Academy of Science are discussing effects of the August 2, 2007 earthquake (Photo by O.N. Likhacheva).



Фото 9. Зам. Председателя Дальневосточного отделения Российской академии наук академик Ханчук А.И. (слева), академик Акуличев В.А. (в центре) и сотрудник ИМГиГ ДВО РАН Ломтев В.Л. в г. Невельск после землетрясения 2 августа 2007 г. (автор – Лихачева О.Н.).

Photo 9. Academician A.I. Khanchuk, Deputy Chairman of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science (on the left), Academician V.A. Akulich (center), and V.L. Lomtev, a scientist from the Institute of Marine Geology and Geophysics in Nevelsk after the August 2, 2007 earthquake (Photo by O.N. Likhacheva).



Фото 10. Поднятие южного мола Невельского порта (автор – Чирков С.А.).

Photo 10. Uplift of the southern jetty in the Nevelsk port area (Photo by S.A. Chirkov).



Фото 11. Поднятый участок морского дна к северу от устья р. Казачки (автор – Шестакова О.М.).

Photo 11. Uplifted portion of the sea-bottom to the north of the Kazachka river mouth (Photo by O.M. Shestakova).



Фото 12. Разрушения на причалах №№ 4–9 Невельского порта (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 12. Destruction of the berths №№ 4–9 in the Nevelsk port (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 13. Выход метана в районе Невельского порта (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 13. Methane seepage in the Nevelsk port area (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 14. Разрушения в механическом цехе (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 14. Destructions in the mechanical workshop (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 15. Повреждения здания электроцеха (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 15. Damages to the electrical workshop building (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 16. Руины полуразвалившегося цеха сетепози-  
ва в г. Невельск (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 16. Ruins of the completely destroyed net sewing  
shop building (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 17. Разрушения здания портнадзора  
(автор – Кайстренко В.М.).

Photo 17. Destruction of the port inspection building  
(Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 18. Дом культуры г. Невельск  
(автор – Коваленко Н.С.).

Photo 18. House of Culture of Nevelsk  
(Photo by N.S. Kovalenko).



Фото 19. Общежитие «Бригантина» по ул. Рыбачкой в  
г. Невельск (автор – Коваленко Н.С.).

Photo 19. «Brigantina» hostel in Rybatskaya street, Ne-  
velsk (Photo by N.S. Kovalenko).



Фото 20. Внешние повреждения жилого дома №109 по ул. Рыбацкой в г. Невельск (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 20. Damage to the exterior of the residential building №109 in Rybatskaya street, Nevelsk (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 21. Обвалившиеся лестничные пролеты в том же доме (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 21. Collapsed (caved-in) flight of stairs in the residential building №109 in Rybatskaya street (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 22. Разрушения памятника погибшим рыбакам в г. Невельск (авторы – Шестакова О.М. и Кайстренко В.М.).

Photo 22. Damage to the Drowned Fishermen Monument in Nevelsk (Photo by – O.M. Shestakova and V.M. Kaistrenko).





Фото 23. Оползень в районе пос.Селезнево (автор – Фокина Т.А.).

Photo 23. Land slide near the Seleznyovo village (Photo by T.A.Fokina).



Фото 24. Разрушение жилых домов по ул. Набережной в пос. Лопатино (автор – Фокина Т.А.).

Photo 24. Damage to the houses in Naberezhnaya street, Lopatino village (Photo by T.A. Fokina).



Фото 25. Сдвиг и деформация северо-восточного края автомобильного моста через р. Амурская (автор – Коваленко Н.С.).

Photo 25. Displacement and deformation of the north-eastern edge of the automobile bridge across the Amurskaya river (Photo by N.S. Kovalenko).



Фото 26. Характерное разрушение автомобильного моста через р. Амурская (автор – Коваленко Н.С.).

Photo 26. Destruction of the automobile bridge across the Amurskaya river (Photo by N.S. Kovalenko).



Фото 27. Разрушение облицовки откоса моста (автор – Урбан Н.А.).

Photo 27. Damage to the bridge side slope facing (Photo by N.A. Urban).



Фото 28. Полуразрушенная автобусная остановка в районе моста (автор – Урбан Н.А.).

Photo 28. Half-ruined bus stop near the bridge (Photo by N.A. Urban).





Фото 29. Поперечная трещина вдоль дорожного полотна (автор – Урбан Н.А.).

Photo 29. Transversal crack along the road bed (Photo by N.A. Urban).



Фото 30. Трещина в грунте (автор – Урбан Н.А.).

Photo 30. Crack in the soil (Photo by N.A. Urban).



Фото 31. Трещины в районе пашлычной (автор – Кайстренко В.М.).

Photo 31. Cracks near the kebab (barbecue) shop (Photo by V.M. Kaistrenko).



Фото 32. Оползень (автор – Урбан Н.А.).

Photo 32. Landslide (Photo by N.A. Urban).



Фото 33. Потолок, пробитый упавшей трубой (г. Горнозаводск) (автор – Коваленко Н.С.).

Photo 33. Ceiling punched out by the fallen smoke stack in Gornozavodsk (Photo by N.S. Kovalenko).



Фото 34. Камнепад на дороге в районе пос. Шебунино (автор – Коваленко Н.С.).

Photo 34. Rock fall on the road near Shebunino village (Photo by N.S. Kovalenko).

Авторы приведенных ниже фото (35–55) – А.Л. Стром (ИДГ РАН), А.И. Кожурин (ГИН РАН) и С.П. Никифоров (ИМГиГ ДВО РАН)

Photoes 35–55 below were made by: – A.L. Strom (Institute of the Geospheres Dynamics of the Russian Academy of Science, RAS), A.I. Kozhurin (Geological Institute of the Russian Academy of Science, RAS) and S.P. Nikiforov (Institute of Marine Geology and Geophysics, RAS)



Фото 35. Северная часть г. Невельск. Разрушенные (справа) и уцелевшие (слева) дымовые трубы на деревянных домах старой постройки примерно в 300 м севернее переезда через ж/д.

Photo 35. Northern part of Nevelsk. Ruined (on the right) and undamaged (on the left) smoke stacks on the old wooden houses approximately 300 m to the north of the railway crossing.



Фото 36. Падение торцевой стены здания цеха в северной части г. Невельск.

Photo 36. Collapsed end wall of the workshop. Northern part of Nevelsk.



Фото 37. Сильные повреждения дома №40 по ул. Советская в г. Невельск. Х-образные трещины в межоконных простенках 1 этажа свидетельствуют о сильном вертикальном ударе.

Photo 37. Severe destruction of the house №40 in Sovetskaya street, Nevelsk. X-like cracks in the first floor window piers (espacements) of the house № 40 testify to the strong vertical strike.



Фото 38. Трещины в широкопролетной пристройке к зданию Морского колледжа в г. Невельск.  
Photo 38. Cracks in the wide-span addition to the Marine College building in Nevelsk.



Фото 39. Памятник Невельскому у здания Морского колледжа (трещина показана стрелками).  
Photo 39. G.I. Nevelskoy's monument near the Marine College building in Nevelsk. (The crack is shown by arrows).



Фото 40. Кулисообразные трещины отрыва в дорожном полотне вблизи моста через р. Амурская.

Photo 40. Bond-failure (cleavage) cracks in the road bed near the automobile bridge across the Amurskaya river.



Фото 41. Сдвиг северо-восточного края автомобильного моста через р. Амурская на 45 см.

Photo 41. 45 cm long displacement of the north-eastern edge of the automobile bridge across the Amurskaya river.



Фото 42. Сдвиг юго-западного края автомобильного моста через р. Амурская на 20 см.

Photo 42. 20 cm long displacement of the south-western edge of the automobile bridge across the Amurskaya river.



Фото 43. Деформация облицовки откоса из-за просадки грунта у южного окончания железнодорожного моста через р. Амурская.

Photo 43. Deformation of the side slope facing near the southern end of the railway bridge across the Amurskaya river due to a land subsidence.



Фото 44. Трещины в бетонной опоре из-за горизонтального удара металлического пролетного строения ж/д моста. Видна наклонившаяся качающаяся опора.

Photo 44. Cracks in the concrete support caused by horizontal impact of the metal superstructure of the railway bridge. The tilted down and swinging support can be clearly seen on the photo.



Фото 45. Разрывы дернины на склоне над заправкой над устьем р. Казачки (фотография сделана 16 августа 2007 г.).

Photo 45. Ruptures in the sod cover on the side slope over the gas filling station above the Kazachka river mouth. (The photo was made on August 16, 2007).



Фото 46. Отброшенный грунт на гребне склона на правом борту долины р. Казачка. Показаны место, откуда был выброшен грунт, место, куда он упал (конец стрелки) и окончательное положение сброшенного куска дернины.

Photo 46. Thrown-out soil on the crest of the Kazachka river valley right slope. One can see the spot from where the soil was thrown out and the one where it landed (the end of the arrow) and final position of the thrown-away lump of the sod.



Фото 47. Поднятие дна в прибрежной части в районе г. Невельск. Вид с точки с координатами: 46,6573° с.ш. и 141,856° в.д.

Photo 47. Uprheaval of the sea bottom in the inshore area within Nevel'sk urban area. The photo was made from the point with coordinates 46.6573° N and 141.856° E.



Фото 48. Поднятие морского дна и мола к западу от Невельского порта.

Photo 48. Uprheaval of the sea bottom and jetty to the west of the port of Nevel'sk.



Фото 49. Поднятие морского дна и мола к северу от устья р. Казачка.

Photo 49. Uprheaval of the sea bottom to the north of the Kazachka river mouth.





Фото 50. Устье (эстуарий) р. Казачка и поднятие морского дна к югу от него.  
 Photo 50. Kazachka river estuary and upheaval of the sea bottom to the south of it.



Фото 51. Поднятый участок морского дна к северу от устья р. Казачки.  
 Photo 51. Upheaved portion the sea bottom to the north of the Kazachka river mouth.



Фото 52. Бентосная фауна на осушенном участке дна.

Photo 52. Benthos flora on the exposed sea bottom.



Фото 53. Поднятие мола к северо-западу от устья р. Казачки. Полоса обрастания морской капустой (бентосная флора) высотой ~ 50 см в северо-западной части мола (16.08.2007 г. в 10 час утра, и, соответственно, ~ 70 см на момент измерений 08.08.2007 г. в 15–17 часов).

Photo 53. Uplift of the jetty to the north-west of the Kazachka river mouth. ~ 50 sm high laminaria fouling strip (benthos flora) in the north-western part of the jetty in 10 a.m. on August 16, 2007; this fouling strip was ~ 70 sm high at the time of measurements, taken on August 8, 2007 (at 15–17 hours).

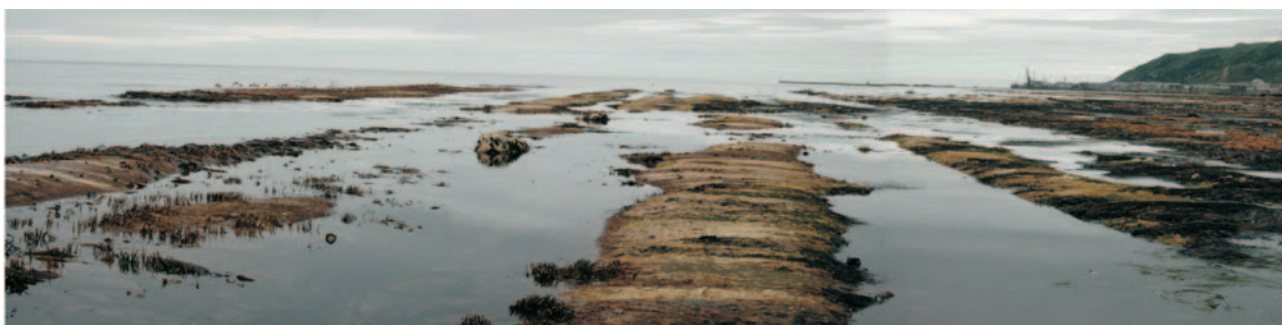


Фото 54. Гряды на поднятом участке морского дна к югу от устья р. Казачка, соответствующие простиранию слоев.

Photo 54. Ridges on the uplifted spot of the sea bottom to the south of the Kazachka river mouth. The ridges' position is consistent with the strike of the layers.



Фото 55. Выход метана в луже на осушенном участке дна в точке с координатами 46,655° с.ш., 141,8508° в.д.

Photo 55. Methane seepage in the puddle on the exposed part of the sea bottom in the point with coordinates 46.655° N, 141.8508° E

Приведенные ниже фото (56–69) представлены Е.П. Ивашовой (Департамент строительства Сахалинской области)

Photos 56–69 below are the courtesy of E.P. Ivashova (Construction Department of the Sakhalin Region)



Фото 56. Один из палаточных лагерей.

Photo 56. One of the tent camps.



Фото 57. Схема г. Невельск.

Photo 57. Sketch lay-out of Nevelsk.



Фото 58. Проектное решение здания поликлиники по ул. Ленина, г. Невельск.

Photo 58. Design elevation view of the polyclinic building. Lenin Street, Nevelsk.



Фото 59. Проектное решение здания ЗАГСа, г. Невельск.

Photo 59. Design elevation view of the Vital Records building. Nevelsk.



Фото 60. Здание центрального отделения почтовой связи, г. Невельск.

Photo 60. Central post office building. Nevelsk.



Фото 61. Дом Правосудия, г. Невельск.

Photo 61. Courthouse building. Nevelsk.



Фото 62. Здание КПП в комплексе зданий пункта управления береговой охраны (ПУБО), г. Невельск.  
Photo 62. Check point building shown as a part of the Coast Guard Department compound. Nevelsk.



Фото 63. Здание центра недвижимости, г. Невельск.  
Photo 63. Real Estate Center building. Nevelsk.



Фото 64. Квартал жилой застройки, с. Троицкое.  
Photo 64. New residential neighborhood. Troutskeye.



Фото 65. Квартал жилой застройки, с. Троицкое.  
Photo 65. New residential neighborhood. Troutskeye.





Фото 66. Очистные сооружения, г. Невельск.

Photo 66. Sewage Treatment Plant. Nevelsk.



Фото 67. Группа жилых домов в микрорайоне «Северный», г. Невельск.

Photo 67. New residential buildings. «Severny» neighborhood. Nevelsk.



Фото 68. Группа жилых домов «Моргородок», г. Невельск.

Photo 68. New residential buildings. «Morgorodok» neighborhood. Nevelsk.



Фото 69. Жилые дома в микрорайоне № 5, г. Невельск.

Photo 69. New apartment blocks of the № 5 neighborhood. Nevelsk.

Следы заплесков цунами (фото 70–73, автор Кайстренко В.М.)  
 Photos 70–73. Splash marks of tsunami (Kaistrenko V.M.)



Фото 70. След максимального заплеска на побережье у пос. Яблочный.  
 Photo 70. Maximum tsunami splash mark on the coast near Yablochny settlement.



Фото 71. Пос. Заветы Ильича. Вывал морской капусты на высоте 2,3 м, произведенный цунами.  
 Photo 71. Zavety Ilcha village. Laminaria thrown 2,3 m. high by tsunami.



Фото 72. Пос. Заветы Ильича. Пень, брошенный волной цунами в реку Асанай.

Photo 72. Zavety Ilicha village. Tree stump thrown into the Asanai river by tsunami.



Фото 73. Пос. Ясноморский. Морская капуста, занесенная цунами в речку Ясноморка на расстояние более 300 м от устья.

Photo 73. Yasnomorsky village. Laminaria brought into the Yasnomorska river 300 m upstream from the mouth with tsunami waves.

# ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ Г. НЕВЕЛЬСК

Территория г. Невельск расположена на расстоянии 5–10 км от Западно-Сахалинского сейсмоактивного разлома, проходящего в море, вдоль западного побережья острова. В зоне этого разлома ранее произошли сильные землетрясения: Александровск-Сахалинское 1909 г. с магнитудой  $M = 6,6$ , Лесогорское 1924 г. ( $M = 6,9$ ), Углегорское 2000 г. ( $M = 6,8$ ). В другом близлежащем Монеронском активном разломе в 1971 г. произошло сильное землетрясение с  $M = 7,5$ , при котором интенсивность сотрясений в Невельске достигала 7 баллов по 12-балльной шкале MSK-64.

Западно-Сахалинская зона разломов протягивается в основании восточного крыла Татарского пролива и почти на всем протяжении скрыта под его водами. На суше острова она проявляется лишь в районе полуострова Ламанон. В целом зона является северным продолжением (окончанием) восточного ограничения единой задуговой котловины Японского моря и Татарского пролива. Эта зона разломов интерпретируется как граница между Охотоморской и Амурской (Евразийской) плитами.

Последнее разрушительное землетрясение 2 августа 2007 г. произошло на продолжении северо-западного крыла очаговой зоны Горнозаводского землетрясения 18 августа 2006 года ( $M = 5,6$ ). Однако, в отличие от очага Горнозаводского события, ориентированного с юго-востока на северо-запад, очаг последнего события ориентирован субмеридионально (рис. 6.8). При землетрясении 2 августа 2007 г. интенсивность сотрясений в г. Невельске достигала 7–8 баллов.

Уровень фоновой сейсмичности того или иного района определяется двумя параметрами: а) максимальной магнитудой  $M_{\max}$  землетрясений, которые могут возникать в его пределах и б) частотой  $n(M)$  возникновения землетрясений разных магнитуд (повторяемостью). Функция  $n(M)$  показывает, сколько землетрясений той или иной магнитуды  $M$  может возникать в данном районе

за год. Она называется графиком (уравнением) повторяемости и задает частоту возникновения землетрясений разных магнитуд. Величина, обратная частоте  $n(M)$ , называется средним периодом  $T(M)$  повторения землетрясений разных магнитуд.

Эти параметры определяют сейсмичность в абсолютном смысле, т.е. безотносительно тех воздействий, которые землетрясения оказывают на людей и какие-либо строительные объекты.

В районах, отличающихся наивысшей сейсмической активностью, таких как Курило-Камчатская или Алеуто-Аляскинская сейсмоактивные зоны, магнитуда землетрясений достигает самых больших для Земли значений  $M_{\max} = 8,5$ . Наряду с такими регионами есть и районы пониженной активности, где магнитуда возможных землетрясений не превышает  $M_{\max} = 5,0$ . В зонах повышенной сейсмической активности не только величина  $M_{\max}$ , но и частота  $n(M)$  возникновения землетрясений разных магнитуд значительно выше. Так, землетрясения с  $M = 5,5–6,0$  возникают в Курило-Камчатской зоне в среднем раз в месяц, на Сахалине в зонах повышенной активности – в среднем раз в 20 лет.

Степень (или интенсивность) воздействия землетрясений на здания и строительные сооружения определяют с помощью 12-балльной шкалы макросейсмической интенсивности MSK-64.

Интенсивность  $I_{MSK}$  сотрясений в том или ином пункте зависит не только от магнитуды  $M$  землетрясения, но и от расстояния  $R$ , на которое данный пункт удален от источника колебаний (очага землетрясения). Землетрясения магнитуды  $M = 5,5–6,0$  могут вызывать на близких расстояниях от источника ( $R < 5–10$  км) сотрясения с интенсивностью  $I_{MSK} = 8$  баллов и более по шкале MSK-64. Важным параметром при оценке сейсмических воздействий является также средний период повторения сотрясений  $T(I_{MSK})$ .

В российских строительных нормах (СНиП II-7-81\*, 1996, 2000) исходная сейсмичность территории в инженерном смысле, т.е. в смысле воздействия, которое землетрясения могут оказывать на строительные объекты, задается с помощью двух параметров: а) наибольшей ожидаемой в том или пункте интенсивности сотрясений  $I_{MSK}$ ; б) среднего периода их повторения  $T$ .

Официальным документом, регламентирующим уровень фоновой сейсмичности и влияние грунтовых условий для территории Российской Федерации, является СНиП-II-7-81\* и комплект карт ОСР-97 (рис. П.1).

Новая карта сейсмического районирования территории РФ представляет собой комплект из трех карт (масштаб 1:2 500 000), которые позволяют оценивать сейсмическую опасность территории в зависимости от категории ответственности и срока службы объектов строительства. Карты отражают расчетную интенсивность  $I_T$  сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64, ожидаемых на данной площади с заданной вероятностью  $p$  (%) в течение определенного интервала времени  $t$  (в данном случае,  $t = 50$  лет) на средних грунтах, соответствующих грунтам II категории по СНиП-II-7-81\*:

Зоны интенсивности сотрясений на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64

– Карта ОСР-97-А отражает 10%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 500 лет.

– Карта ОСР-97-В отражает 5%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 1000 лет.

– Карта ОСР-97-С отражает 1%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемости такого сотрясения 1 раз в 5000 лет.

С точки зрения инженера-строителя на картах отображена сейсмичность (в терминологии СНиП-II-7-81\*), т.е. то значение балла, которое, с поправкой за грунтовые условия, является входным для расчета сейсмической нагрузки на сооружение.

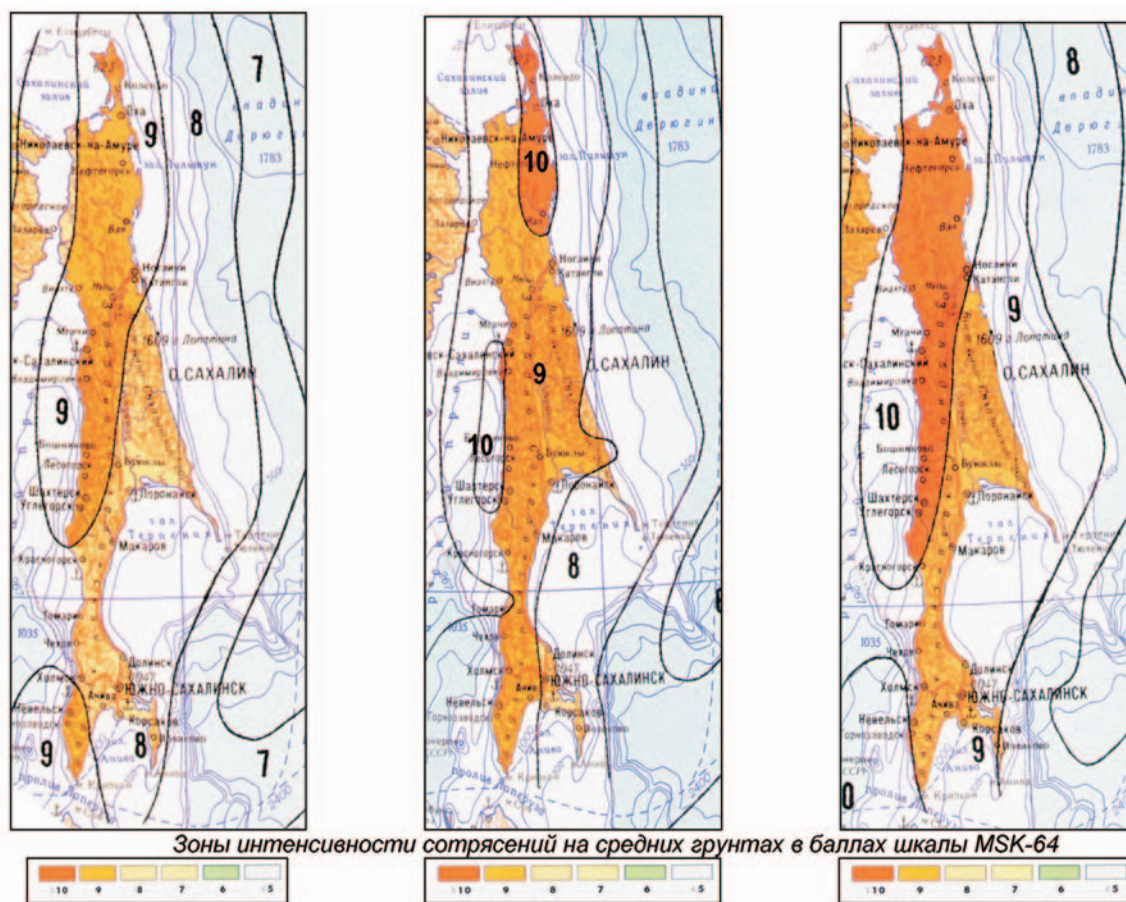
В новой редакции СНиП-II-7-81\* (2002) Госстроем России все строительные объекты подразделены на категории А, В, С. Определено, что карта ОСР-97-А предназначена для использования в массовом строительстве, карты ОСР-97-В и ОСР-97-С для строительства объектов повышенной ответственности и особо ответственных.

Согласно СНиП-II-7-81\* (2002) территория г. Невельск отнесена к зоне с фоновой сейсмичностью 9 баллов по шкале MSK-64 с повторяемостью 500 лет.

С утверждением карт общего сейсмического районирования территории РФ (ОСР-97 А, В, С) как нормативных и являющихся обязательным приложением к СНиП II-7-81\*, изменились и требования к составлению карт сейсмического микрорайонирования (СМР).

Карты общего сейсмического районирования составлены в масштабе 1:2500 000. При оценке фонового уровня сейсмической опасности расчеты выполняются с учетом региональных (генерализованных) сеймотектонических моделей. В связи с этим актуальна проблема перехода от карт ОСР к крупномасштабным картам СМР (1:25000, 1:10000 масштаба и крупнее). Эта проблема решается путем проведения детального сейсмического районирования (ДСР) в масштабах 1:500000 – 1:1000000, учитывающего локальные особенности сеймотектонической модели того или иного региона.

В последние годы, как, впрочем, и во времена Советского Союза, кондиционное ДСР или не проводилось вообще, или выполнялось очень редко. Поэтому получило распространение составление карт зон ВОЗ более крупного масштаба по сравнению с теми, что использовались в картах ОСР-97, на основе материалов о геологическом строении, тектонике, геофизических полях, сейсмостатистике и других, имеющихся в публикациях и фондах и подвергнутых дополнительному анализу и обобщению, материалов. Эти исследования условно называются



Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 10%, что соответствует среднему периоду  $T = 500$  лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами. ОСР-97-А

Probability of exceeding of the calculated intensity in any point of the zone during 50 years will be 10%, which corresponds to average earthquake recurrence rate  $T = 500$  years. On the shelf earthquake intensity in zones is indicated by digits. GSZ-97-A.

Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 5%, что соответствует среднему периоду  $T = 1000$  лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами. ОСР-97-В

Probability of exceeding of the calculated intensity in any point of the zone during 50 years will be 5%, which corresponds to average earthquake recurrence rate  $T = 1000$  years. On the shelf earthquake intensity in zones is indicated by digits. GSZ-97-B.

Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 1%, что соответствует среднему периоду  $T = 5000$  лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами. ОСР-97-С

Probability of exceeding of the calculated intensity in any point of the zone during 50 years will be 1%, which corresponds to average earthquake recurrence rate  $T = 5000$  years. On the shelf earthquake intensity in zones is indicated by digits. GSZ-97-C.

Рис. П.1. Фрагмент карты ОСР-97 для территории Сахалина.

Fig. A.1. The fragments of the GSZ-97 map covering the territory of Sakhalin.

уточнением исходной сейсмичности (УИС) или уточнением карт общего сейсмического районирования (УОСР) и являются промежуточными этапами между ОСР и СМР.

В целом задача оценки сейсмичности территорий или отдельных площадок строительства, а также назначение количественных характеристик возможных сейсмических воздействий (максимальных ускоре-

ний, преобладающих периодов и продолжительности колебаний, акселерограмм, спектров реакции и т.д.) решается в три этапа:

I – использование комплекта нормативных карт ОСР-97 и списка населенных пунктов в СНиП П-7-81\* 2002 г.;

II – проведение ДСР территорий, в пределах которых проектируется строительство особо ответственных объектов, или УИС

и УОСР на территориях проектирования объектов массового строительства и повышенной ответственности;

III – проведение сейсмического микро-районирования.

Научно-исследовательская работа по построению «Карт детального сейсмического районирования территории городов Сахалинской области» была выполнена по заказу Департамента строительства Администрации Сахалинской области.

Детальное сейсмическое районирование территории городов Сахалинской области выполнено на основе полученных результатов многолетних исследований зон ВОЗ, исследований палеосейсмодислокаций, оценки геодеформационных процессов в регионе по данным высокоточных GPS-наблюдений, результатов инструментального изучения особенностей сейсмического режима, обобщения и корректировки сеймотектонической модели региона. И, наконец, оценка сейсмической опасности выполнена с применением современных технологий вероятностного анализа сейсмической опасности, широко применяемых во всем мире.

Использование методов вероятностного анализа сейсмической опасности позволяет явно учитывать неопределенности в размерах, положениях и повторяемости сейсмических событий, а также изменчивость характера сильного движения грунта от размера и типа землетрясений. Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО) обеспечивает основу, на которой эти неопределенности могут быть идентифицированы и установлены количественно, а также рационально объединены так, чтобы получить полную картину сейсмической опасности.

Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО) можно описать как процедуру из 4-х этапов (рис. П.2):

1) первый этап – идентификация и характеристика источников землетрясений. На этом этапе необходимо характеризовать вероятностное распределение положения потенциального разрыва в пределах источника. В большинстве случаев каждой зоне источников приписывается однородное распределение вероятностей, полагая, что землетрясения происходят с равной вероятностью в каждой точке в пределах зоны источ-

ников. Это распределение затем объединяется с геометрией источников для получения соответствующего распределения вероятностей расстояния источник-пункт.

2) далее необходимо охарактеризовать сейсмичность или распределение во времени повторяемости землетрясений. Для характеристики сейсмичности в каждой зоне используются графики повторяемости, которые определяют средний уровень. На основе графика повторяемости можно оценить максимальный размер землетрясения, но при характеристике сейсмичности не ограничивается рассмотрением такого землетрясения, как это делается часто в детерминистическом анализе сейсмической опасности.

3) движение грунта, производимое в пункте землетрясением любого возможного размера, происходящего в любой возможной точке каждой зоны источников, должно определяться с использованием прогнозирующего уравнения затухания. В ВАСО учитывается также внутренняя неопределенность прогнозирующего уравнения затухания.

4) наконец, неопределенности в положении землетрясений, в их размере, а также в предсказании параметров сильного движения грунта объединяются для получения вероятности того, что параметр движения грунта превышен в течение определенного периода времени.

Должное выполнение ВАСО требует тщательного отношения к проблемам характеристики сейсмических источников и предсказания параметров движений грунта, а также к процедурам выполнения вероятностных расчетов.

Для детального сейсмического районирования территории г. Невельск Сахалинской области вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО) проведен с использованием метода «логического дерева».

Использование «логического дерева» позволяет максимально учитывать неопределенность объективных и субъективных знаний о модели сейсмической опасности и дает удобную основу для толкования неопределенности модели.

Метод «логического дерева» позволяет использовать все возможные альтернативные сейсмические модели, каждой из которых приписывается весовой множитель, ко-



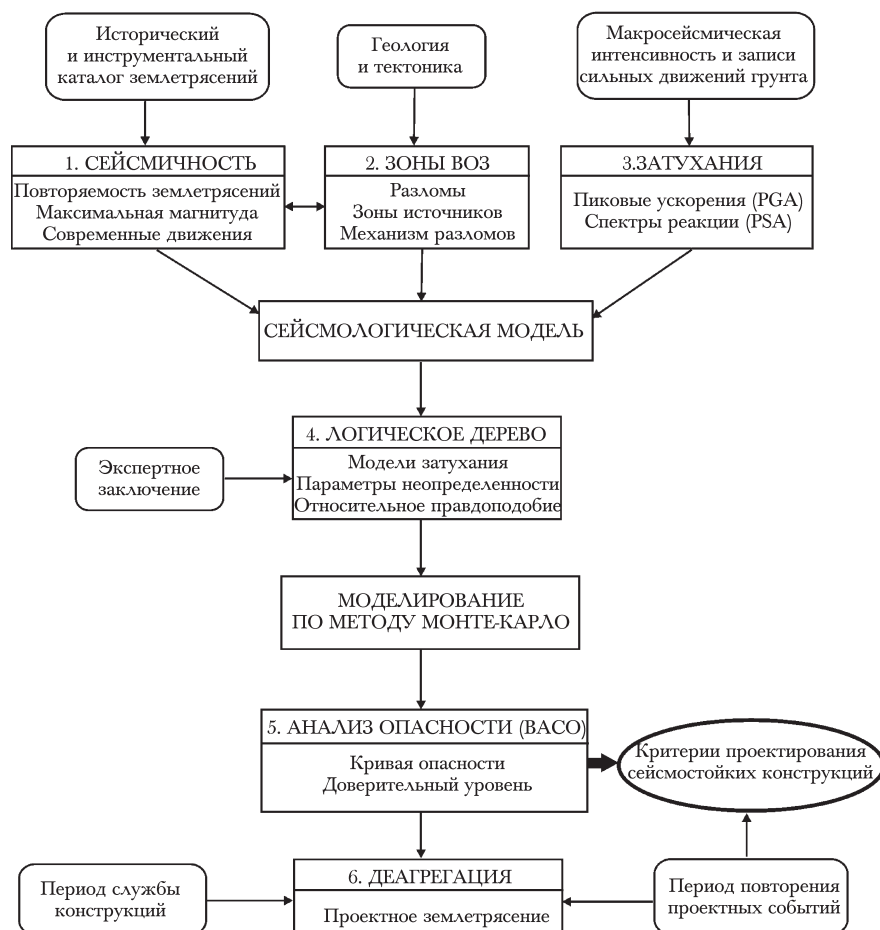


Рис. П.2. Блок-схема вероятностного анализа сейсмической опасности (VACO).

Fig. A.2. The chart of the probabilistic seismic hazard analysis (PSHA).

торый интерпретируется как относительная вероятность правильности выбора. «Логическое дерево» состоит из ряда узлов, которым соответствуют определенные модели сейсмической опасности. Сумма весов всех элементов ветвей, присоединенных к данному узлу, должна быть равной 1. При использовании «логического дерева» анализ сейсмической опасности проводится для каждой полной ветви. Результату приписывается вес, равный весу выбранной полной ветви, а конечный результат выбирается как сумма взвешенных отдельных результатов.

Входными данными для проведения VACO служат модели зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ), модели повторяемости землетрясений разных магнитуд и модели затухания движений грунта в зависимости от магнитуды землетрясений и расстояния от пункта наблюдений (рис. П.2).

Для вероятностного расчета сейсмической опасности территории Сахалина используется так называемая «линементно-до-

менная» модель зон источников (или зон ВОЗ – возможных очагов землетрясений), первый вариант которой был ранее разработан в ИМГиГ ДВО РАН (модель ИМГиГ-97) (рис. П.3).

Данная модель зон ВОЗ следует идеологии, принятой при создании новой карты сейсмического районирования территории (карты ОСР-97). Модель зон ВОЗ для Сахалина и прилегающих районов, разработанная в 1995–1996 гг. (ИМГиГ-97), положена в основу карты ОСР-97. Изображенные на данной карте сейсмолинементы – это основные зоны генерации землетрясений с магнитудой  $M_{LH} \geq 6$ . Они представляют собой условные осевые линии главных разломных зон Сахалина и отражают положение зон разломов в обобщенном генерализованном виде. Модель была вполне приемлема при построении мелкомасштабной карты ОСР-97, но она недостаточна для проведения работ детального сейсмического районирования территории Сахалина. Для этой цели использованы модели зон

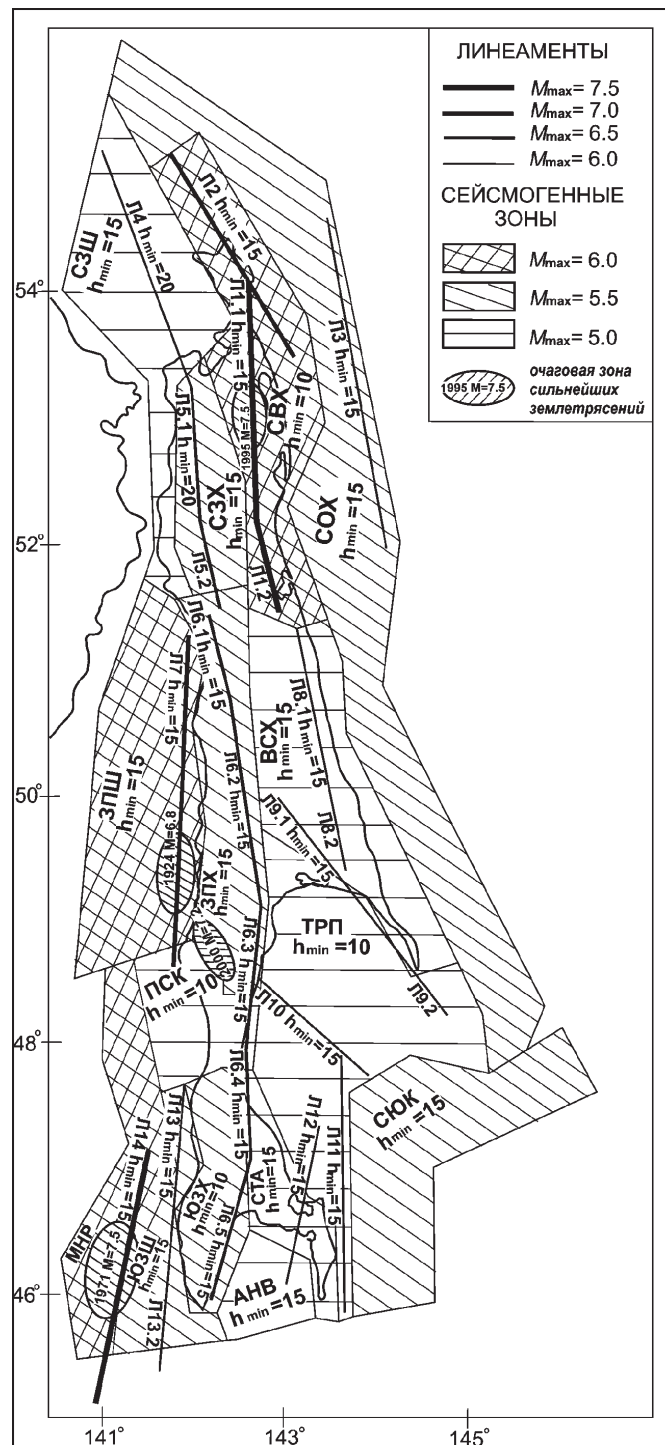


Рис. П.3. Конфигурация и параметры зон источников (зон ВОЗ) линеаментно- доменной модели ИМГиГ.

Fig. A.3. Outline and parameters of source zones (PES zones) by the lineament-domain model of IMG&G.

источников, построенные в ИМГиГ с учетом последних данных по Сахалину.

При построении новой модели зон ВОЗ (ИМГиГ-07) особое внимание было обращено на следующие моменты:

1) палеосейсмические исследования древних землетрясений, следы которых сохранились в смещениях поверхностных отложений;

2) характеристики сейсмичности (время возникновения характеристических землетрясений, карту эпицентров по данным детальных сейсмологических наблюдений, мощности сейсмоактивного слоя и оценки максимально возможных магнитуд землетрясений);

3) результаты мониторинга деформации поверхности посредством развития высокоточных сетей GPS-наблюдений.

Учитывая вышеперечисленные моменты, нами была модифицирована модель зон ВОЗ – ИМГиГ-97 для целей детального сейсмического районирования территории Сахалинской области (модель ИМГиГ-07).

Модель ИМГиГ-07 включает в себя 19 площадных зон источников (или доменов по терминологии, принятой при составлении

карты ОСР), которые отвечают определенным структурным элементам Сахалина и прилегающей акватории (рис. П.4). Также выделен ряд линейных зон источников (или сейсмолинеаментов), которые соответствуют достоверно установленным или предполагаемым разломам.

### Модели затухания движений грунта

Оценки сейсмической опасности становятся более надежными (поскольку более полно учитывается алеаторическая изменчивость), когда в «логическом дереве» используются региональные (местные) уравнения затухания, полученные из местной базы данных по сильным движениям. До настоящего времени такие базы данных имеются только для Калифорнии и Японии. Для Сахалина инструментальные записи движений грунта для  $I_{MSK} > 5$  отсутствуют. Поэтому в наших расчетах использованы эмпирические калифорнийские уравнения затухания [Abrahamson and Silva, 1997; Campbell and Bozorgnia, 2003; Sadigh et al., 1999] (рис. П.5). Надо заметить, что для вывода этих эмпирических уравнений были использованы также записи ряда турецких и тайваньских землетрясений, и, тем самым, они отражают до некоторой степени общемировые данные. В японских данных пока невозможно отделить коровые землетрясения от землетрясений в зоне субдукции, и поэтому их использование для настоящего отчета не целесообразно.

К настоящему времени для Сахалина имеется представительная база данных по макросейсмическим наблюдениям, и коэффициенты регионального регрессионного уравнения затухания для макросейсмической интенсивности  $I_{MSK}$  определены вполне надежно. Скорость спадания пиковых ускорений с расстоянием в калифорнийских моделях хорошо согласуется с наблюдаемым на Сахалине затуханием макросейсмической интенсивности  $I_{MSK}$  с расстоянием. Этот факт подтверждает правомерность использования калифорнийских уравнений затухания для расчетов сейсмической опасности на территории Сахалина.

Выбор среднего (эталонного) грунта является одним из важных этапов определения модели затухания сильного движения грунта.

При составлении «Карты сейсмического микрорайонирования территории г. Южно-Сахалинск» предприятием ВОСТСИБТИСИЗ в 2000 г. при выборе эталонного грунта проанализированы сейсмические характеристики грунтов, относящихся ко II категории по сейсмическим свойствам: суглинков твердых, полутвердых и тугопластичных, дресвяные и галечниковые грунты. Предпочтение было отдано галечниковым грунтам с суглинистым заполнителем от 25% до 40%, имеющим стабильные физико-механические характеристики и наиболее распространенным по территории г. Южно-Сахалинск.

По результатам сейсмозондирований, выполненных предприятием ВОСТСИБТИСИЗ в 1984 году, делювиально-пролювиальные галечниковые грунты с суглинистым заполнителем в 10-метровом от поверхности слое характеризуются скоростями продольных волн  $V_p = 730 - 930$  м/с и скоростями поперечных волн  $V_s = 280 - 320$  м/с. Аллювиально-пролювиальные галечниковые грунты с суглинистым заполнителем характеризуются значениями  $V_p = 960 - 990$  м/с и  $V_s = 350 - 360$  м/с. Среднестатистические значения составляют:  $V_p = 890$  м/с и  $V_s = 330$  м/с, плотность  $\rho = 2,27$  г/см<sup>3</sup>. По результатам других 9 сейсмозондирований, выполненных в 1997 году, аллювиальный и аллювиально-пролювиальный галечниковый грунт с суглинистым заполнителем от 25% до 40% характеризуются значениями  $V_p = 580 - 880$  м/с,  $V_s = 310 - 430$  м/с, среднестатистические значения составляют:  $V_p = 830$  м/с и  $V_s = 350$  м/с, плотность  $\rho = 2,13$  г/см<sup>3</sup>.

В результате проведенного анализа при составлении карт уточнения исходной сейсмичности территории г. Южно-Сахалинск, пос. Новоалександровск и пос. Луговое за эталонный (средний) грунт был принят га-

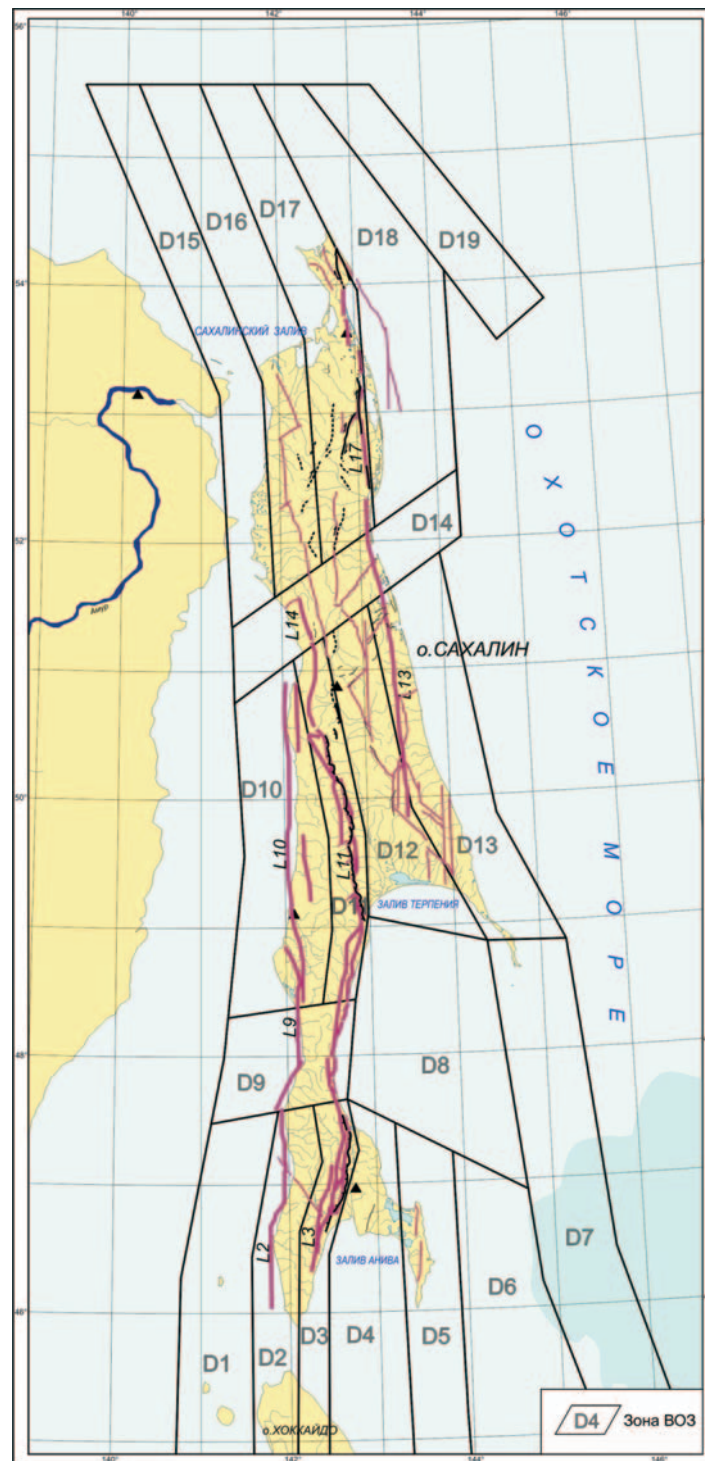


Рис. П.4. Конфигурация зон ВОЗ по модели ИМГиГ-07.

Fig. A.4. The configuration of the PES zones according to the IMG&G-07 model.

лечниковый грунт с параметрами  $V_p = 830$  м/с и  $V_s = 350$  м/с, плотность  $\rho = 2,13$  г/см<sup>3</sup>.

В пункте 5.1. РСН 60-86 при выборе эталонного грунта II категории по сейсмическим свойствам в соответствии с табл. 1 СНиП II-7-81 рекомендованы следующие параметры:  $V_p = 500-700$  м/с,  $V_s = 250-350$  м/с,  $\rho = 1,7-1,8$  г/см<sup>3</sup>.

На основе этих данных для детального сейсмического районирования территории городов Сахалинской области за средний (эталонный) выбран грунт категории CD по NEHRP-1997, что соответствует грунтам II категории табл. 1 СНиП II-7-81\* (2000).

Для реализации процедур вероятностного анализа сейсмической опасности по вышеописанной методологии Институтом мор-

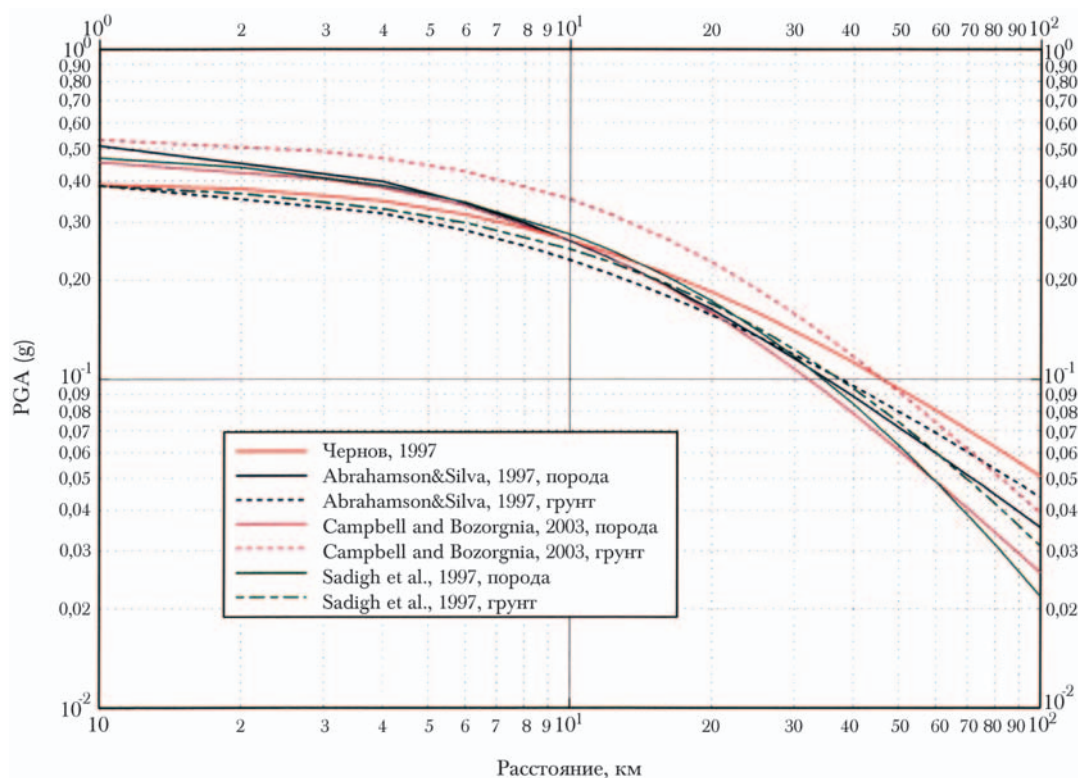


Рис. П.5. Сравнение ( $M_{LH} = 7,0$ ) затухания пикового горизонтального (PGA, g) по сахалинским макросейсмическим данным [Чернов, 1997] с калифорнийскими функциями затухания при неопределенном механизме движения по разлому.

Fig. A.5. Comparison of the peak horizontal acceleration attenuation ( $M_{LH} = 7,0$ ) according to Sakhalin macroseismic data [Chernov, 1997] with Californian attenuation functions with a non-identified motion mechanism along the fault.

ской геологии и геофизики подготовлен пакет вычислительных программ:

1) вероятностный анализ сейсмической опасности на основе «логического дерева» (TR4\_RISKИ4);

2) определение параметров ( $M, R$ ) наиболее вероятного землетрясения по заданным уровням сейсмической опасности (методом «деагрегации» – DMRИ);

3) подбор «акселерограмм-аналогов» (программа SEIS\_SELECT).

На основе этих вычислительных программ и входных данных (зон ВОЗ, параметров сейсмичности и выбранных моделей сильных движений) проведены расчеты сейсмической опасности для территории городов Сахалинской области в параметрах среднего горизонтального пикового ускорения (PGA, g), горизонтального псевдоспектрального ускорения при 5%-ном затухании на периодах 0,2 с и 1,0 с. Расчеты проведены для вероятности 10%, 5% и 1% превышения в течение 50 лет, что соответствуют среднему периоду повторения 500, 1000 и 5000 лет.

Использование пакета программ ВАСО с применением «Логического дерева» и ме-

тода «Монте Карло» позволило проводить оценку сейсмической опасности по разным узлам и ветвям многократно. Нами было проведено 1000 прогонов, и на их основе определены средние значения PGA и PSA, а также коэффициенты вариации (COV) средних расчетных значений:

$$COV = \frac{\sigma}{\bar{X}},$$

где  $\bar{X}$  – среднее расчетное значение,  $\sigma$  – стандартное отклонение.

Расчеты производились для каждого узла квадратной сетки, покрывающей с шагом  $2 \times 2 \text{ км}^2$  территорию г. Невельск Сахалинской области.

Для прогноза сейсмической интенсивности сотрясений земной поверхности для средних (эталонных) грунтовых условий применялась зависимость, принятая в ОИФЗ при создании карты Северной Евразии по программе GSHAP (1993).

На основе полученных данных оценки были построены карты детального сейсмического районирования территории городов Сахалинской области в параметрах расчет-

ной макросейсмической интенсивности в шкале MSK-64 для вероятности превышения 10%, 5% и 1% в течение 50 лет.

Ниже приведена фоновая сейсмичность г. Невельск, характеризующаяся сейсмической интенсивностью по макросейсмической шкале MSK-64 для средних грунтовых условий и трех уровней сейсмической опасности – 10% (А), 5% (В) и 1% (С) возможного превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет в соответствии с Комплектом карт ОСР-97 и детального сейсмического районирования г. Невельск (табл. П.1, рис. П.6).

Таблица П.1

**Фоновая сейсмичность  
по данным ОСР и детального  
сейсмического районирования**

Название городов Сахалинской области	Карты ОСР-97			Карты ДСР-2007		
	А	В	С	А	В	С
Невельск	9	9	9	8	8-9*	9

– через территорию города проходит граница соседних значений макросейсмической интенсивности

*Рекомендации.* Сахалинская область относится к территориям повышенного природно-техногенного риска, связанного, главным образом, с высокой сейсмичностью региона. Согласно результатам выполненных работ по детальному сейсмическому районированию при повторяемости землетрясений 1 раз в 500 лет территория острова Сахалин расположена в зонах с сейсмичностью 7–8 баллов (карта А). При повторяемости 1 раз в 1000 лет сейсмичность составит 8–9 баллов соответственно (карта В). При этом необходимо учитывать, что указанная сейсмичность определена для средних грунтовых условий г. Южно-Сахалинск (II категория по сейсмическим свойствам согласно табл. П.1 СНиП II-7-81\*).

При развитии на территории г. Невельск грунтов I или III категории сейсмическая интенсивность может быть уменьшена или увеличена на 1 балл.

Анализ литологического строения территории г. Невельск показывает, что инженерно-геологические условия характеризуются большей частью как сложные. В табл. П.2 приведены средние грунтовые условия для города Невельск.

Таблица П.2

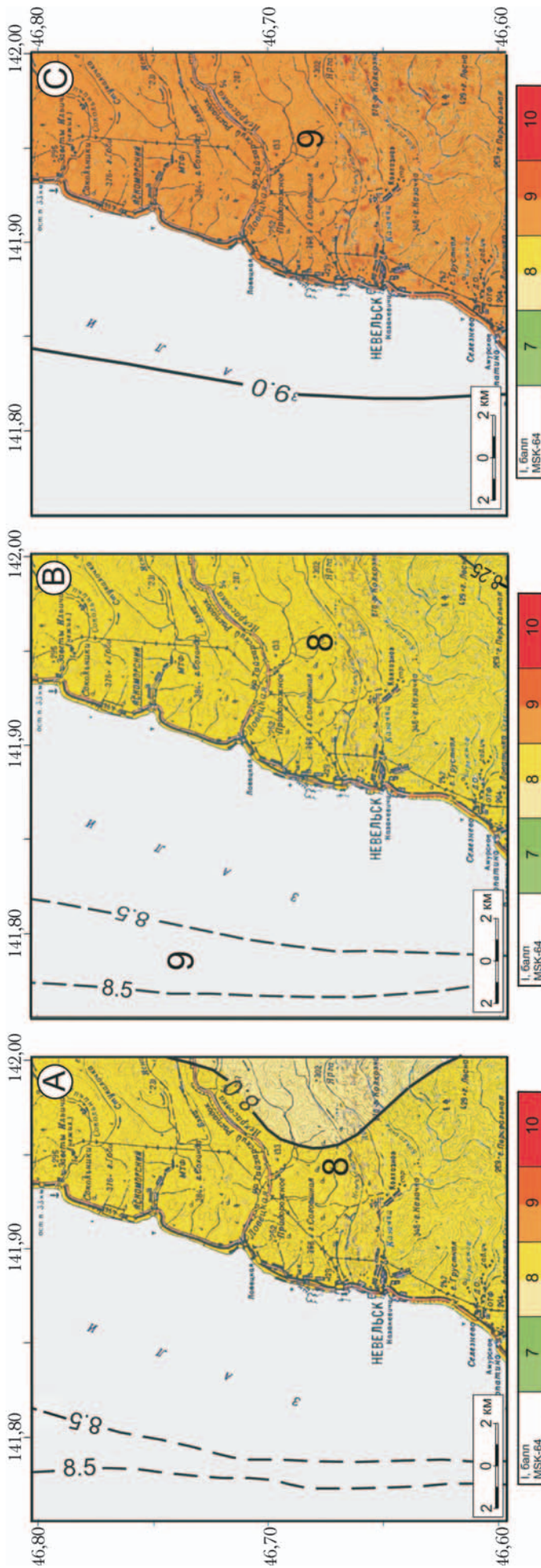
**Средний (эталонный) грунт  
на территории г. Невельск  
Сахалинской области**

Название городов острова Сахалина	Средний (эталонный) грунт	Категория грунта	
		по СНиП II-7-81*	по ЕННRP-1997
Невельск	Щебенисто- дресвяные грунты	II	С

Как следует из анализа характеристик инженерно-геологического строения городов и поселков области, развитые на их территории грунтовые комплексы относятся к I, II и III категориям по сейсмическим свойствам. Это позволяет по инженерно-геологическим данным как увеличить, так и уменьшить расчетную сейсмичность отдельных участков на 1 балл относительно исходной (фоновой) сейсмичности. Вместе с тем высокая исходная сейсмичность региона и сложное геолого-тектоническое строение территории при общей недостаточности инженерно-геологической изученности населенных пунктов области делают такой подход к определению расчетной сейсмичности неоправданно упрощенным и недостаточно обоснованным.

Сложность инженерно-геологических условий территорий г. Невельск Сахалинской области обуславливает необходимость проведения здесь комплекса работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР). При планировании этих работ необходимо учитывать, что их целью должно быть не только определение расчетной сейсмичности на участках нового строительства, но и оценка дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений, построенных в прошлые годы. Здесь необходимо учитывать, что значительное количество объектов промышленно-гражданского назначения в области построено с учетом исходной сейсмичности 7 баллов (карты ОСР 1958, 1968 и 1978 годов).

Наряду с инструментальными сейсморазведочными и сейсмотектоническими работами комплекс исследований должен включать в себя работы по инженерно-геологическому районированию территории, как основы для последующего сейсмического микрорайонирования. Границы работ дол-



Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 10%, что соответствует среднему периоду  $T = 500$  лет повторяемости таких сотрясений.

Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 5%, что соответствует среднему периоду  $T = 1000$  лет повторяемости таких сотрясений.

Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 1%, что соответствует среднему периоду  $T = 5000$  лет повторяемости таких сотрясений.

Рис. П.6. Карты детального сейсмического районирования в параметрах сейсмической интенсивности сотрясения ( $I_{MSK}$ ) для района г. Невельск.

Fig. A.6. Map of detailed seismic zoning in Richter scale intensity ( $I_{MSK}$ ) for the Nevel'sk urban area.

жны включать в себя всю территорию населенного пункта в их административных границах, включая существующую (в том числе частную) и перспективную застройку.

Инженерно-геологические работы для целей СМР заключаются в построении комплекта аналитических карт, отражающих различные аспекты геолого-литологического, гидрогеологического и сеймотектонического строения районированных территорий и обобщающей карты инженерно-геологического районирования, на которой выделяются квазиоднородные в инженерно-геологиче-

ском отношении участки и для каждого из них определяется категория грунтов по сейсмическим свойствам.

Основным источником при построении всех карт являются материалы инженерных изысканий. С учетом этого инженерно-геологические работы должны включать в себя необходимый объем буровых, горнопроходческих и лабораторных работ, а также геофизических исследований для изучения геолого-литологического строения районированного участка.

### Список литературы

Изменение №5 СНИП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах». БСТ, 6, 2000. С.21–30.

РСМ-85. «Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства» / отв. ред. С.А.Федоров, М.: ПНИИС Госстроя СССР, 1985. 72 с.

Строительные нормы и правила, СНИП II-7-81\*. 1996.

*Оскорбин Л.С.* Сейсмичность Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С.3–22.

*Оскорбин Л.С., Бобков А.О.* Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Том VI. Проблемы сейсмической опасности. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С.179–198.

Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. / отв. ред.: В.И.Бунэ, Г.П.Горшков. М.: Наука, 1980. 307 с.

ОСР-97: Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Комплект карт и другие материалы для Строительных норм и правил – СНИП «Строительство в сейсмических районах». М.: Миннауки РФ; ОИФЗ РАН, 1998.

*Соловьев С.А., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д.* Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 180 с.

*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.

*Тереженков А.А., Бабошина В.А., Харахинов В.В.* Структура земной коры Охотоморского региона // Сейсмическое районирование шельфа. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. С.38–65.

*Чернов Ю.К.* Методика и вероятностные оценки сейсмической опасности территорий Сахалина, Курильских островов и Приморья // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т.VI. Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С.198–238.

*Шебалин Н.В.* О предельной магнитуде и предельной балльности землетрясений // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1971. №6. С.12–20.

*Atkinson G.M., Sonley E.* Empirical relationships between modified Mercalli Intensity and Response spectra // Bul. Seism. Soc. Am. 2000. Vol.90, No 2. P.537–544.

*Abramhamson N.A. and W Silva.* Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes // Seismological Research Letters. 1997. Vol.68, No.1. P.94–127.

*Bender B. and Perkins D.M.* SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. // U.S. Geological Survey Bulletin, 1772. Washington, 1987. 48 p.

*Campbell K.W.* Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration? Peak Ground Velocity and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra. // Seismological Research Letters. 1997. Vol.68, No 1. P.154–179.

*Campbell K.W., and Y.Bozorgnia.* Updated near-source ground motion relations for horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra // Bul. Seism. Soc. Am. 2003. Vol.93, No.1. P.314–331.

*Cornell C.A.* Engineering seismic risk analysis // Bul. Seismol. Soc. Am. 1968. Vol.58. P.1583–1606.

*Sadigh K., C.-Y.Chang, J.A.Egan, F.Makdisi, and R.R.Youngs.* Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data // Seismological Research Letters, 1997. Vol.68, No 1. P.180–189.



# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (Б.В. Левин, И.Н. Тихонов) .....	7
<b>ГЛАВА 1. РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ О-ВА САХАЛИН И РАЙОНА НЕВЕЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. ....</b>	<b>9</b>
1.1. Региональные аспекты сейсмоструктуры острова Сахалин (О.А. Мельников).....	9
1.2. Локальные аспекты сейсмоструктуры очаговой зоны Невельского землетрясения (В.Л. Лошнев).....	20
<b>ГЛАВА 2. СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА О-ВА САХАЛИН ЗА ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЯ 1905–2005 ГОДЫ .....</b>	<b>24</b>
2.1. Общая характеристика сейсмичности (Д.А. Сафонов) .....	24
2.2. Краткое описание сильных ( $M \geq 5,5$ ) землетрясений (Д.А. Сафонов, Т.К. Злобин).....	29
<b>ГЛАВА 3. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЮГО-ЗАПАДЕ О-ВА САХАЛИН .....</b>	<b>33</b>
3.1. Характер активизации сейсмичности в юго-западной части о-ва Сахалин в 2003–2005 гг. (И.Н. Тихонов) .....	35
3.2. Долгосрочный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. (И.Н. Тихонов, Ч.У. Ким) .....	35
<b>ГЛАВА 4. АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ ПЕРЕД ГОРНОЗАВОДСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 2006 Г.. ....</b>	<b>41</b>
4.1. Спутниковый мониторинг поверхности суши на юге о-ва Сахалин (Ю.И. Троицкая, Б.В. Левин) .....	41
4.2. Наземный мониторинг аномальных эффектов различной природы (И.Н. Тихонов, Ч.У. Ким) .....	43
4.3. Сейсмогидроакустические наблюдения в замкнутом водоеме вблизи г.Холмск (Б.В. Левин, Е.В. Сасорова).....	46
<b>ГЛАВА 5. ГОРНОЗАВОДСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17(18) АВГУСТА 2006 Г. – НАЧАЛО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗА. ....</b>	<b>50</b>
5.1. Действия оперативных служб Сахалинского филиала ГС РАН (А.И. Спириин) .....	50
5.2. Результаты наблюдений с помощью локальной сети цифровых станций (Ч.У. Ким, В.И. Михайлов, Сен Рак Се, И.Н. Тихонов, О.А. Жердева).....	53
5.3. Параметры главного толчка и механизм очага по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений (Л.Н. Поплавская, Т.В. Нагорных, М.И. Рудик).....	58
5.4. Результаты обследования последствий землетрясения и его афтершоков.....	61
5.4.1. Макросейсмические проявления (в баллах) на юге о-ва Сахалин (Т.А. Фокина, Н.С. Коваленко, Н.А. Урбан, Л.Н. Поплавская, Т.В. Нагорных, Д.А. Сафонов).....	61
5.4.2. Повреждение жилых и производственных зданий, трещины в грунтах (Т.А. Фокина, Н.С. Коваленко, Н.А. Урбан, Г.Л. Кофф).....	68
5.5. Краткосрочный прогноз более сильного сейсмического события (И.Н. Тихонов, Ч.У. Ким) .....	69

<b>ГЛАВА 6. НЕВЕЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2 АВГУСТА 2007 Г. – ПОЛНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА. . . . .</b>	<b>72</b>
6.1. Действия оперативных служб СФ ГС РАН после главного толчка ( <i>А.И. Спирын</i> ) . . . . .	72
6.2. Результаты наблюдений с помощью локальной сети цифровых станций, анализ инструментальных данных ( <i>Ч.У. Ким, В.И. Михайлов, Сен Рак Се, Ю.Н. Левин, О.А. Жердева, Е.П. Семенова</i> ) . . . . .	75
6.2.1. Инструментальные данные о главном толчке и афтершоках . . . . .	75
6.2.2. Карта эпицентров землетрясений, вертикальные разрезы . . . . .	78
6.2.3. Сейсмический режим Невельского землетрясения . . . . .	80
6.2.4. Обсуждение результатов и выводы. . . . .	82
6.3. Косейсмические деформации земной поверхности в результате Невельского землетрясения 02 августа 2007 г. ( <i>Н.Ф. Василенко, А.С. Прытков</i> ) . . . . .	84
6.4. Параметры главного толчка и механизм очага по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений ( <i>Л.Н. Поплавская, Т.В. Нагорных, М.И. Рудик</i> ) . . . . .	89
6.5. Результаты обследования последствий землетрясения и его афтершоков . . . . .	92
6.5.1. Макросейсмические проявления (в баллах) на юге о-ва Сахалин ( <i>Н.А. Урбан, Т.А. Фокина, Н.С. Коваленко, Л.Н. Поплавская, Т.В. Нагорных, В.М. Кайстренко, Е.П. Семенова, М.Ю. Андреева, Д.А. Сафонов</i> ) . . . . .	92
6.5.2. Геологическое обследование (характер разрушений и повреждений, подъем дна моря и другие эффекты) ( <i>А.А. Стром, А.И. Кожурин, С.П. Никифоров</i> ) . . . . .	122
6.6. Организация эвакуации пострадавших жителей Невельского района ( <i>Е.П. Ивашова</i> ) . . . . .	128
6.7. Организация проектирования и строительства объектов жилищного фонда, инженерной инфраструктуры, социальной сферы, объектов федерального значения ( <i>Е.П. Ивашова</i> ) . . . . .	129
6.8. Невельское землетрясение: отражение в СМИ ( <i>О.М. Шестакова</i> ) . . . . .	131
<b>ГЛАВА 7. НЕВЕЛЬСКОЕ ЦУНАМИ 2 АВГУСТА 2007 Г. И ДРУГИЕ ОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ О.САХАЛИН. . . . .</b>	<b>136</b>
7.1. Проявления Невельского цунами 2 августа 2007 г. на побережье Татарского пролива ( <i>В.М. Кайстренко, В.А. Ломтев, Н.А. Урбан, Т.Н. Ивельская, Т.А. Фокина, Б.В. Левин, М.Ю. Андреева, Е.П. Семенова, О.А. Карташова, Н.С. Коваленко, Ю.П. Королев, П.Ю. Королев</i> ) . . . . .	136
7.1.1. Исторические цунами на сахалинском побережье Татарского пролива . . . . .	136
7.1.2. Невельское цунами 2 августа 2007 г. . . . .	137
7.1.3. Особенности Невельского цунами . . . . .	139
7.2. Численное моделирование распространения цунами от очага Невельского землетрясения ( <i>Д.Е. Золотухин, В.Н. Храмушин</i> ) . . . . .	140
7.3. Экспериментальные исследования опасных морских явлений у юго-западного побережья о.Сахалин ( <i>П.Д. Ковалев, Г.В. Шевченко, Д.П. Ковалев, А.Г. Чернов</i> ) . . . . .	142
7.3.1. Цунами . . . . .	142
7.3.2. Характеристика штормовых нагонов . . . . .	148
7.4. Акустическая активность зоны разлома Невельского землетрясения ( <i>Б.В. Левин, С.А. Борисов</i> ) . . . . .	151
Список литературы . . . . .	156
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФОТОАЛЬБОМ . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ Г.НЕВЕЛЬСК (<i>Ч.У. Ким, В.Н. Соловьев, С.П.Никифоров</i>) . . . . .</b>	<b>189</b>

# CONTENTS

<b>PREFACE</b> ( <i>B.V. Levin, I.N. Tikhonov</i> ) . . . . .	7
<b>CHAPTER 1. REGIONAL AND LOCAL SEISMOTECTONIC ASPECTS OF SAKHAIN AND NEVELSK EARTHQUAKE AREA</b> . . . . .	9
1.1. Regional aspects of the Sakhalin island seismotectonics ( <i>O.A. Melnikov</i> ) . . . . .	9
1.2. Local aspects of the Nevelsk earthquake focal zone seismotectonics ( <i>V.L. Lomtev</i> ) . . . . .	20
<b>CHAPTER 2. SEISMICITY OF THE SAKHALIN ISLAND FOR THE 1905–2005 YEARS OBSERVATIONAL PERIOD</b> . . . . .	24
2.1. General characterization of the seismicity ( <i>D.A. Safonov</i> ) . . . . .	24
2.2. Short description of the strong ( $M \geq 5,5$ ) earthquakes ( <i>D.A. Safonov, T.K. Zlobin</i> ) . . . . .	29
<b>CHAPTER 3. LONG-TERM PREDICTION OF A STRONG EARTHQUAKE ON THE SOUTH-WEST OF THE SAKHALIN ISLAND</b> . . . . .	33
3.1. Seismicity intensification pattern in the south-western part of Sakhalin in 2003–2005 ( <i>I.N. Tikhonov</i> ) . . . . .	33
3.2. Long-term prediction of the Nevelsk earthquake of August 2, 2007 ( <i>I.N. Tikhonov, Ch.U. Kim</i> ) . . . . .	35
<b>CHAPTER 4. ANOMALOUS PHENOMENA OBSERVED BEFORE THE GORNOZAVODSK EARTHQUAKE OF 2006</b> . . . . .	41
4.1. Satellite monitoring of the land surface on the south of Sakhalin ( <i>Yu.I. Troutskaya, B.V. Levin</i> ) . . . . .	41
4.2. Land-based monitoring of anomalous phenomena of different nature ( <i>I.N. Tikhonov, Ch.U. Kim</i> ) . . . . .	43
4.3. Seismo hydro-acoustic observations in an enclosed pond near Kholmsk ( <i>B.V. Levin, E.V. Sasorova</i> ) . . . . .	46
<b>CHAPTER 5. GORNOZAVODSK EARTHQUAKE OF AUGUST 17(18) 2006. – INITIAL PHASE OF PREDICTION CONFIRMATION</b> . . . . .	50
5.1. Actions by the prompt monitoring and processing services of the Sakhalin Branch of the RAS Geophysical Service ( <i>A.I. Spirin</i> ) . . . . .	50
5.2. Observational results obtained using local network of digital stations ( <i>Ch.U. Kim, V.I. Mikhailov, Sen Rak Se, I.N. Tikhonov, O.A. Zherdeva</i> ) . . . . .	53
5.3. Parameters of the main shock and focal mechanism based on a complex of local, regional and global observational data ( <i>L.N. Poplavskaya, T.V. Nagornykh, M.I. Rudik</i> ) . . . . .	58
5.4. Findings of the earthquake and aftershock effects survey . . . . .	61
5.4.1. Macroseismic effects (MSK-64 scale) in the south of Sakhalin ( <i>T.A. Fokina, N.S. Kovalenko, N.A. Urban, L.N. Poplavskaya,             T.V. Nagornykh, D.A. Safonov</i> ) . . . . .	61
5.4.2. Destruction of the residential and industrial buildings, soil cracking ( <i>T.A. Fokina, N.S. Kovalenko, N.A. Urban, G.L. Koff</i> ) . . . . .	68
5.5. Short-term prediction of the stronger seismic event ( <i>I.N. Tikhonov, Ch.U. Kim</i> ) . . . . .	69

<b>CHAPTER 6. NEVELSK EARTHQUAKE OF AUGUST 2, 2007. – COMPLETE CONFIRMATION OF THE FORECAST . . . . .</b>	<b>72</b>
6.1. Actions by the prompt monitoring and processing services of the Sakhalin Branch of the RAS Geophysical Service following the main shock ( <i>A.I. Spirin</i> ) . . . . .	72
6.2. Observational results obtained using local network of digital stations and interpretation of instrumentation data ( <i>Ch.U. Kim, V.I. Mikhailov, Sen Rak Se, Yu.N. Levin, O.A. Zherdeva, E.P. Semenova</i> ) . . . . .	75
6.2.1. Instrumentation data on main shock and aftershocks . . . . .	75
6.2.2. Map of epicenters, vertical sections . . . . .	78
6.2.3. Seismic regimen of the Nevelsk earthquake . . . . .	80
6.2.4. Discussion of results and conclusions. . . . .	82
6.3. Land surface coseismic deformations in the August 2, 2007 Nevelsk earthquake ( <i>N.F. Vasilenko, A.S. Prytkov</i> ) . . . . .	84
6.4. Parameters of the main shock and focal mechanism based on a complex of local, regional and global observational data ( <i>L.N. Poplavskaya, T.V. Nagornykh, M.I. Rudik</i> ) . . . . .	89
6.5. Findings of the earthquake and aftershock effects survey . . . . .	92
6.5.1. Macroseismic effects (MSK-64 scale) in the south of Sakhalin ( <i>N.A. Urban, T.A. Fokina, N.S. Kovalenko, L.N. Poplavskaya, T.V. Nagornykh, V.M. Kaistrenko, E.P. Semenova, M.Yu. Andreeva, D.A. Safonov</i> ) . . . . .	92
6.5.2. Geological survey (type of destruction and damage, sea bottom upheaval and other effects) ( <i>A.L. Strom, A.I. Kozhurin, S.P. Nikiforov</i> ) . . . . .	122
6.6. Organization of activities on evacuation of the earthquake affected residents of the Nevelsk district ( <i>E.P. Ivashova</i> ) . . . . .	128
6.7. Organization of activities on the design and construction of residential housing, engineering and social infrastructure and federal projects ( <i>E.P. Ivashova</i> ) . . . . .	129
6.8. Nevelsk earthquake: Media reporting ( <i>O.M. Shestakova</i> ) . . . . .	131
<b>CHAPTER 7. NEVELSK TSUNAMI OF THE AUGUST 2 2007 AND OTHER DANGEROUS MARINE PHENOMENA ON THE SOUTH-WESTERN COAST OF SAKHALIN . . . . .</b>	<b>136</b>
7.1. Effects of the Nevelsk tsunami of August 2 2007 in the Tatar Strait coast ( <i>V.M. Kaistrenko, V.L. Lomtev, N.A. Urban, T.N. Ivelskaya, T.A. Fokina, B.V. Levin, M.Yu. Andreeva, E.P. Semenova, O.L. Kartashova, N.S. Kovalenko, Yu.P. Korolev, P.Yu. Korolev</i> ) . . . . .	136
7.1.1 Historical tsunami in the Sakhalin coast of the Tatar Strait. . . . .	136
7.1.2. Nevelsk tsunami of the August 2, 2007 . . . . .	137
7.1.3. Features of the Nevelsk tsunami . . . . .	139
7.2. Numerical modeling of tsunami propagation from the Nevelsk earthquake focus ( <i>D.E. Zolotukhin, V.N. Khramushin</i> ) . . . . .	140
7.3. Experimental studies of the dangerous marine phenomena near south western coast of Sakhalin ( <i>P.D. Kovalev, G.V. Shevchenko, D.P. Kovalev, A.G. Chernov</i> ) . . .	142
7.3.1. Tsunami . . . . .	142
7.3.2. Characterization of storm surge. . . . .	148
7.4. Acoustic activity in the Nevelsk earthquake fault area ( <i>B.V. Levin, S.A. Borisov</i> ) . . . . .	151
Literature. . . . .	156
<b>APPENDIX 1. PHOTO ALBUM . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>APPENDIX 2. DETAILED SEISMIC ZONING OF THE NEVELSK URBAN AREA (<i>Ch.U. Kim, V.N. Soloviev, S.P. Nikiforov</i>) . . . . .</b>	<b>189</b>