



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Специальность 21.05.03 «Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых»
Кафедра геофизики

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**УТОЧНЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ЧАРУОДИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

УДК 550.343.4 (571.56)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Макаров Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ислямова А. А.	к. г-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По геологической части

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимкин Т.В.	к. г-м. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Т. А.	к. т. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Немирович- Данченко М. М.	д. ф-м. н.		

Планируемые результаты обучения

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>
Универсальные компетенции	
P1	Применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и инженерные знания в профессиональной деятельности
P2	Анализировать основные тенденции правовых, социальных и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, демонстрировать компетентность в вопросах здоровья и безопасности жизнедеятельности и понимание экологических последствий профессиональной деятельности
P3	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P4	Идентифицировать, формулировать, решать и оформлять профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий
Профессиональные компетенции	
P5	Разрабатывать технологические процессы на всех стадиях геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, внедрять и эксплуатировать высокотехнологическое оборудование
P6	Ответственно использовать инновационные методы, средства, технологии в практической деятельности, следуя принципам эффективности и безопасности технологических процессов в глобальном, экономическом, экологическом и социальном контексте
P7	Применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей документации на проведение геологической разведки и осуществления этих проектов
P8	Определять, систематизировать и получать необходимые данные с использованием современных методов, средств, технологий в инженерной практике
P9	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов на основе современных методов моделирования и компьютерных технологий
P10	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой для решения профессиональных инновационных задач в соответствии с требованиями корпоративной культуры предприятия и толерантности
P11	Проводить маркетинговые исследования и разрабатывать предложения по повышению эффективности использования производственных и природных ресурсов с учетом современных принципов производственного менеджмента, осуществлять контроль технологических процессов геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 21.05.03 «Технология геологической разведки»
Отделение геологии

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа 223Б	Макарову Александру Александровичу

Тема работы:

Уточнение сейсмичности Южной Якутии на основе анализа характеристик Чаруодинских землетрясений

Утверждена приказом директора (дата, номер)	05.03.2018 г., №1482/с
---	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Материалы преддипломной геофизической практики, пройденной в лаборатории региональной геологии и геодинамики ИГАБМ СО РАН

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

Анализ сведений о районе исследования, геолого-геофизическая характеристика района, анализ основных результатов ранее проведенных работ по сейсмичности в данном районе, система наблюдений, распределение эпицентров землетрясений в пространстве и во времени, исходные данные для анализа, анализ пространственного положения эпицентров Чаруодинских землетрясений, социальная ответственность.

Перечень материала	графического	
-------------------------------	---------------------	--

(с <i>точным</i> указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
По геологической части	Тимкин Т. В.
По социальной ответственности	Задорожная Т. А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ислямова А. А.	к. Г-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Макаров А. А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 121 с., 44 рис., 12 табл., 53 источников, 0 прил.

Объектом исследования является участок под названием – Южная Якутия. Цель работы заключается в уточнении сейсмичности Южной Якутии на основе характеристик Чародинских землетрясений. Участок исследования является наиболее сейсмоопасным. Так как на юге территории Республики Саха (Якутия) функционируют и строятся крупные промышленные объекты, а так же расположены населенные пункты актуально уточнение сейсмичности для безопасного строительства. Основными этапами работы являлись: сбор общих сведений об исследовании; изучение геолого-геофизических характеристик; анализ основных результатов ранее проведенных работ таких как, изучение активных разломов, сейсмодислокаций, распределения эпицентров землетрясений в пространстве и во времени; описание системы наблюдений, синтез исходных данных для анализа и проведения анализа по уточнению сейсмичности. Основными результатами исследования являются: карты эпицентров афтершоков; карты пунктов-баллов; карта роевых событий; графики накопления сейсмических событий для района исследований; график повторяемости событий различных магнитуд Южной Якутии. Результаты были получены на основе материалов преддипломной геофизической практики, пройденной в лаборатории региональной геологии и геодинамики ИГАБМ СО РАН.

ABSTRACT

Final qualifying work 121 p., 44 Fig., 12 tables, 53 sources, 0 Adj.

The object of the research is a site called – South Yakutia. The aim of this work is to clarify the seismicity of the South Yakutia on the basis of Charodinsky earthquakes. The study area is the most earthquake-prone. Since in the South of the Republic of Sakha (Yakutia) operate and build large industrial facilities, as well as located settlements actual to specificate the seismicity for safe construction. The main stages of the work were: collection of General information about the research; review of geological and geophysical characteristics; analysis of the main results of the previous work such as the study of active faults, seismic dislocations, distribution of epicenters of earthquakes in space and time; description of the system of observations, the synthesis of input data for analysis and analysis to clarify seismicity. The main results of the study are: maps of aftershock epicenters; maps of points-scores; map of swarm events; graphs of seismic events accumulation for the research area; graph of the events of different magnitudes of southern Yakutia. The results were obtained on the basis of the materials of pre-graduate geophysical practice, passed in the laboratory of regional Geology and geodynamics of IGABM SO RAN.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах СП 14 .13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-7- 81*.
2. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства геофизических исследований СП 11-105-97.
3. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97.
4. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование.
5. Технические требования к производству работ. РСН 65-87.
6. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование.
7. Нормы производства работ. РСН 60-86.
8. Инженерные изыскания для строительства. Сейсморазведка. Технические требования к производству работ. РСН 66-87.
9. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование.
10. Рекомендации по применению. РСН 73.

Определения, обозначения, сокращения

ВЭЗ	Вертикальное электрическое зондирование
ГИ ВНИПИЭТ	Восточно-Европейский головной научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий
ГУГК	Главное управление геодезии и картографии
ЖРО	Жидкие радиоактивные отходы
ЗАТО	Закрытое территориальное образование
ИГЭ	Инженерно-геологический элемент
ИФЗ РАН	Институт физики Земли Российской Академии наук
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МРЗ	Максимальное расчётное землетрясение
МФ	Модуль фабрикации
НПТ	Надпойменная терраса
НРБ	Нормы радиационной безопасности
ОДЭК	Опытно-демонстрационный энергокомплекс
ОСР	Общее сейсмическое районирование
ПДК	Предельная допустимая концентрация
ПЗ	Проектное землетрясение
ПЯТЦ	Пристанционный ядерный топливный цикл
РАО	Радиоактивные отходы
СанПиН	Санитарные правила и нормы
СВДЗК	Современные вертикальные движения земной коры
СДЗП	Современное движение земной поверхности
СЗ	Статическое зондирование
СЗЗ	Санитарно-защитная зона
СМР	Сейсмическое микрорайонирование
СП	Свод правил
СР	Сейсмическое районирование
СХК	Сибирский химический комбинат
ТГУ	Томский государственный университет
ТПИ	Томский политехнический институт
ТПУ	Томский политехнический университет
ТЦГМС	Томская центральная гидрометеорологическая станция
УЭС	Удельное электрическое сопротивление
ФМБА	Федеральное медико-биологическое агентство
ЭП	Электропрофилирование

ОГЛАВЛЕНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	7
ВВЕДЕНИЕ	10
3 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	11
3.1 АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ	11
3.2 СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ	19
3.3 СЕЙСМИЧНОСТЬ.....	35
4 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ	60
4.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА.....	60
4.2 АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭПИЦЕНТРОВ ЧАРУОДИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	68
4.3 РАСЧЕТ УТОЧНЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	84

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений в деятельности лаборатории геодинамики и региональной геологии Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (ИГАБМ СО РАН) является исследования в области сейсмологии. На основе интерпретации данных землетрясений, поступающих от Якутского филиала ГС СО РАН, в том числе с сейсмостанции «Якутск», составляются ежегодные каталоги землетрясений и карты пространственного распределения землетрясений на территории Якутии, необходимые для обеспечения сейсмостойкого строительства и безопасности местного населения, проживающего в сейсмоактивных районах. В данном случае мониторинг и оценка сейсмичности территории Южной Якутии.

Актуальность исследований сейсмичности данной местности состоит в том, что в настоящее время здесь идёт активное освоение рассматриваемой территории (проектируются, строятся и эксплуатируются крупные промышленные и горнодобывающие предприятия, появляются объекты гражданского строительства), в частности, действует железнодорожная магистраль БАМ, работают угольные разрезы в Нерюнгри и Эльгинском угольном месторождении вблизи оз. Бол. Токо, построена и функционирует трасса нефтепровода ВСТО и строится газопровод «Сила Сибири», проектируется строительство ряда комбинатов по добыче железных руд, золота и др. Поэтому выявление пространственного распределения землетрясений на территории Якутии необходимо для обеспечения сейсмостойкого строительства и безопасности местного населения, проживающего в этом сейсмоактивном регионе.

3 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАННЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ

В становлении современного рельефа и формировании морфоструктур Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны одну из основных ролей играли разломы, активизированные в кайнозое. Анализ их кинематических особенностей, выполненный на основе геолого-структурных и морфотектонических методов исследований, показал присутствие разрывных нарушений различного генезиса. В пределах рассматриваемого района отдельными исследователями в разные годы было выделено большое количество разломов различной глубинности и возраста: мантийные (глубинные и сверхглубинные), функционировавшие от архея до настоящего времени, коровые и более близповерхностные мелкие докембрийского, мезозойского и кайнозойского возраста [20]. Рассмотрим основные разломы, фигурирующие на современных геологических картах масштаба 1:200 000. Среди них присутствуют разломы позднеархейского возраста, например, упоминавшийся выше Становой шов протерозойского возраста, некоторые из разломов северо-западного и северо-восточного простираний в центральной части щита, трассируемые дайками предвендских диабазов. Большинство изображенных на схеме разломов имеет молодой позднемезозойский и кайнозойский возраст. Отделить позднемезозойские разломы от кайнозойских, в том числе активных в настоящее время, затруднительно, что связано с недостаточной геологической изученностью конкретных разломов, а также с тем, что многие из позднемезозойских разломов в кайнозое "живут" вплоть до настоящего времени.

Наиболее ранними, по времени заложения, являются надвиги и взбросы субширотного простирания, по которым архейские образования южной окраины щита надвинуты на мезозойские континентальные отложения впадин. Ниже рассматриваются главные из них (рис. 3.1.1).

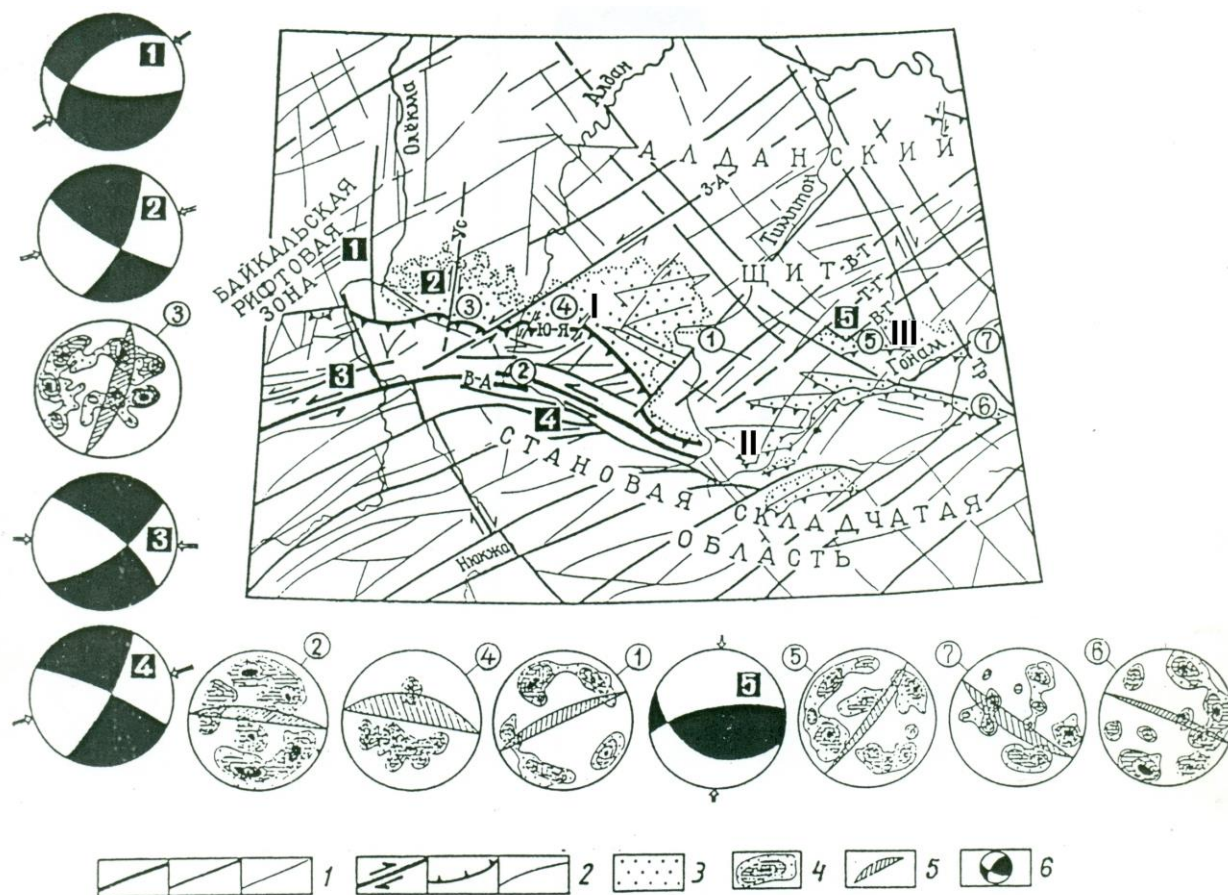


Рис. 3.1.1 Схема активных разломов центрального участка Олёкмо-Становой сейсмоструктурной зоны в Южной Якутии [21]. 1 – разломы генеральные, региональные, локальные; 2 – сдвиги (В-А – Верхнеалданский, Ус – Усмунский, 3-А – Западно-Алданский, В-Т – Верхнетимптонский, Т-Г – Тимптоно-Гонамский, В-Г – Верхнегонамский, Тр – Тыркандинский), надвиги (Ю-Я – Южно-Якутский), прочие разрывные нарушения соответственно; 3 – мезозойско-кайнозойские впадины; 4 – изолинии плотности трещин; 5 – простирание главной плоскости сместителя (цифры на диаграммах – местоположения на схеме замеров трещиноватости в разломах); 6 – стереограммы фокальных механизмов землетрясений с векторами сжатия (стрелки), цифры в квадратах – расположение эпицентров землетрясений на схеме).

Южно-Якутский (Южно-Чульманский или Хани-Чульманский) надвиг, являющийся южным ограничением Чульманской впадины, протягивается на 350 км. Надвиговая природа его установлена уже давно[22]. На существующих

геологических картах он изображается извилистой линией, особенно к западу от р.Алдан, перекрывая складки, образованные юрскими и нижнемеловыми отложениями. В междуречье р.Амедича и Тунгурча по данным С.Е.Карпова[22] выделяется клипп (1х6 км), залегающий в 3 км севернее фронта надвига. Линия надвига многими поперечными разломами типа сдвигов смещается в плане на расстояние от нескольких десятков метров до нескольких километров. Мезозойские отложения, залегающие непосредственно под надвигом, там, где их удалось наблюдать (по рекам Чульман, Большой Беркакит, Унгра, Алдан, Усмун), в зоне мощностью 500 - 1000 м. всюду интенсивно рассланцованы и милонитизированы. Здесь характерны брекчии с карбонатным цементом, кварцевые и кварц-эпидотовые прожилки. Важным структурным элементом в парагенезисе дислокаций угленосных толщ вблизи крупных надвигов, являются мелкие складки и разрывы, до недавнего времени изучению которых практически не придавалось большого значения. Выявление их морфологических и генетических типов необходимо для изучения направления перемещений пластического материала внутри угленосных впадин и прогибов, что способствует уточнению ориентации региональных тектонических сил и определению кинематики главных разломов. Они могут быть разделены по своему генетическому признаку на складки изгиба с концентрическим скольжением и связанные с разломами приразломные складки [23],[24].Первый тип – широко распространен в глинистых породах средней и верхней юры, а также нижнего мела. Под воздействием общего горизонтального сжатия эти толщи, обладая высокой степенью пластичности по отношению к вмещающим их песчаным слоям, образуют многочисленные раздувы мощности пластов, перетекание и затекание пластичного глинистого материала в зоны разломов. Наиболее отчетливо мелкие складки изгиба запечатлены в пластах углей, зажатых между более жесткими и хрупкими толщами песчаников. Они образуют складки волочения, практически не выходящие за пределы пластичных слоев. В некоторых случаях, когда предел прочности компетентных слоев бывает превышен, образуются будинаж-структуры. Их примером могут служить будины, встречающиеся в обнажениях дурайской свиты по р.Алдан, примерно в 8–10 километрах выше р.Кускудай-Олонгро. Длина будинаж-структур колеблется от 25 до 35 см при ширине 10–15 см. Будины имеют своеобразную

форму, несколько нарушенную S-образным изгибом (рис. 3.1.2). На концах будины по ее поверхности фиксируются "зеркала скольжения", которые при обработке по методике М.В.Гзовского [25], свидетельствуют о горизонтальном действии сжимающих и растягивающих тектонических усилий. Это же подтверждает и сама форма будин с их левобокowym смещением относительно друг друга.

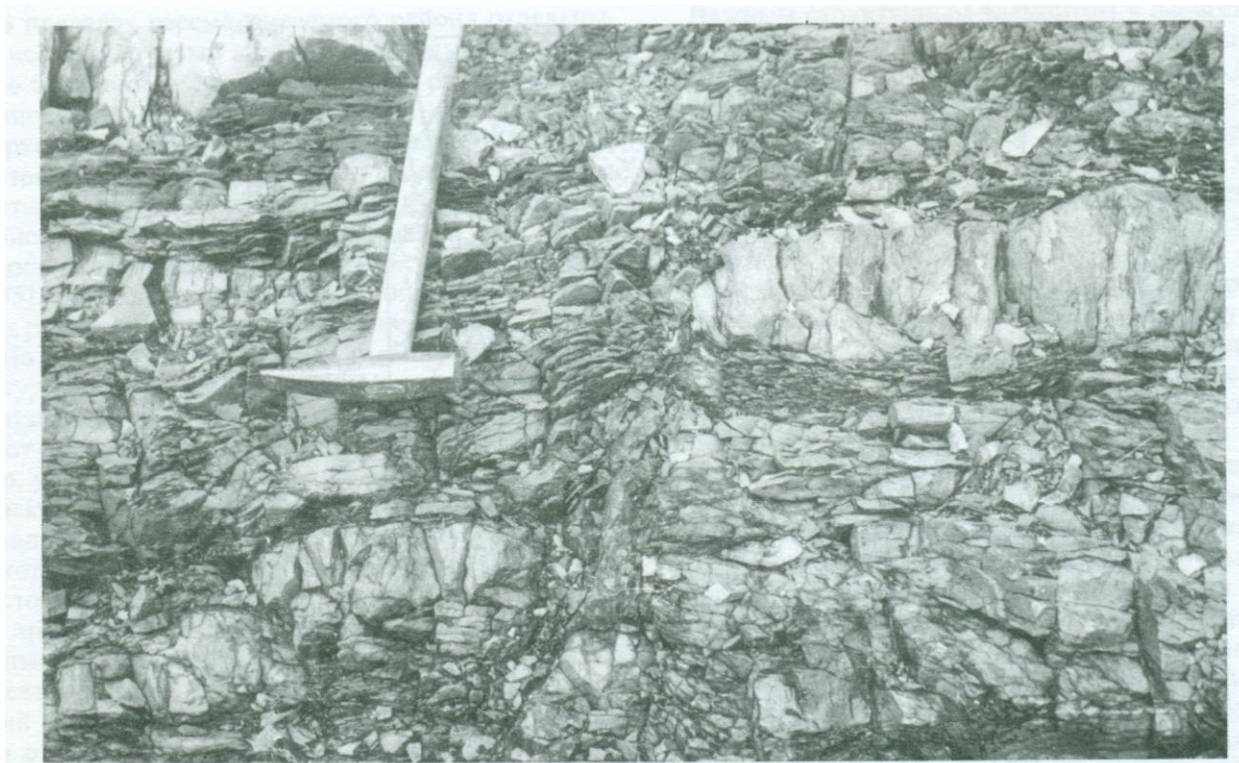


Рис. 3.1.2 Будинаж-структура в среднеюрских отложениях центральной (сдвиговой) зоны Чульманской впадины по р. Алдан.

Приразломные мелкие складки в Чульманской депрессии приурочиваются в основном к зонам разломов взбросового, сдвигового и надвигового типа, развитых вблизи Южно-Якутского надвига и попадающих в южную, приконтактовую зону [27]. Такие складки обычно имеют незначительные размеры (до метра) (рис. 3.2.2). Привзбросовые и принадвиговые микроскладки располагаются вдоль и параллельно фронту сместителя. Их осевые плоскости наклонены в большинстве случаев к югу и юго-западу, а шарниры имеют чаще всего небольшие углы к горизонту.

Присдвиговые мелкие складки широко распространены в бассейне р. Чульман и р. Алдан, где горизонтальные смещения по субширотным и диагональным северо-восточным и северо-западным сдвигам сопровождаются пластичным сжатием слоев горных пород. Складки имеют самую различную форму от прямых "открытых" до опрокинутых сжатых. Их шарниры резко ундулируют, а ширина составляет от десятков сантиметров до первых метров.



Рис. 3.1.3. Характер складчатых деформаций в принадвиговой части Чульманской впадины по р. Алдан [26].

Следует отметить, что в некоторых обнажениях Чульманской впадины фиксируется наложенная складчатость, которая проявляется в виде повторных деформаций ранее существовавших пликативных структур и преобразовавшая их в складки меньшего размера, а также в изгибании шарниров и осевых плоскостей складок. Причем сохранение простирания шарниров наложенных складок указывает на наследование в кайнозое направленности действия региональных тектонических сил, действовавших здесь в мезозое. Такая резкая тектоническая "асимметрия" в строении мезозойских депрессий, когда южные борта впадин оказываются деформированы значительно сильнее, чем

северные, наблюдаются и во всех других мезозойских структурах данного региона).

Ранее на основании гравиметрических данных и материалов ВЭЗ было показано, что наклон плоскости надвига с глубиной резко возрастает [28]. На глубинах до 1,5–2,5 км. угол наклона плоскости надвига не превышает 30–40°, за исключением участка в бассейне р.Алдан (здесь он составляет около 50–60°), далее с глубиной его плоскость становится почти вертикальной. Амплитуда горизонтальных перекрытий минимальна в бассейне р.Алдан и в крайней восточной части Чульманской впадины (до нескольких сотен метров), на юге Алдано-Чульманской синклинали она достигает 5 км, а на юге Усмуной синклинали увеличивается до 15 км. Метаморфизм углей Нерюнгринского месторождения связывают с существованием покрова архейских пород мощностью до 2,0 км, впоследствии размытого. Ширину размытого "козырька" архейских пород они оценивают в 20 км. Вдоль южной окраины Чульманской впадины примерно параллельно Южно-Чульманскому надвигу картируется ряд менее протяженных субпараллельных надвигов и взбросов, плоскости которых также наклонены к югу (Кабактинский, Нижненерюнгринский, Беркакитский и др.). По данным ВЭЗ, проведенным в Алдано-Чульманской синклинали, эти надвиги и взбросы смещают не только мезозойские отложения и образованные ими складки, но и архейские породы фундамента. Вертикальная амплитуда смещения поверхности фундамента по ним достигает 1,0–1,5 км.

Геологическая интерпретация аномалий силы тяжести, для южной окраины Чульманской впадины, показывает, что на большей части северной окраины кряжа Зверева архейские образования слагают пологую аллохтонную пластину, толщина которой не превышает 1000 м, а во многих районах, например к западу от р. Тунгурча, она, по-видимому, значительно меньше (не более нескольких сотен метров) [30].

Следует отметить, что надвиговая кинематика Южно-Якутского разлома подтверждается площадными исследованиями по тектонической трещиноватости. Анализ сколов, развитых как в архейских породах, так и в мезозойских толщах вблизи этого разлома, указывает на преобладающее развитие пологих систем трещин субширотного простирания. На поверхности трещин хорошо устанавливаются следы перемещений в виде отдельных

притинок кальцита. Среди трещин преобладают наклоны плоскостей сместителей к югу под углом $30\text{--}55^\circ$, хотя встречаются и сколы противоположной (северной) вергентности. Здесь реконструируется поле тектонических напряжений, имеющее пологий вектор сжатия (углы наклона $5\text{--}25^\circ$) и вертикально ориентированный вектор растяжения (углы наклона $35\text{--}75^\circ$), что возможно при взбросовом поле напряжений. Сжимающие усилия приложены перпендикулярно к Южно-Якутскому надвигу и действуют по азимутам $0\text{--}180^\circ$, $40\text{--}220^\circ$ и $150\text{--}330^\circ$. Такой тип напряженного состояния, характерный для областей развития надвиговых и взбросовых деформаций устанавливается практически везде вдоль южной границы Чульманской впадины.

К югу от Южно-Чульманского надвига среди архейских образований кряжа Зверева примерно параллельно ему выделяется несколько крутых надвигов (или взбросов), плоскости которых наклонены к югу (Беркакитский, Северо-, Центрально- и Южно-Становой разломы). Зоны этих разломов выражены развальцованными, милонитизированными и диафторированными породами [31].

Сдвиговые нарушения представлены системой диагональных разломов северо-восточного и северо-западного направлений (рис. 3.1.1). Она включает большое количество прямолинейных субвертикальных нарушений протяженностью в десятки километров, которые кулисообразно, подставляя друг друга, протягиваются сближенными субпараллельными группами на сотни километров. Система этих разломов пересекаясь друг с другом, образуют характерные разновеликие ромбические блоки, которые хорошо видны на всех геологических картах Алданского щита. Если судить по взаимному пересечению, то в одних районах более молодыми являются северо-западные разломы, в других – северо-восточные. К этим разломам приурочены зоны милонизации, низкотемпературного диафтореза, брекчирования и т.п. мощностью до нескольких сотен метров. Северо-восточные и северо-западные разломы, по-видимому, являются сопряженными соответственно левыми и правыми сдвигами, связанными с общим сжатием в долготном направлении. Амплитуды латеральных смещений по ним на геологических картах

оцениваются от нескольких сотен метров до нескольких километров. Наибольшее количество таких разломов устанавливается в центральной части Алданского щита. Вместе с тем, они прослеживаются через Южно-Алданскую систему впадин, отчетливо смещая ограничивающие их надвиги и взбросы, и продолжаются в пределы Становой области, где смещают также мезозойские батолиты. Самыми крупными из таких разломов на Алданском щите являются Верхнетимптонский, Тимптоно-Гонамский, Верхнегонамский. Продолжение этих разломов можно видеть в Монголо-Охотской складчатой системе и на северной окраине Буреинского массива. Формирование системы диагональных разломов может быть связано с заключительными этапами коллизии Буреинского массива и Алдано-Станового блока [32].

Сдвиговый характер перемещения по этим разломам подтверждается широко распространенными здесь системами близвертикальных трещин с характерными горизонтальными штриховками на их поверхностях и характером однотипного смещения геологических границ. При изучении массовых замеров трещиноватости горных пород в зонах данных разломов устанавливается характерный рисунок в распределении трещин на сферограммах, образующих пояс, принадлежащий и состоящий чаще всего из двух взаимно-перпендикулярных систем трещин. Кроме того, в обнажениях часто фиксируются пологие сколы, формирующие третий тип максимума трещиноватости, который был отмечен для сдвигов в работе [33].

Верхне-Алданский разлом трассируется на 180 км в субширотном направлении (рис. 3.1.3). По данным [11] черно-белых и спектрзональных космических снимках он проявляется в виде прямолинейной полосы темных фотоаномалий от устья р. Нюкжа через широтный отрезок верховьев р.Алдан до меридиана пос.Беркакит. Ему соответствует грабен-долины рек Талума и верховьев Алдана, сквозные водораздельные седловины и пониженные участки рельефа. Вертикальные смещения по разлому устанавливаются только в верховьях р.Алдан, где южное крыло поднятия кряжа Зверева уступообразно понижается примерно на 500 м. В.В.Николаев с соавторами предполагает сдвиговую природу этого разлома. Согласно нашим структурным наблюдениям, для данного разлома характерно развитие многочисленных близвертикальных трещин, образующих связанные друг с другом характерные Х-образные

пересечения. На плоскостях трещин видны горизонтальные борозды со следами перемещения материала, которое может установлено при помощи наблюдений за смещением отдельных кварцевых прожилок. На левосдвиговую кинематику этого разлома указывает заложение небольшой впадины в верховьях р.Алдан, которая представляет собой полость растяжения, закономерно расположенную между двумя левыми сдвигами и является впадиной "pull-apart". Следует отметить, что ранее эта впадина приводилась в качестве доказательства проникновения рифтовых процессов на территорию Южной Якутии и выделялась в качестве "эмбриональной" рифтовой структуры [34].

Южно-Алданский разлом является северным ограничением Окурданской и Токариканской впадин. Он представляет собой прямолинейный вертикальный разлом, протяженностью 120 км, который сопровождается милонитизацией архейских пород, развальцеванием юрских песчаников и раннемеловых вулканитов. В.В.Николаев [34] определяет этот тип разлома как крутой взброс. Судя по прямолинейности разлома и его большой протяженности, нельзя исключать, что это также крупный молодой сдвиг.

3.2 СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ

Признаком активности любого разлома может служить приуроченность к нему сейсмопроявлений и дислокаций, образованных в результате воздействия сильных землетрясений на земную поверхность. Известно, что следы сильных землетрясений (современные и палеосейсмодислокации) часто сохраняются в рельефе длительное время (возможно тысячи лет) и могут свидетельствовать об активизации тектонических структур в том времени, к какому относится возраст этих дислокаций [35], а также существенно дополнять инструментальные наблюдения над местными землетрясениями [36]. Это позволяет более объективно оценивать сейсмическую опасность таких малообжитых и слабоизученных территорий, как Республика Саха (Якутия), где крупные сейсмические события происходят сравнительно редко. Сведения о сейсмодислокациях в пределах исследуемой территории весьма разрозненны, а большая их часть лишь поверхностно известна широкому кругу исследователей. Ранее на этой территории специальных работ по целенаправленным поискам таких структур не проводилось, за исключением

сейсмогеологических исследований нескольких сильных землетрясений, отмеченных в 1967–1989 гг. с магнитудой $M=6,5-7,0$ [37].

В начале 21-го столетия в процессе геолого-съёмочных работ и полевых наблюдений в зонах активных разломов, в особенности в связи с активным гражданским и промышленным строительством в Южной Якутии (нефтепровод ВСТО, железная дорога Сковородино-Якутск, проектирование Канкунской ГЭС, Эльконского ГОКа и др.) на юге РС (Я) был выявлен ряд отчетливо выраженных в рельефе сейсмодислокаций и сейсмопроявлений, по своей морфологии аналогичных структурам, которые были изучены В.П.Солоненко и его коллегами в Байкальской рифтовой зоне [19].

Так, в течение последних 4-х лет на основе анализа современных космо- и картографических материалов, результатов лазерного сканирования, данных сеймотектонических исследований с использованием тренчинга на Алданском щите выявлен молодой Чульмаканский разлом. Данные исследования были выполнены совместными усилиями ученых из Москвы (ИФЗ РАН, Институт динамики геосфер РАН), Иркутска (ИЗК СО РАН) и Якутска (ИГАБМ СО РАН) [39]. Сейсмичность данного района изучалась по наблюдениям Якутского Филиала Геофизической службы СО РАН.

Как известно, основным крупным тектоническим нарушением в Южной Якутии является субширотная система Станового краевого шва, служащая южной границей Сибирской платформы [37], [28]. К данной системе тяготеет большинство сильных землетрясений и вместе с отдельными опережающими разломами, развитыми к северу от его главной плоскости, формирует зону динамического влияния этого крупного (шириной 45–60 км при длине более 450 км) дизъюнктива. Именно пространственное положение Станового шва обусловило выделение зон возникновения крупных ожидаемых землетрясений (зон ВОЗ) субширотного простирания. По карте ОСР-97-В и С сейсмический потенциал самого Станового разлома соответствует появлению здесь катастрофических сейсмических событий с интенсивностью до 9–10 баллов (шкала MSK-64) при магнитуде $M = 6,5-7,0$ (шкала Рихтера) [39], а примыкающие и параллельные ему разломы, трассируемые на расстоянии в 60–100 км к северу от него, считаются способными вызвать землетрясения 7–8-балльной интенсивности ($M= 6,0-6,5$). К таким разломам относится система

Южноякутского надвига, по которому архейские кристаллические породы в южной части Алданского щита (кряж Зверева), затронутые мощными горизонтальными движениями Становой сутуры, были надвинуты на мезозойские отложения Чульманской предгорной впадины, сформированной в зоне влияния этого разлома[28]. Структурно-тектонические и тектонофизические исследования, проведенные на этой территории в течение XX столетия, указывали на угасание процессов тектонической активизации за пределами системы Южноякутского надвига, что выражалось практически в полном отсутствии признаков складчатых и разрывных деформаций угленосных толщ в северной части Чульманской впадины и отсутствии здесь закартированных активных разломов [28].

Однако, в ходе проведения детальных сейсмотектонических работ на территории Южной Якутии [38] вдоль нефтепровода ВСТО, сооруженного параллельно Амуро-Якутской автомагистрали, был изучен участок его трассы на переходе через р. Чульмакан (севернее пос. Чульман). Здесь был обнаружен молодой разрыв (рис. 3.2.1), образовавшийся при сильных доисторических землетрясениях (по предварительным оценкам произошедших несколько тысяч лет тому назад). Приразломный уступ (скарп) отчетливо следится на космических снимках восточнее Амуро-Якутской автомагистрали более чем на 15–25 км в направлении долины р. Тимптон по азимуту 70°, а детали его строения хорошо видны на рис. 3.2.2, выполненном по материалам лазерного сканирования (ЛС) [40].



Рис. 3.2.1 Чульмаканский тектонический уступ (показан стрелками). На переднем плане трасса нефтепровода ВСТО.

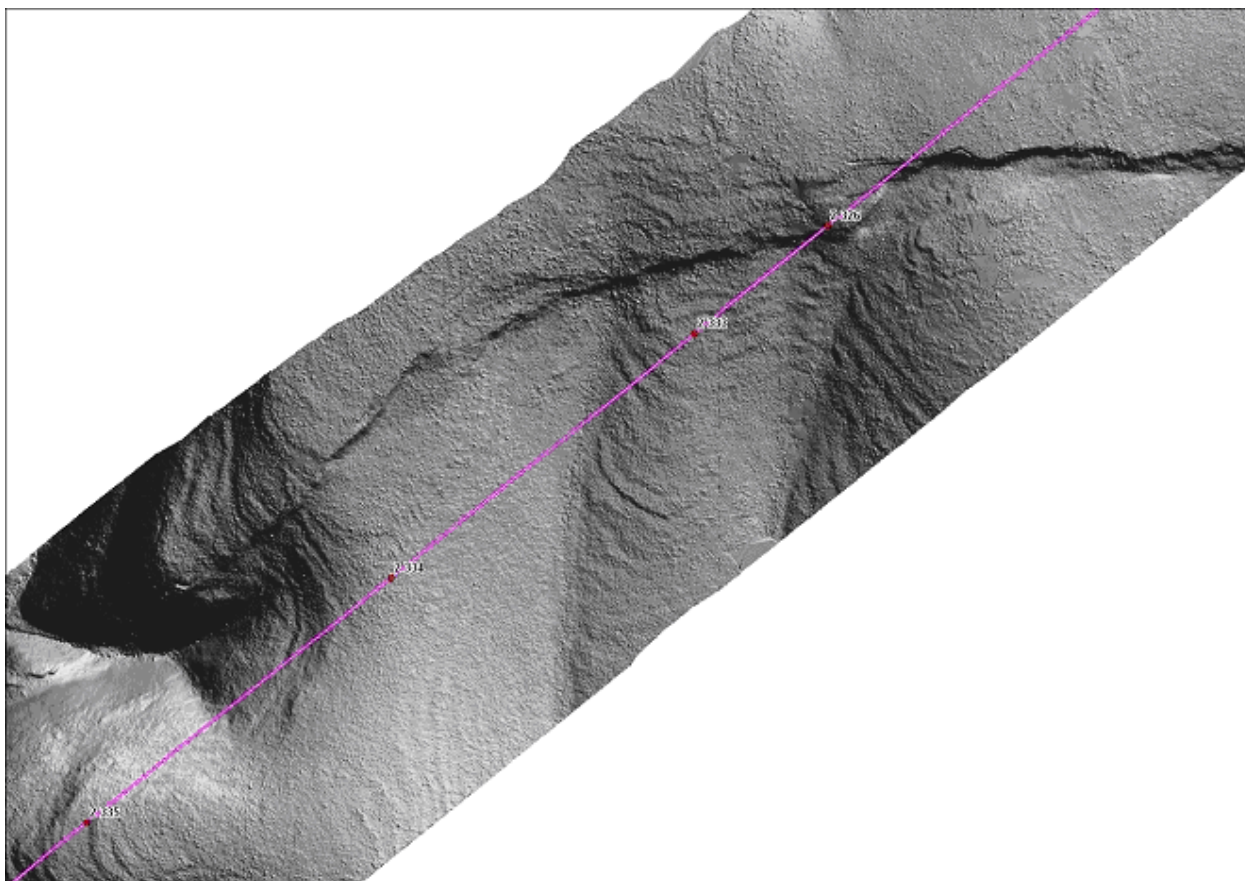


Рис. 3.2.2. Внешний вид Чульмаканского разлома по материалам лазерного сканирования.

Разлом проявляется в рельефе, как чрезвычайно ярко выраженный ступенеобразный уступ, нарушающий водораздельную поверхность, выработанную на близгоризонтально залегающей слоистой толще юрских угленосных отложений. Подробный анализ материалов космической съемки территории, прилегающей к трассе ВСТО, показывает, что за её пределами также имеются другие похожие активные разрывы, кулисообразно подставляющие Чульмаканский разлом в восточном и северо-восточном направлениях. Совместное рассмотрение проявлений сейсмичности за последние 50 лет инструментальных наблюдений, проведенных Якутским филиалом Геофизической Службы СО РАН [41], и пространственного положения выявленных деформаций земной коры (разломы 1–5 на рис. 3.2.3) показывает, что Чульмаканский разлом (1) и, возможно, продолжающий его к востоку разлом (2) на всем своём протяжении сопровождаются цепочкой эпицентров землетрясений небольшой интенсивности (энергетический класс землетрясений $K=7-9$), что подтверждает их современную тектоническую активность.

Прямые натурные наблюдения в зоне упомянутого дизъюнктива [38] выявили сбросовый характер движения по его плоскости разрыва, при этом опущенное юго-восточное крыло было смещено на юго-запад с незначительной левосдвиговой компонентой, составляющей 1,5–2,5 м. Вертикальное перемещение земной поверхности по сбросу в пределах участка, где трасса нефтепровода пересекает разлом, достигала 8–10,5 м. Если использовать графики зависимости максимального вертикального смещения D_{\max} от магнитуды землетрясения M_s и длины образовавшегося разлома на поверхности L , построенные на основе данных о современных сейсмогенных разрывах по мировой сейсмостатистике [42], то можно отметить, что параметры Чульмаканской дислокации (рис. 3.2.3, №1) по соотношению поверхностного разрыва ($L=15-25$ км) при сбросовой кинематике по этому максимальной подвижки ($D_{\max}=8-10,5$ м) и отмеченной протяженности разлому выходят за пределы огибающих на графиках (рис. 3.2.4). Из мировой практики известно, что 7-метровые вертикальные смещения чаще характерны для сбросов протяженностью не менее 25–35 км, а 10-метровые – для сбросов протяженностью не менее 45–55 км (табл. 3.2.1) [42]. Такое несоответствие

прослеженной на р. Чульмакан длины разлома и величины вертикальной подвижки, почти в 1,5–2 раза превышающее среднемировые данные по соотношениям этих параметров, дает основание предполагать, что, во-первых, рассматриваемый уступ возник в результате, скорее всего, двукратного или даже трехкратного сейсмического воздействия и, во-вторых, что вскрытый разрыв прослежен не по всей его длине.

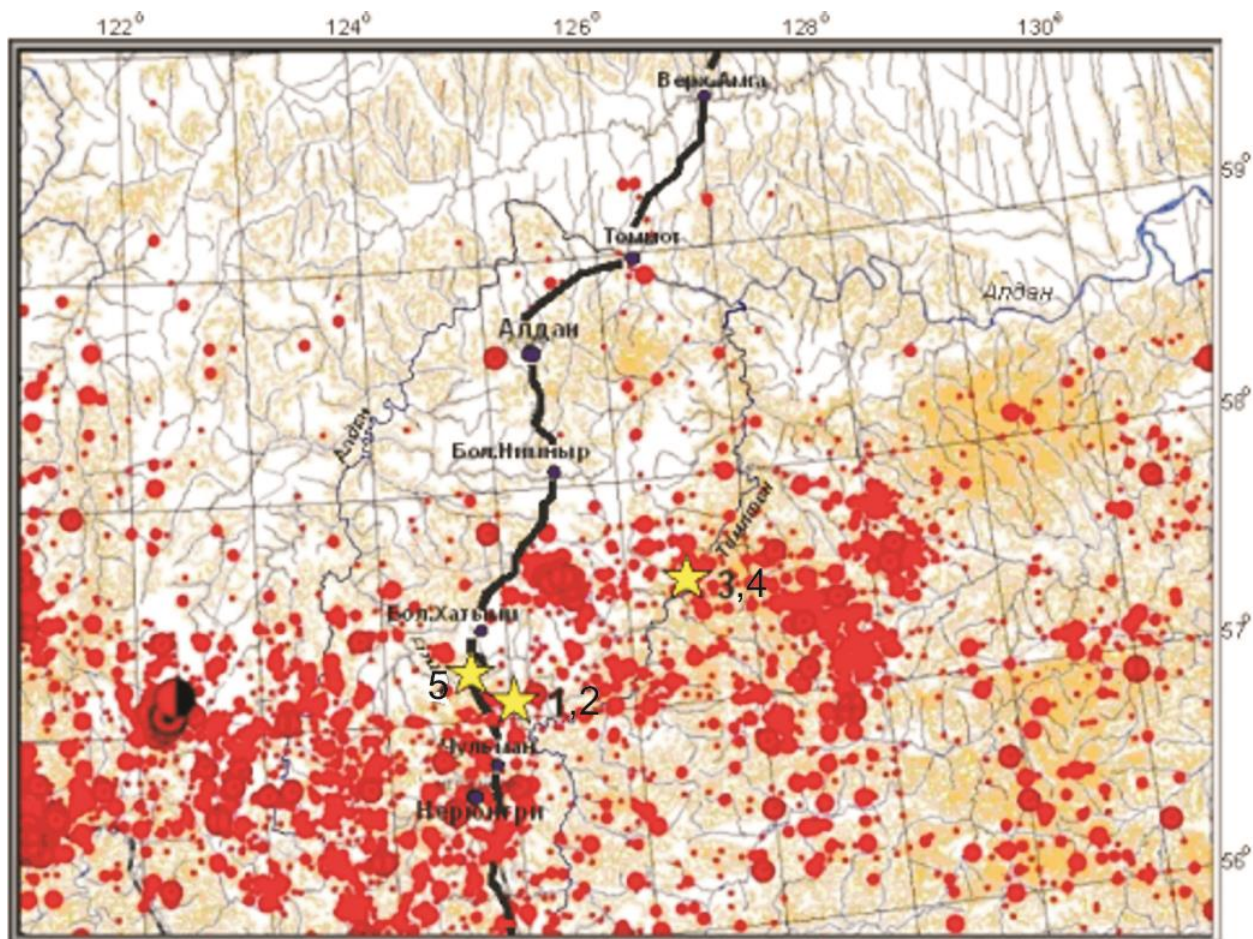


Рис. 3.2.3. Расположение выявленных сейсмодислокаций вблизи трассы Амуро-Якутской автомагистрали и ВСТО на фоне проявлений современной сейсмичности. Звёздами показаны сейсмодислокации: 1, 2 – Чульмаканские, 3, 4 – Тимптонские, 5 – Дурайская. Красным цветом обозначены эпицентры южнокотских землетрясений разной интенсивности.

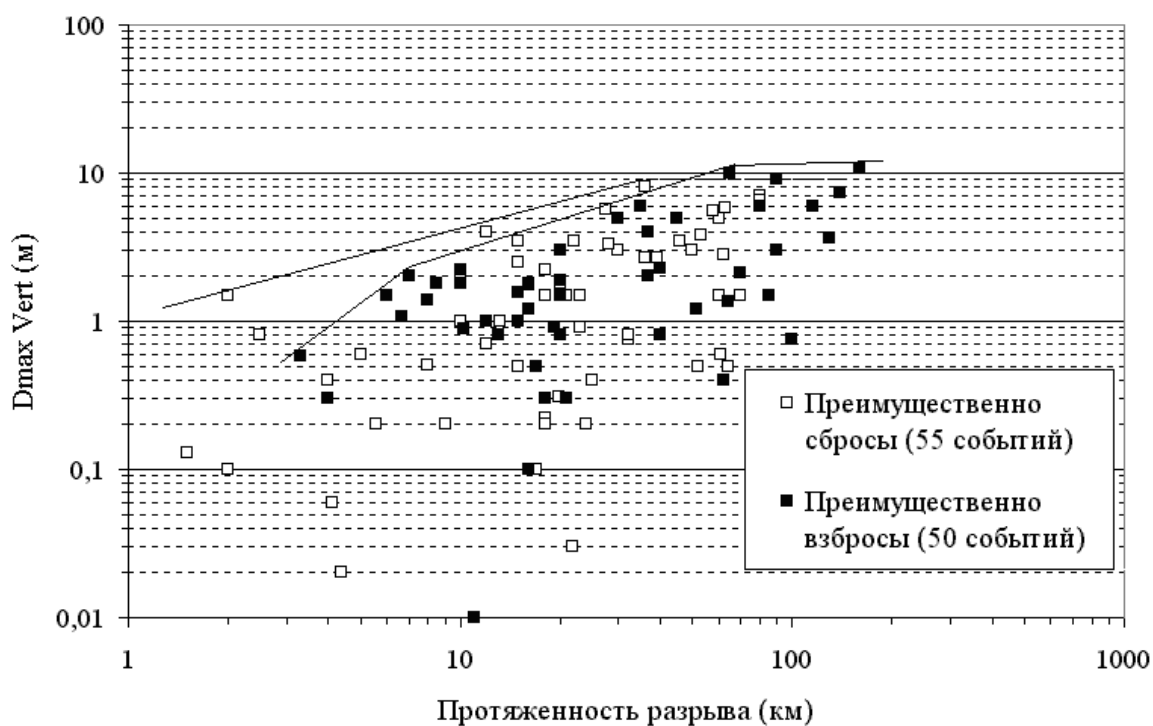
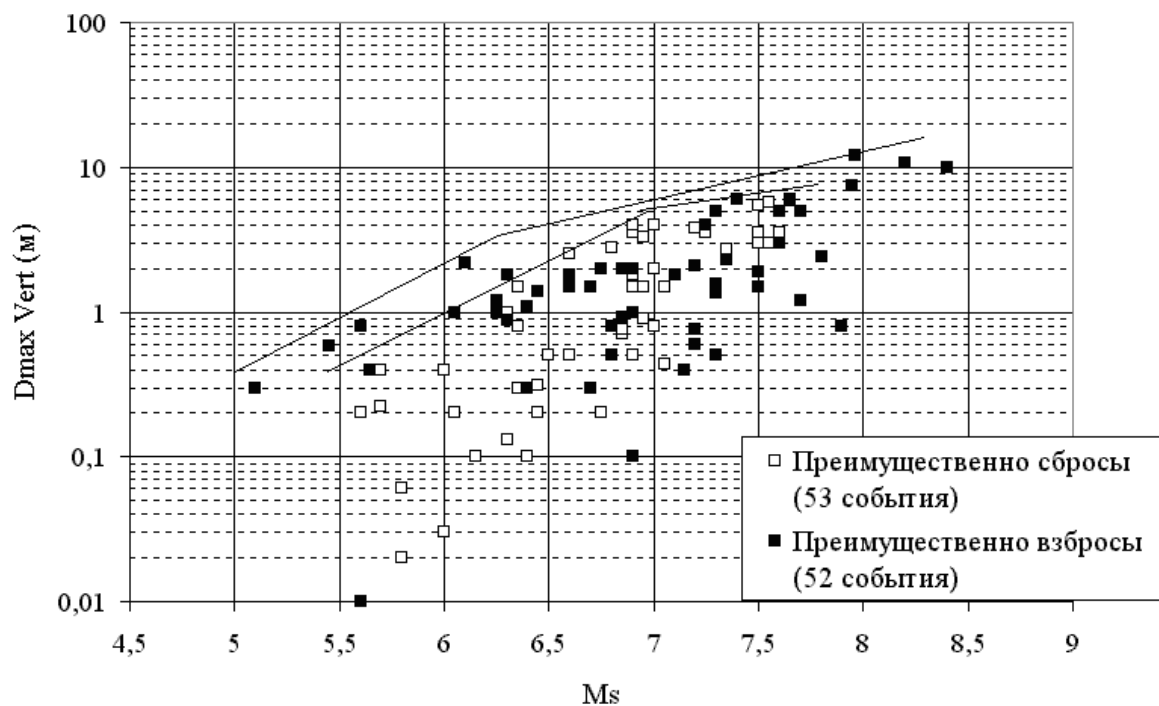


Рис. 3.2.4. Предельные значения максимального вертикального смещения в зависимости от магнитуды землетрясения (M_s) – для инструментально зарегистрированных событий и протяженности поверхностного разрыва. Точки соответствуют D_{max} при каждом из учтенных событий; огибающие – значениям D_{lim} .

Таблица 3.2.1

**Максимальные единовременные подвижки по разрывам при
сильных ($M > 6.0$) землетрясениях с преобладанием сбросовых смещений**

Дата	Страна (Район)	Магнитуда (M_s, w)	Длина разрыва (км)	Dmax (м) верт		Dmax (м) гор		Dmax (м) полная	
				Дост.	Возм.	Дост.	Возм.	Дост.	Возм.
1861.12.26	Греция		18	2.2					
1862.01.12	Байкал		36	8				8	
1872.03.26	Невада		80	7		5.4		8.4	11
1887.05.03	Мексика		80	6.5	7.8	6		8.5	
1894.04.27	Греция		60	1.5	1.8	0.6		1.5	1.8
1904.04.04	Болгария	7.5	30	3					
1915.10.03	Невада	7.7	63	5.8		2		5.9	
1927.07.11	Израиль	7.0	10	2				2	
1928.04.14	Болгария	6.8	64	0.5				0.5	
1928.01.06	Кения	7.0	28.1	3.3		0.3		3.3	
1928.04.18	Болгария	6.9	46	3.5	4			3.5	4
1932.01.30	Невада	7.2	61	0.6	1.2	0.87		0.87	2
1932.09.26	Греция	6.9	12	4		0.25		4	
1934.01.03	Китай	7.0	35	4		5			
1934.01.30	Невада	6.3	1.5	0.13				0.13	
1934.03.12	Юта	6.6	8	0.51				0.51	
1946.11.10	Перу	7.3	22	3.5				3.5	
1950.04.04	Прибайкалье	7.0	2.5	0.8		0.15		0.8	
1954.04.30	Греция	6.9	12	0.7	1			0.7	1
1954.07.06	Невада	6.5	19.8	0.31				0.31	
1954.08.24	Невада	6.9	32	0.75				0.75	
1954.12.16	Невада	7.2	53	3.8	7	2.9	4.2	5.26	7.64
1954.12.16	Невада	6.8	62	2.8	3.81		2.1	3.66	4.37
1957.06.27	Забайкалье	7.6	15	3.5	7.0	1.5		3.5	7.0
1959.08.18	Монтана	7.6	27.4	5.7	6.7			5.7	6.7
1966.03.20	Уганда	6.9	20	1.8				1.8	
1983.10.28	Айдахо	7.4	36	2.7	4	1	1.8	2.72	4

Дост. – достоверное, хорошо задокументированное смещение. Возм. – возможная величина смещения, превышающая достоверную, упомянутая при описании соответствующего землетрясения.

Изучение структурных особенностей рассматриваемой дислокации в месте пересечения нефтепроводом этого разлома было проведено на основе тренчинга (заложение траншей вкрест простирания разлома). Это позволило проследить строение молодых пролювиальных и коллювиальных склоновых отложений и контролирующих их активных дизъюнктивов меньших порядков, формирующих уступ и горизонтальную выровненную поверхность шириной до 250 м на южном склоне приводораздельной поверхности в виде заложившейся впадины типа «pull-apart», ограниченной разломами сбросо-сдвиговой кинематики встречной вергентности. Во время полевых работ было пройдено 4 траншеи глубиной 3,5–5,0 м при средней длине 15–25 м, расположенных на расстоянии 500–750 м друг от друга. Выполненный тренчинг [43] показал, что главная плоскость разлома, по которой происходит смещение приводораздельной поверхности вниз на юго-восток, имеет юго-восточные румбы падения, в то время как нижний сброс, ограничивающий эту ромбовидную присдвиговую впадину, имеет встречное северо-западное падение. Удачно выбранная канава вблизи нижней кромки этой приразломной впадины позволила однозначно определить величину и тип подвижки по активным разломам, вскрытым в траншее, а также проследить особенности деформаций молодых отложений и формирование обвальных захороненных склоновых отложений, подтверждающие импульсный (сейсмогенный) характер движения по прослеженным разрывным нарушениям (так называемые коллювиальные клинья). Выяснилось, что позднекайнозойские осадочные породы, вскрытые в пределах данной канавы, имели сравнительно высокую степень деформированности и наклон отдельных слоев до 12-18° в направлении на юго-восток (азимут падения 125°, при угле падения – 10–15°). Кроме того, эти слоистые глинисто-песчаниковые толщи с углистыми, алевролитовыми прослоями в верхних частях изученного разреза испытали мощные импульсные усилия в условиях, когда вмещающие толщи были еще слабо литифицированы и перенасыщены водой, что привело к формированию в них многочисленных форм выдавливания, выплескивания и инъекций в виде нептунических даек и конволюционно-подобных структур. По разломам, которые дешифрируются в данной траншее, устанавливаются сбросовые смещения, направленные в склон, навстречу плоскости главного разлома,

амплитуда по которым достигает 1,0–1,5 м. При пересечении верхнего, главного разлома следующей траншеей, устанавливается аналогичная предыдущей картина складчатых деформаций позднекайнозойских толщ, имеющих падение в юго-восточном направлении, но под несколько меньшим наклоном (азимут падения 130° , угол падения $5\text{--}10^\circ$). В главной траншее уверенно устанавливаются, по крайней мере, два крупных сброса с незначительной левосдвиговой компонентой, образовавшиеся, возможно, под воздействием двух или трех палеоземлетрясений. Если принять во внимание, что первоначально в упомянутой впадине «pull-apart» было горизонтальное отложение осадочных толщ, а сама впадина имела форму прямоугольника, то в дальнейшем в результате подвижек по ограничивающим её разломам, произошла деформация и перекашивание указанного блока пород. Это подтверждается характером взаимоотношения разрывных нарушений и смещаемых ими отдельных слоев, происходящих по типу листрических разломов, что позволяет ориентировочно оценить возраст выявленных палеособытий. По выполненным расчетам самое раннее землетрясение, вызвавшее названные тектонические деформации, могло ориентировочно возникнуть 3–5 тыс. лет, а последующее, второе землетрясение – 1,5–2,5 тыс. лет тому назад 37.

Обращает на себя внимание, что Чульмаканский разлом нарушает толщу угленосных отложений юрского возраста, залегающую близгоризонтально и не несет каких-либо признаков активных движений по самому разрыву за период между накоплением этих отложений и формированием уступа на современной водораздельной поверхности. Нет и каких-либо морфоструктурных признаков, указывающих на сколько-нибудь длительную историю движений по этому нарушению. Поэтому можно предположить, что в данном случае мы сталкиваемся с довольно редким явлением – новообразованным разломом, выраженный в рельефе уступ которого возник в результате 2–3 подвижек в позднечетвертичное время.

Учитывая отчетливо проявленную сбросо-сдвиговую кинематику нарушения и его сходство с молодыми сейсмогенными разломами Байкальской рифтовой зоны, нельзя исключать того, что Чульмаканский разлом мог возникнуть под влиянием левобокowego смещения, фрагменты которого

связаны с одной из последних импульсных подвижек в результате перемещения блока, ограниченного этим разломом, к северу. Если это действительно так, то придётся допустить, что на данном участке трассы ВСТО возможно формирование и других новообразованных разрывов.

Место пересечения Чульмаканского разлома с трассой ВСТО (~57,06°с.ш. и ~125,00°в.д.) тяготеет к участку кулисообразного сочленения разрывов, северный из которых, расположенный выше по склону, затухает в западном направлении, а южный, ниже лежащий – к востоку.

Это особенно заметно на рис. 7, где по материалам ЛС между названными разломами выделяются диагональные нарушения, оконтуривающие ромбовидный блок размерами примерно 200×300 м. Такой структурный рисунок свидетельствует о наличии здесь не только значительной вертикальной (сбросовой) компоненты смещений, но и существенно левосдвиговой составляющей горизонтальных движений, под воздействием которых этот небольшой блок трансформировался из прямоугольника в ромбовидное тело.

Результаты дешифрирования космоснимков и, в первую очередь, расшифровка материалов ЛС (рис. 3.2.2) также дали возможность оценить величину единовременной вертикальной подвижки и её возможную кинематику и сопоставить их с данными полевых исследований. Они близки по своим параметрам. Однако, при общей высоте уступа, достигающей 10,5 м, по данным ЛС выделяются следы двух вертикальных подвижек, более древняя из которых составила примерно 3 м, а последняя – 7–8 м. Левосдвиговая составляющая здесь оценивается, в первом приближении, величиной порядка 1–2 м. Вместе с тем, в результате сдвиговой деформации первоначальная прямоугольная форма рассматриваемого блока была преобразована в ромбическую, что способствовало удлинению кулис и соответственно превышению горизонтальной компоненты движения над вертикальной примерно в 5–10 раз. Оценить величину поперечного растяжения в настоящее время не представляется возможным.

Судя по величине наибольшей единовременной вертикальной подвижки (7–8 м), магнитуда землетрясения, при котором произошло такое смещение, как это следует из графика зависимости D_{\max} от M_s (рис. 9), могла составлять

примерно 7,0–7,5. Даже если принимать в качестве рекомендуемой расчетной для этого нарушения не максимальную подвижку, непосредственно фиксируемую в зоне разлома, а только 2/3 от неё, как это принято в мировой практике [44], то эта величина составит около 5 м, что соответствует по используемому графику воздействию землетрясения с $M=7,0$.

По аналогии с современными макросейсмическими проявлениями катастрофических южноякутских землетрясений в XX и начале XXI веков [37], [38], можно полагать, что в радиусе ~50 км от Чульмаканской дислокации интенсивность сотрясений должна была быть не менее 9 баллов, а ~120 км – не менее 8 баллов по шкале MSK-64.

Другим ярким проявлением деформаций земной коры, связанных с современными сейсмотектоническими процессами в районе исследования, является глубокая трещина растяжения, обнаруженная во время полевых работ в 2012–2013 гг. рядом с автомобильной дорогой федерального значения «Лена» между поселками Чульман и Бол. Хатыми (рис. 3.2.3, № 5) около мостового перехода через р. Дурай, впадающей слева в р. Унгра (приток р. Алдан). При этом она расположена рядом с отрезком трассы ВСТО между НПС № 18 на 2156 км и НПС № 19 на 2344 км.

Дислокация представляет протяженный ров длиной около километра. Его глубина достигает 2–5 м с раскрытием в верхней части рва до 3-6 м (рис. 3.2.5).

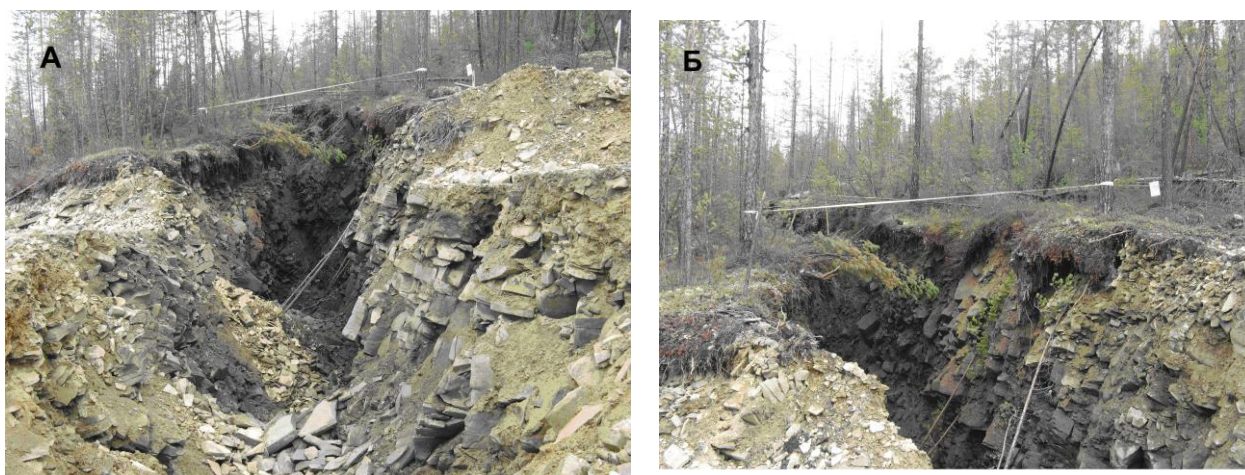


Рис. 3.2.5. Дурайская дислокация- ров. А – вид по центру, Б – вид сбоку.

Трещина (ров) ориентирована с северо-запада на юго-восток и пересекает второстепенную притрассовую дорогу вблизи моста через р. Дурай.

Примерные координаты данной дислокации соответствуют 57,22° с.ш. и 124,78 в.д. (точка 2 на рис. 3.2.6).

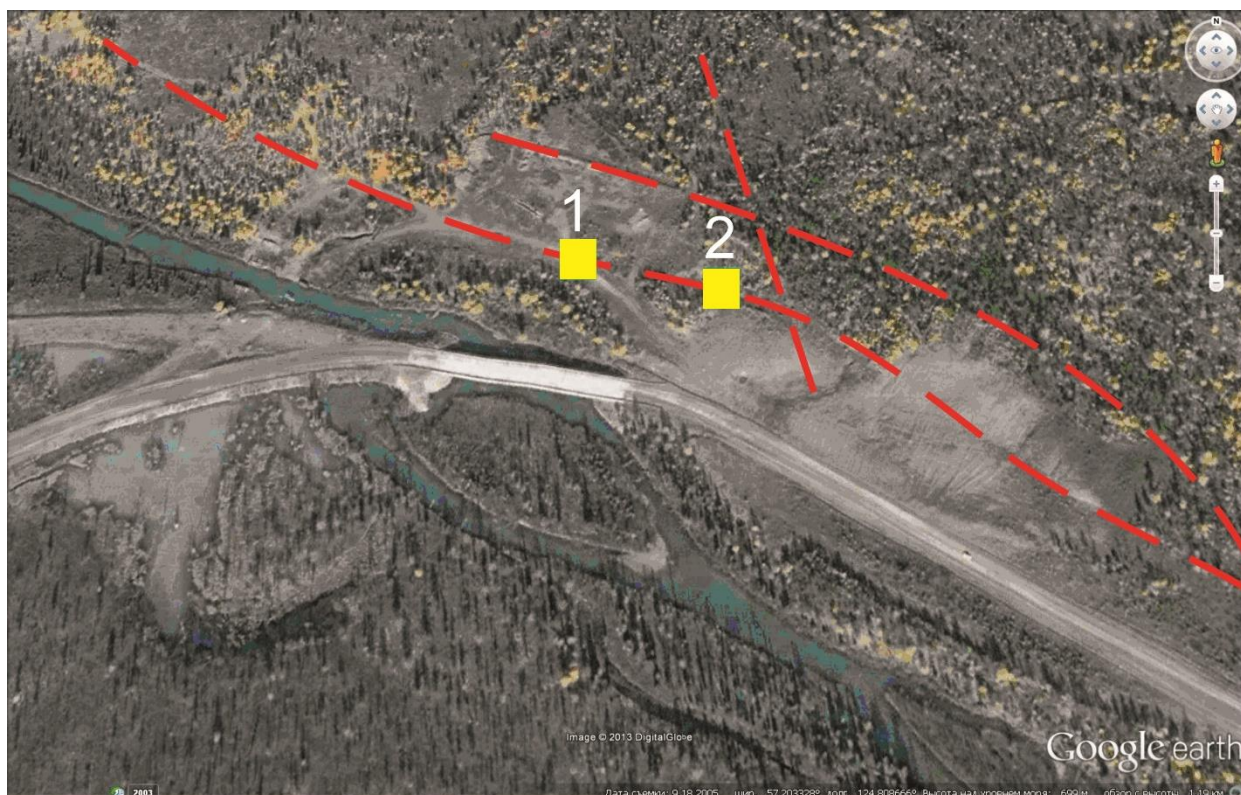


Рис. 3.2.6. Космоснимок района Дурайской сейсмодислокации – автодорожный мост через р. Дурай, приток р. Унгры (левый приток р. Алдан) на Федеральной автотрассе «Лена» между пос. Чульман и пос. Бол. Хатыми. Желтым квадратом показано месторасположение дислокации : 1 – рис. 3.2.7-Г, 2 – рис. 3.2.5-Б.

Активное влияние Дурайского разлома, к которому тяготеет данная дислокация, проявляется к юго-востоку вдоль второстепенной дороги по направлению к основной автотрассе. Это отчетливо фиксируется системой трещин растяжения длиной до 40-60 м (рис. 3.2.7).



Рис. 3.2.7 Распространение процессов трещинообразования вдоль притрассовой дороги около моста через р. Дурай. А – образование крупной канавы, секущей дорогу, Б – активное развитие системы трещин на полотне дороги (точка 2 на рис. 3.2.6).

Кроме того, существование зоны влияния Дурайского разлома подтверждается приспособлением к его трассе местной гидросети (рис. 3.2.8, А), что обусловлено ослабленной прочностью пород в зоне разлома, вызванной повышенной трещиноватостью субстрата. Кроме того, здесь же фиксируется присутствие многочисленных наледей (рис. 3.2.8, Б). Названный дизъюнктив является также сейсмоактивной структурой, где постоянно регистрируются местные землетрясения с энергетическим классом $K=6-10$. Среди них отмечено событие 24.04.2008 г. с $K=11$, имевшее в эпицентре интенсивность до 5-6 баллов. Эти фактические данные подтверждают современную активность Дурайского разлома и его повышенную сейсмическую опасность.



Рис. 3.2.8. Зона Дурайского разлома. А – русло ручья, приуроченного к его трассе, Б – там же наледные проявления.

Выявленные нарушения земной поверхности могут свидетельствовать, что кроме сейсмического воздействия здесь могут происходить явления «криппа» – медленной ползучести ослабленных грунтов без проявления землетрясений, что будет способствовать просадкам грунтов в районе трубопровода и вызывать его деформирование и разрывы.

Не меньшей активностью, чем Дурайская дислокация, обладает ещё один активный разлом, выделенный в 70 км к востоку от нефтепровода ВСТО. Он отчетливо диагностируется на космоснимке линией северо-западного простирания (рис. 3.2.9), которая пересекает долину р. Тимптон между створами планируемых Иджекской и Канкунской ГЭС. К нему приспособилось русло р. Курунг-Хонку (левый приток р. Тимптон), где разлом следует на 380 км к северо-западу, а его юго-восточный фланг на правом берегу Тимптона составляет почти 500 км. Разлом сейсмоактивен на всем протяжении (рис. 3.2.3, № 3). При этом, менее активен его северо-западный фланг, представленный группой местных подземных толчков с $K=6-9$, в то же время на юго-востоке отмечена высокая концентрация землетрясений с $K=6-12$. Самый ощутимый Усмунский толчок произошёл здесь 9 августа 1972 г. с $K=13$ и сотрясением в эпицентре до 6–7 баллов. Данное событие ощущалось на площади около 30 тыс. кв.км.

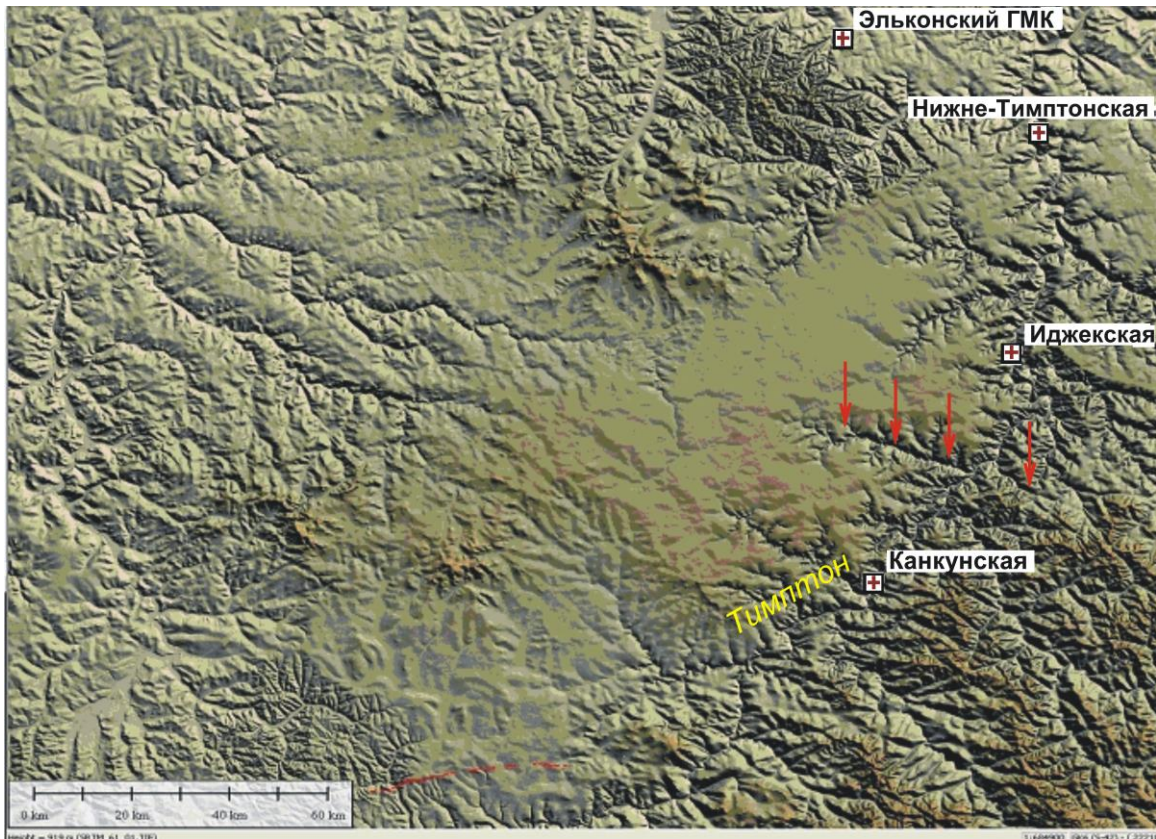


Рис. 3.2.9. Фрагмент космоснимка «Landsat» с линией активного разлома (показан стрелками) у слияния рек Тимптон и Нельгюу (между створами планируемых Иджекской и Канкунской ГЭС) на Алданском нагорье.

Наиболее наглядно рассматриваемый дизъюнктив представлен на рис. 16 для «Скалы Четыре Брата», расположенной в низовьях р. Нельгюу (правый приток р. Тимптон). Здесь разлом рассекает названную гору высотой свыше 1500 м с северо-запада на юго-восток и обозначен системой небольших ложбин (рис. 3.2.10).

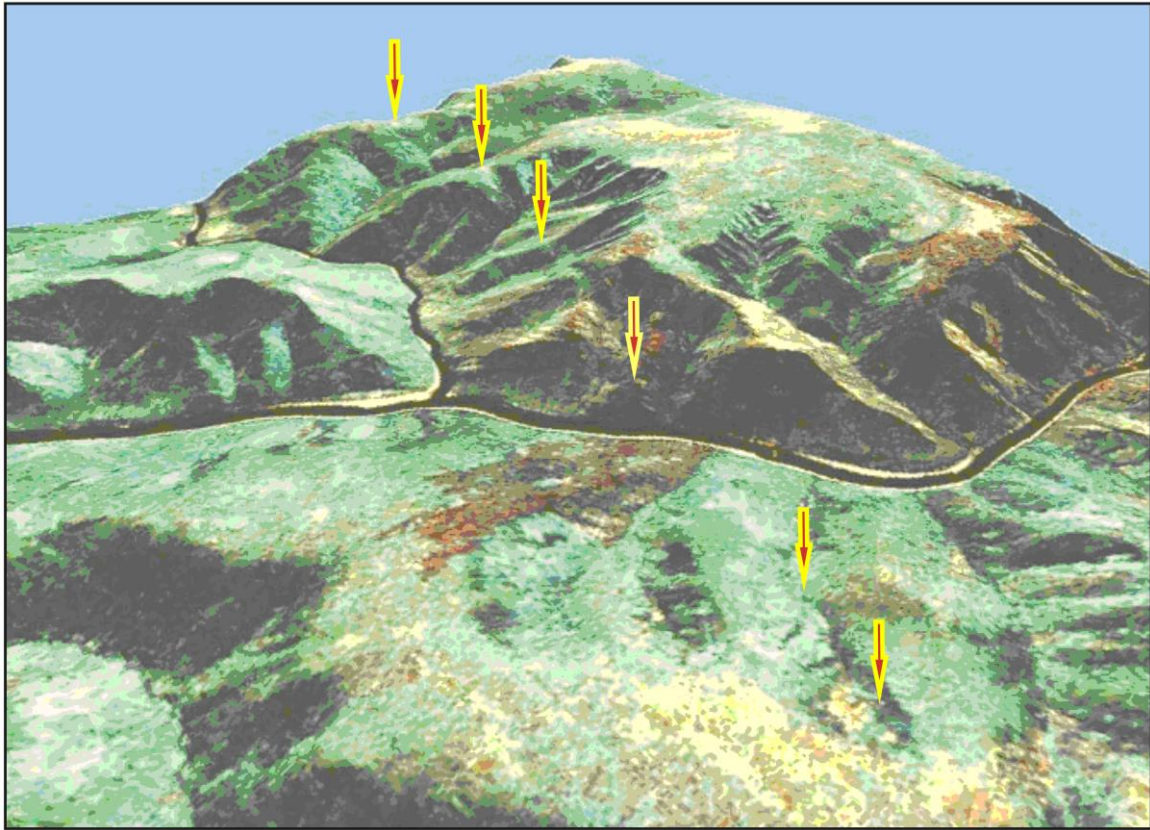


Рис. 3.2.10. Голоценовый разлом (стрелки) у слияния рек Тимптона и Нельгюу между створами планируемых Иджекской и Канкунской ГЭС. 3D–модель космоснимка Landsat и цифровой модели рельефа. Вид с северо-запада.

Прямолинейность разлома и его значительная протяженность позволяет предположить по нему кинематический тип подвижки, соответствующий сдвигу. Поэтому не исключено его развитие к юго-западу, где он будет пересекать трассу ВСТО и газопровода, представлять угрозу этому объекту.

3.3 СЕЙСМИЧНОСТЬ

3.3.1 СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ

Запись землетрясений на территории Якутии проводится цифровыми сейсмическими станциями Якутского Филиала Геофизической Службы СО РАН (рис. 3.3.1). В настоящее время на территории Якутии действует 24 сейсмические станции.

Центральной сейсмической станцией является станция «Якутск». Она оснащена комплексом «IRIS» Альбукеркской сейсмологической лаборатории (США) (Incorporated Research Institutions for Seismology – объединение исследовательских институтов в области сейсмологии). Этот комплекс аппаратуры состоит из 2-х главных подсистем: сейсмометры и 6-канальный регистратор высокого разрешения Quanterra Q330.

Сейсмометры установлены двух типов: 3-компонентные широкополосные STS-1 и 3-компонентные короткопериодные GS-13. Три компоненты широкополосного сигнала оцифровываются с частотой 20 отсчетов/сек, а три компоненты короткопериодного сигнала оцифровываются с частотой от 40 до 80 отсчетов/сек. Регистратор Quanterra Q330 располагается рядом с сейсмометрами в шахте на глубине 11 м. Он производит запись сейсмических сигналов в цифровой форме и выдает их через Internet 10 МБ/сек на дисплей для контроля в аналоговом виде (по желанию оператора) и дальнейшего анализа записей. Все данные станции «Якутск» передаются автоматически в Центр сбора данных в г. Обнинске.

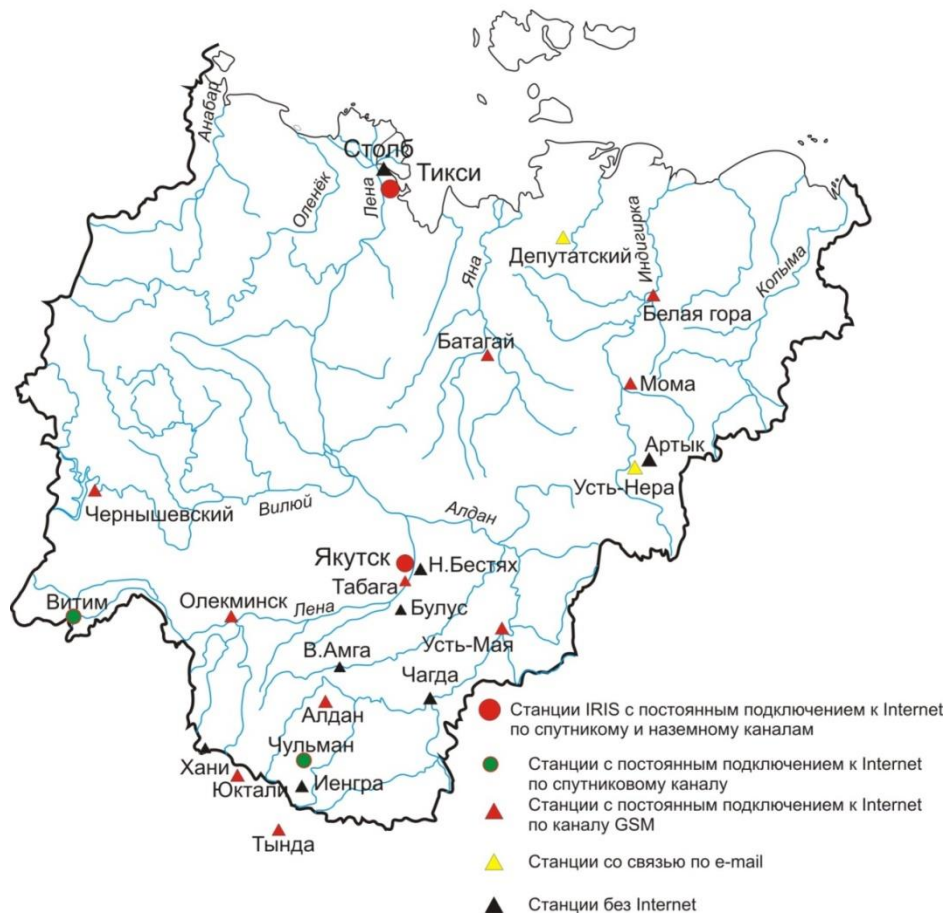


Рис. 3.3.1.1 Система инструментальных сейсмологических наблюдений Якутского филиала ГС СО РАН в 2016 г.

Вся сеть наблюдательных пунктов работает в настоящее время с использованием цифровой аппаратуры, при этом эксплуатируются приборы как отечественного (Байкал-11, Байкал 111 и 112, SMART-24 и SDAS с сейсмоприёмниками СМЗ-ОС, СМЗ-КВ и СКМ-3), так и зарубежного (IRIS, PAR-4CH, PAR-24B с сейсмоприёмниками KS-2000, STS-1 и GS-13) производства. Региональные сейсмические станции, оборудованные короткопериодными сейсмометрами, в большинстве своём обеспечивают записи близких землетрясений с оцифровкой сигналов с частотой от 50 до 100 отсчетов/сек, реже 20–50 отсчетов/сек в зависимости от условий регистрации и фона помех.

В настоящее время на территории Южной Якутии действует система сейсмических наблюдений Якутского Филиала Геофизической службы СО РАН, состоящая из 7 станций: Хани, Юктали, Чульман, Иенгра, Алдан, Чагда и

Тында с регистрацией землетрясений с помощью компьютера. На западе в соседней Байкальской рифтовой зоне расположена сеть сейсмических станций: Чара, Тупик, Средний Калар, Бодайбо, Неляты и др. Байкальского филиала ГС СО РАН. В Приамурье (Амурская область и Хабаровский край) действует следующая система наблюдений: Зея, Бомнак, Ясный, Кировский и др. Сахалинского филиала ГС СО РАН. Точность определения эпицентров соответствует классам "5", "10" и "25" км. Большинство эпицентров (до 80%) локализовано с точностью до 5 и 10 км, остальные - 25 км.

3.3.2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВО ВРЕМЕНИ

Распределение эпицентров южноякутских землетрясений рассматривалось на основе карты (рис. 3.3.2.1), где вдоль южной границы Сибирской платформы по данным инструментальных наблюдений (с начала 20 века) выявлен крупный Байкало-Становой сейсмический пояс (I), который располагается между оз.Байкал и Охотским морем. Он объединяет Байкальскую рифтовую зону (Ia) и продолжающую ее от р.Олекмы на восток к Удской губе Охотского моря Олекмо-Становую сейсмическую зону (Iб). Параллельно Олекмо-Становой зоне на 200 км южнее между 54° и 55° северной широты расположена Тугурингра-Джагдинская сейсмическая зона (II), которая протягивается из Монголии в субширотном направлении к Охотскому морю вдоль хребтов Тукурингра – Джагды – Сохтахан в Приамурье [37].

Названные две зоны Байкало-Станового пояса имеют разный сейсмический режим. Так, в Байкальской рифтовой зоне ежегодно происходит более 2000 землетрясений с энергетическим классом $K \geq 8$, в то время как в Олекмо-Становой зоне число таких событий в год не превышает 500. Наибольшая магнитуда M землетрясений в Байкальском рифте соответствовала величине 7,6–7,8 (Муйское землетрясение 1957 г. $M=7,6$ и Моготское землетрясение 1967 г. $M=7,8$).

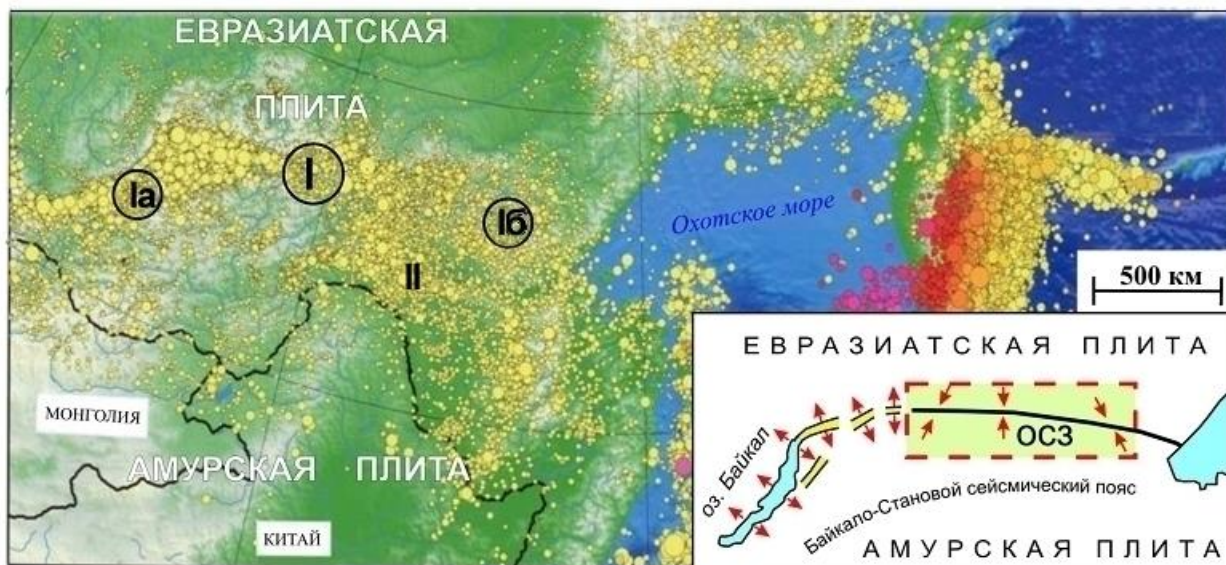


Рис. 3.3.2.1 Карта сейсмичности Байкало-Станового пояса. Эпицентры землетрясений:

I – Байкало-Станового пояса, Ia – Байкальского рифта, Ib – Олекмо – Становой зоны (ОСЗ), II – Тукурингра – Джагдинской зоны.

В Олекмо-Становой зоне значение магнитуды не превышало 7,0. (Тас-Юряхское землетрясение 1967 г. $M=7,0$).

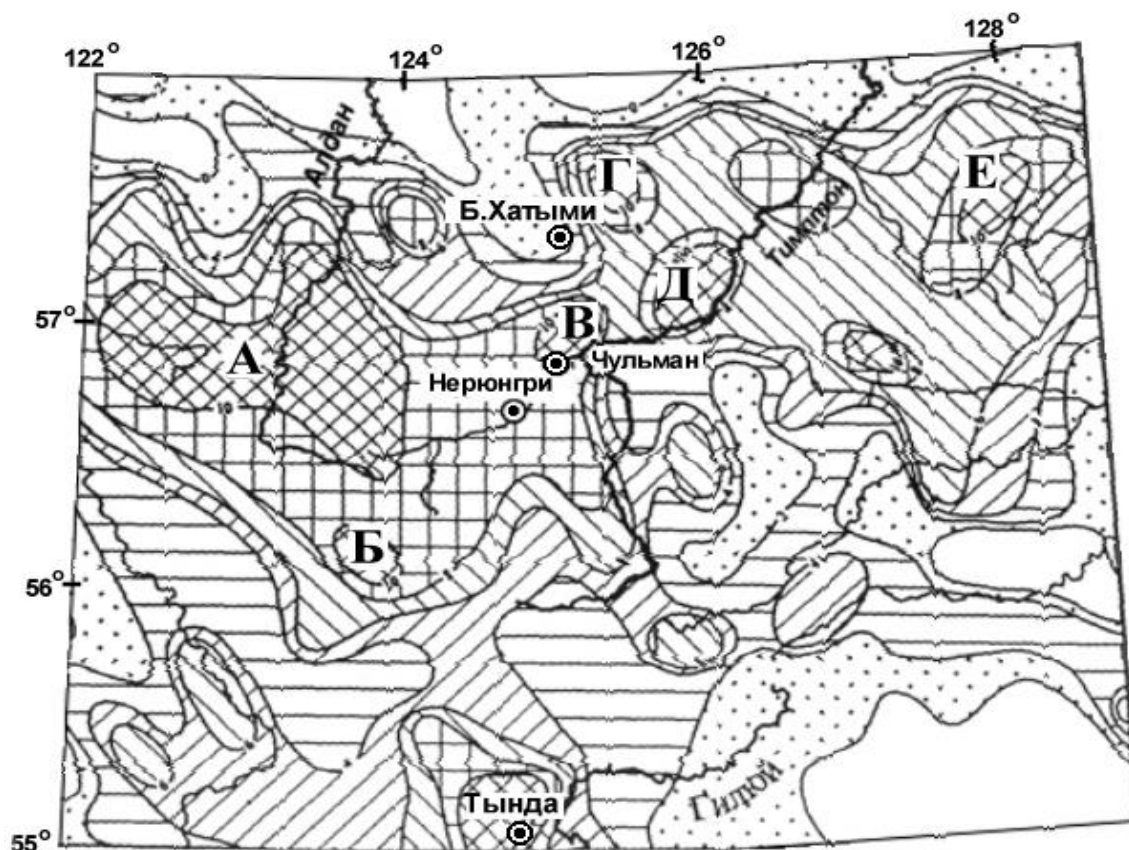


Рис. 3.3.2.2 Схема плотности эпицентров землетрясений в зоне расположения ВСТО на участке Б.Хатыми-Тында в пределах Олёкмо-Становой сейсмоструктурной зоны в Южной Якутии. 1-10 – изолинии плотности.

Максимумы плотности эпицентров: А – Южноякутский, Б – Ларбинский, В – Чульмаканский, Г – Эвотинский, Д – Тимптонский, Е – Суннагинский.

Самый активный участок относится к району Южно - Якутского землетрясения 1989 г. с $M=6,6$ (рис. 3.3.22, А), после которого отмечено около 6 тыс. афтершоков (5 из них имели магнитуду в интервале 4,0-6,0). Он расположен в пределах самого крупного максимума плотности эпицентров землетрясений, охватывающего верховья рек Тунгурчи и Алдана (10 и более).

На южных склонах Станового хребта к югу от истоков р.Алдан в верховьях р.Нижняя Ларба (бассейн р. Нюкжи) локализовано скопление эпицентров землетрясений (Б), возникшее при Ларбинском событии 1971 г. с магнитудой 5.9 (максимальная плотность 10).

На территории центральной части ОСЗ выделяется три крупных участка концентрации эпицентров землетрясений (плотность 10): (В) – Чульмаканский

максимум тяготеет к участкам Чульмаканской и Дурайской дислокаций, (Г)– Эвотинский максимум расположен в пределах поднятия хр. Западные Янги высотой до 1600 м (г. Эвота), (Д) – Тимптонский максимум, также приурочен к молодому разрывному нарушению, пересекающему бассейн р. Тимптон и (Е) – Суннагинский максимум тяготеет к хр. Суннагин в центре Алданского нагорья. Ему соответствует плотность эпицентров 8-10. Здесь, главным образом, зафиксировано значительное количество слабых землетрясений с $M \leq 3$ (около 20-30 в год).

По данным наблюдений близких станций (эпицентральное расстояние равно или больше 50 км) определялась глубина возникновения южно-якутских землетрясений, которая соответствовала интервалу 8–40 км. Наибольшая глубина местных подземных толчков составила в эпицентральной зоне Южно-Якутского землетрясения 1989 г. – 40 км. Анализ распределения глубин залегания очагов землетрясений в Олекмо-Становой сейсмической зоне показал, что все они располагаются выше подошвы земной коры, которая по оценкам разных исследователей находится здесь на глубине 40–60 км. Найденные значения глубин гипоцентров землетрясений приведены в табл. 3.3.2.1.

Таблица 3.3.2.1.

Глубина очагов землетрясений Олекмо-Становой сейсмической зоны

Район	Интервал глубин, км
Среднее течение р.Олекмы	(8-31) \pm 2
Олекмо-Чарское нагорье	(11-25) \pm 8
Становой хребет (Южно-Якутский надвиг, Чульманская депрессия, район Южно-Якутского землетрясения 1989 г.)	(20-30) \pm 10
Становой хребет (район Ларбинского землетрясения 1971 г.)	(8-23) \pm 5
Становой хребет (кряж	

Зверева, восточное окончание Чульманской впадины	(11-23)±5
Учурский район	(20-25)±10

На основе сейсмостатистических данных с начала века была рассчитана средняя повторяемость сильных землетрясений как в целом для всей ОСЗ, так и для отдельных ее районов. В целом, в пределах всей Олекмо-Становой зоны следует ожидать возникновения землетрясений с интенсивностью 7 баллов в эпицентре через 9 лет, 8 баллов – через 30 лет, 9 баллов – через 80 лет, 9-10 баллов – через 250 лет.

Территория Южной Якутии неоднократно подвергалась воздействию сильных землетрясений. К настоящему времени известны макросейсмические сведения только о немногим более 10 крупных сейсмических событиях, произошедших в XX и начале XXI столетий. Остановимся на землетрясениях, для которых были зафиксированы макросейсмические эффекты.

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

К одним из самых сильных землетрясений на юге Якутии относятся: Нюкжинское, Олёкминское, Тас-Юрахское в Олекминском поле, Чаруодинская, Южно-Якутское.

Нюкжинское землетрясение

Эпицентр одного из сильнейших на юге Якутии землетрясений, происшедшего, 5 января 1958 г., расположен в бассейне среднего течения р. Олекмы. Интенсивность в эпицентре составляла 9 баллов.

Плейстосейстовая зона толчка начинается в 1,5–2 км от устья р. Чебаркас (правый приток р. Олекмы) и тяготеет к трассе Имангрского разлома (система субширотного Станового краевого шва). По левому борту долины р. Чебаркас обнаружена трещина растяжения, проходящая параллельно склону по азимуту 25–30°. Ее замеренное максимальное зияние составляло 3,8 – 4,0, глубина – до 3 м. Трещина сопровождалась сложной сеткой оперяющих трещин растяжений без вертикального смещения и в редких случаях со смещением порядка 10 – 15 см. В самой долине и у подножья правого берега р. Чебаркас никаких деформаций не обнаружено. В верховьях ее первого притока

образовался сейсмогенный обвал объемом около 80 –100 км³. На остальной территории наблюдались мелкие камнепады [19].

Землетрясения сопровождались мощным гулом, напоминающим работу трактора. В ближайшем к эпицентру пос. Усть-Нюкжа (40 км) в помещении клуба лопнуло перекрытие потолка. В отдельных домах обрушились подполья, растрескались кирпичные печи и трубы. Во многих жилых помещениях падали с полок предметы, кусками обваливалась штукатурка, лопались стекла окон (7–8 баллов). Уровень воды в р. Олёкму поднялся с 5 до 9 января на 43 см. Нормальный уровень восстановился лишь 14 января. В 15 – 16 км к северу от пос. Усть-Нюкжа через р. Олекму протянулись три полосы битого льда. В пос. Чара (180 км к северо-западу от эпицентра) качались дома и деревья, ощущались повторные толчки. В пос. Средняя Олёкма (110 км к югу) при землетрясении в кирпичных печах образовались повреждения штукатурки [46].

Общая площадь ощутимых сотрясений составила примерно 800 – 900 тыс. км² (рис 3.3.2.3).

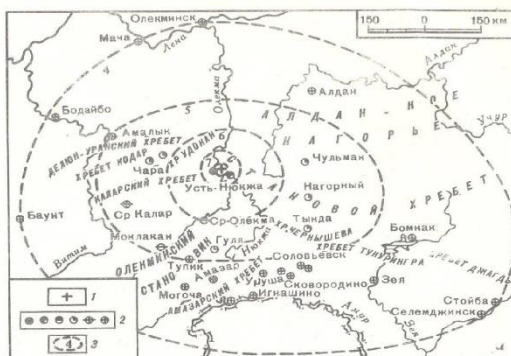


Рис. 3.3.2.3 Карта изосейст Нюкжинского землетрясения в среднем течении р. Олёкмы

1 – эпицентр толчка; 2 – интенсивность сотрясений соответственно в 8, 7, 6, 5, 4–5 и 4 балла; 3 – изолинии балльности [46].

Олекминское землетрясение.

Второе сильное землетрясение в бассейне среднего течения р. Олёкмы произошло 14 сентября 1958 г. Сила его в эпицентре достигала также 9 баллов. Эпицентральная область названного толчка находится на правом берегу р. Имангры (левого притока Олёкмы), в 17 км от ее устья. Здесь проходит трасса

Имангрского разлома (система краевого станового шва), который в момент толчка испытал фрагментарное омоложение на протяжении до 5 км. В плейстосейстовой зоне обнаружена протяженная (около 700 м), трещина, секущая в северо-западном направлении (азимут $300 - 310^0$) долину р. Имангры и представляющая собой оперяющую трещину сжатия. Около трещины в полосе шириной 40 – 60 м. отмечен массовый повал деревьев. Ниже по течени. От слияния рек Имангры и Илин-Сала (8 – 10 км) глыбовый материал тектонических седловин «встряхнут»; встречаются перевернутые или сдвинутые глыбы; разорвано моховое перекрытие, развитое по периферии днища седловин; в скальных бортах выбиты крупные монолиты (до 20 м^3). В пос. Усть-Нюкжа (40 км к востоку от эпицентра) был слышен низкий гул, шедший с северо-запада. Строение сильно раскачивалось, трещали стены и полы, в некоторых домах треснули печи, люди в испуге выскакивали на улицу. На обрывистых берегах р. Олекмы и ее притоках отмечены небольшие обвалы. В устье рек Имангры и Чебаркас были повалены деревья. Осыпи и обвалы на крутых берегах долины р. Имангры происходили в течении нескольких дней. В пос. Чара (180 км на северо-запад от эпицентра) большинство спящих жителей проснулись, многие выбегали из домов на улицу. Слышался треск полов, потолков и дверей. В пос. Горячие Ключи рядом с пос. Чара был слышен гул, надвигавшийся с юга-востока. Здесь в момент толчка в главном сероводородном источнике наблюдался грифон высотой до 20 – 25 см и выброс грязи. В г. Олёкминске (410 – 420 км к северо-западу) дома раскачивались и трещали, сильно растрескались печи капитальной постройки и осыпалась штукатурка[19].

Общая площадь ощутимых сотрясений – более 500 тыс. км². (рис. 3.3.2.4)

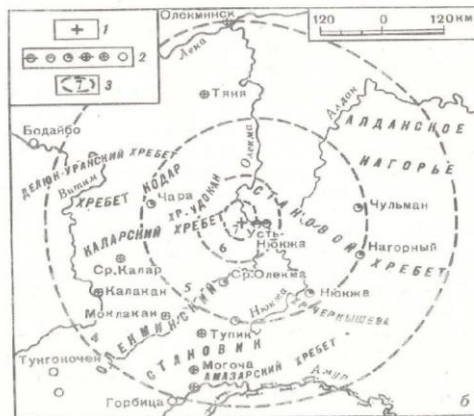


Рис. 3.3.2.4 Карта изосейст Олекминского землетрясения среднего течения р. Олёкмы: 1 – эпицентр толчка; 2 – интенсивность сотрясений соответственно в 8, 7, 6, 5, 4–5 и 4 балла не ощущались; 3 – изолинии балльности.

Тас-Юряхское землетрясение

После Муйского землетрясения 1957 г. Тас-Юряхское явилось крупнейшим сейсмическим событием в Сибири. Оно произошло 18 января 1857 г. 05 ч 34 мин по Гринвичу в междуречье двух притоков Олёкмы – Тас-Юряха и Дырынмакита. Магнитуда землетрясения – 7,0, энергия в очаге – примерно 10^{17} Дж.

Эпицентр землетрясения расположен на стыке восточного окончания тектонически активной Байкальской рифтовой системы (Чарская и Верхне-Каларская впадины с прилегающими горными сооружениями хребтов (Кода, Удокан, Калар), юго-западной окраины жестких структур Алданского щита и западного фланга Станового поднятия. Для этой территории характерно своеобразное сочетание морфоструктурных элементов, свойственных Байкальской и Становой зонам. Формирование здесь приразломных тектонических впадин с чертами рифтогенеза (Имангра-Чебаркас, Кудули, Хани и др.) происходит на фоне свободно-блоковых движений, присущих Становому поднятию. Вместе с тем район характеризуется сглаженными чертами рельефа, низкими контрастными и малыми градиентами скорости вертикальных тектонических движений [47]. Новейшая разрывная тектоника, по-видимому,

связана здесь с развитием крупных активизированных разломов типа Станового структурного шва, определяющего главные сеймотектонические особенности территории. Ориентировка местных морфоструктурных элементов в основном субширотная и северо-восточная, хотя имеются также структуры северо-западного и меридионального простираний. Участки пересечения этих главных структурных направлений и определяют высокую сейсмичность района среднего течения р. Олекмы.

Возникновение Тас-Юряхского землетрясения, по-видимому, связано с подвижками по одноименному сейсмогенному разлому, составляющему на левобережье р. Олёкмы совместно с Иманграским, Дырындинским и другими крупными дизъюнктивами западный фланг Станового субширотного шва [46]. Сила землетрясения в эпицентре достигала 9 – 10 баллов. Изосейсты 3 – 5 балла (рис. 3.3.2.5) вытянуты на юго-запад вкрест простирания геологических структур Становика, Удокана, Кодара и на восток – субширотно, вдоль Станового глубинного разлома. Изолинии 6–9 балла имеют субмеридиональное простирание.

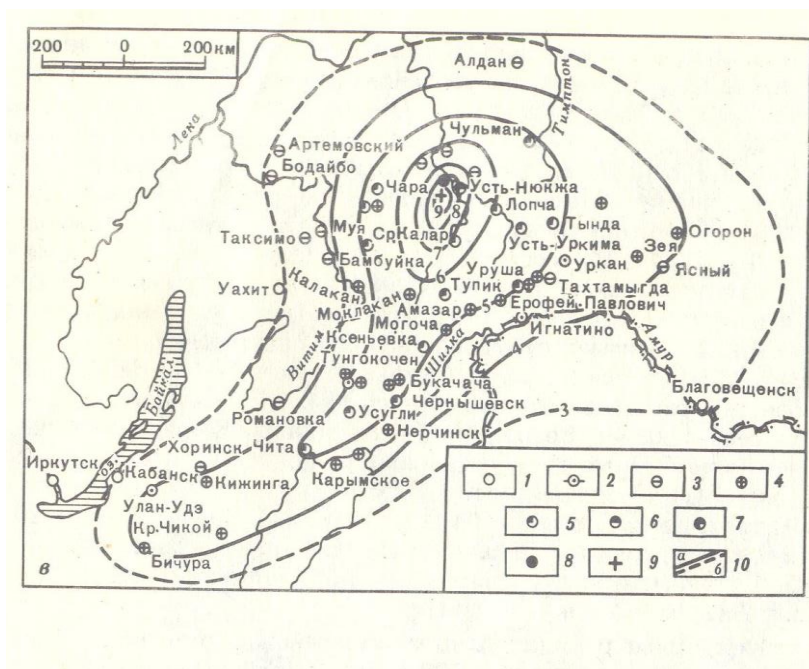


Рис. 3.3.2.5 Карта изосейст

Тас-Юряхского землетрясения в среднем течении р. Олёкмы [46] :1–8 – интенсивность сотрясений в баллах: 1 – не ощущалась; 2 – 2–3; 3 – 3; 4 – 4; 5 -

5; 6 – 6; 7 – 7; 8 – 8; 9 – эпицентр основного толчка; 10 – изолинии балльности :
а – уверенные; б – неуверенные.

Во время Тас-Юряхского землетрясения в поселке Усть-Нюкжа (36 км от эпицентра) раскачивались деревья и дома. От сильного сотрясения осыпался снег с крыш. Во многих домах появились трещины в печах и стенах. На реке Олёкме и её притоках Тас-Юрях, Имангра образовались полосы битого льда, прошли местные ледоходы. По данным метеостанции п. Усть-Нюкжа, на р. Олёкме наблюдался подъем воды на 20 см. В горах отмечены срывы почвенно-растительного покрова, повал леса, массовые каменные осыпи и оползни (рис. 3.3.2.6). Гул от землетрясения слышался в п. Усть-Нюкжа в течении полусуток.

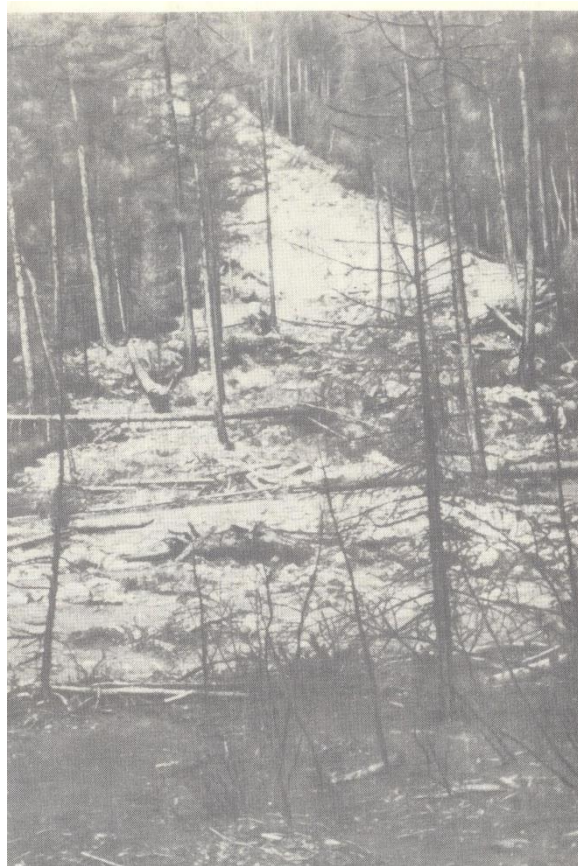


Рис. 3.3.2.6 Оползень в эпицентральной зоне Тас-Юряхского землетрясения (левобережье р. Тас-Юрях, притока р. Олёкмы). Площадь оползня 1000 м² (фото Б. М. Козьмина).

Это землетрясение ощущалось во многих районах Амурской, Читинской областей, Якутской, Бурятской АССР. В пос. Чульман отмечены 5-балльные эффекты этого землетрясения, в поселках Золотинка и Нагорный – 4-5-балльные, а г. Алдане на расстоянии 340 км от эпицентра – 3-балльные. С силой 5 баллов оно ощущалось в г. Чите в 700 км от эпицентра (рис. 3.3.2.5). Макросейсмические проявления наблюдались на площади около 1 млн. км². После каждого достаточно сильного землетрясения в его эпицентральной области обычно наблюдается серия повторных толчков – афтершоков, изучение которых является одним из основных источников сведений об очаге землетрясения и процессах, в нем происходящих. Особый интерес представляли записи афтершоков в первые дни после главного толчка. Были использованы материалы станций Якутской сети («Усть-Нюкжа», «Чульман») и Прибайкалья («Чара», «Калар», «Тупик»). Наиболее полные данные получены за период с 18 по 20 января 1967 г. Кроме того, после основного землетрясения в феврале-марте 1967 г. были организованы зимние полевые наблюдения с целью регистрации повторных толчков временными сейсмическими станциями. Таких пунктов было открыто два: «Тас-Юрях» и «Хани» с расстояниями до эпицентральной зоны 15 – 20 км и 50 – 60 км соответственно. Данные полевых наблюдений дополняли материалы стационарных сейсмических станций.

Всего в течении 25 февраля – 3 марта 1967 г. было зафиксировано 73 афтершока с энергией в очаге 10^6 Дж и выше. По наблюдениям самой близкой к эпицентральной зоне станции «Тас-Юрях» для 63 случаев были вычислены значения глубин очагов толчков.

В июле-августе 1967 г. полевые работы по изучению афтершоковой зоны были продолжены. В это период были установлены три станции: «Дырынмакит», ($\Delta = 2 - 10$ км от эпицентральной зоны), «Тас-Юрях» ($\Delta = 15 - 20$ км) и «Имангра» ($\Delta = 25 - 30$ км). В общей сложности во время регистрации удалось определить местоположение 95 афтершоков. Более надежно определились глубины очагов «летних» афтершоков, так как сейсмическая станция «Дырынмакит» находилась подчас над гипоцентрами повторных толчков.

Таким образом, для анализа поведения зоны афтершоков были получены инструментальные сведения за следующие периоды: 18 – 20 января, 25 февраля – 3 марта и 15 июля – 30 августа 1967г. По этим данным

составлены три схемы эпицентров повторных толчков (рис. 3.3.2.7, а, б, в), что позволило рассмотреть особенности формирования афтершоковой зоны Тас-Юряхского землетрясения. Так, на сейсмограммах сейсмической станции «Усть-Нюкжа» за 18 января 1967 г. имеются записи 310 повторных толчков.

На следующий день было отмечено что 151 повторных толчков, 20 января – 64 и 21 января – 97, в сумме за 4 дня произошло 622 события. За весь 1967 г. в районе Тас-Юряхского землетрясения было зарегистрировано около 1700 повторных толчков, т.е. за первые 4 дня произошла третья их часть. Последнее обстоятельство позволяет предположить, что вся зона афтершоков по площади и, вероятно, по глубине была практически сформирована за этот временной интервал. Подтверждением названному может служить схема пространственного распределения афтершоков за 18 – 20 января 1967 г. (рис. 3.3.2.7, а), где вся эпицентральная зона повторных толчков в сравнении с распределением по площади эпицентров за зимний и летний периоды полевых исследований 1967 г. (рис. 3.3.2.7, б, в) оказалась уже сформированной.

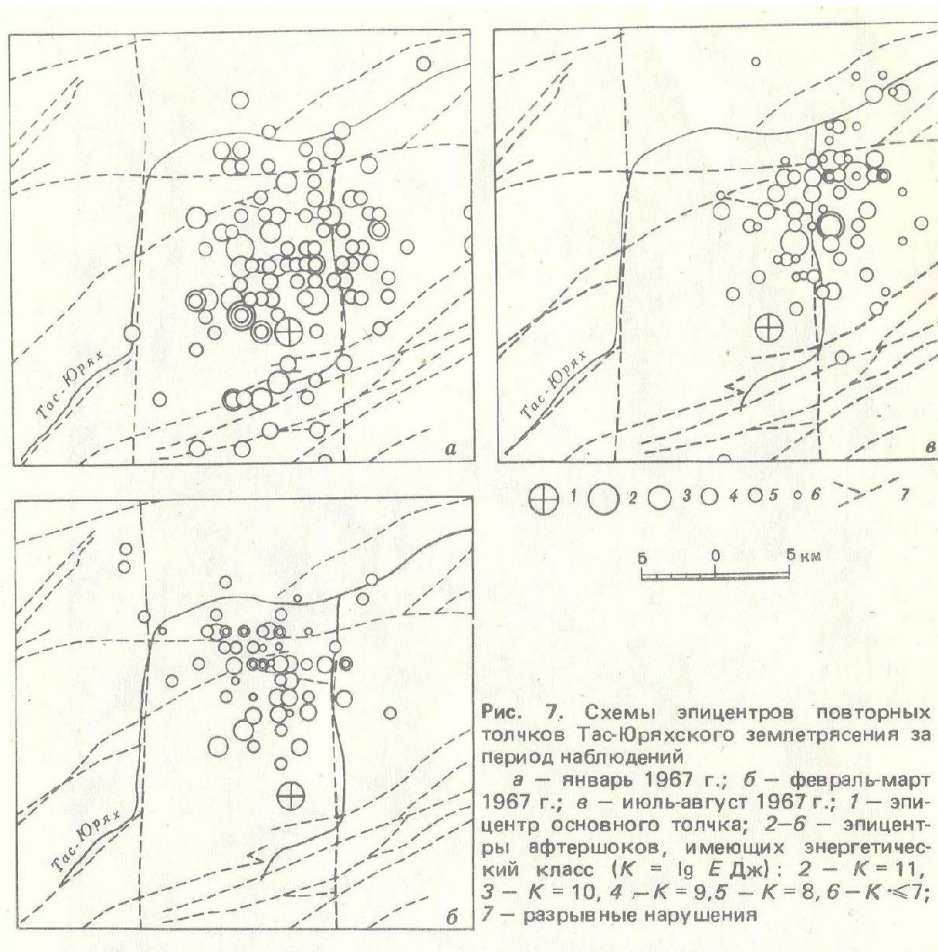


Рис. 3.3.2.7 Схемы эпицентров повторных толчков Тас-Юряхского землетрясения за период наблюдения: а – январь 1967 г.; б – февраль – март 1967 г.; 1 – эпицентр основной точка; 2 – 6 эпицентры афтершоков; имеющих энергетический класс ($K = \lg E$ Дж): 2 – $K=11$, 3 – $K=10$, 4 – $K=9,5$ – $K=8,6$ – $K \leq 7$; разрывные нарушения

Афтершоки образуют обычно вытянутую зону, в которой отношение наибольшей оси к наименьшей изменяется от 2 до 5 [48]. При этом большая ось зоны повторных толчков, как правило, направлена вдоль простирания местных геологических структур и примерно совпадает с разрывом, образовавшимся (обновившимся) в результате землетрясения. Главный толчок чаще находится не в центре этой зоны, а смещается к ее краю вдоль большой оси. В нашем случае повторные точки, происшедшие 18 – 20 января 1967 г., образовали вытянутую в северо-восточном направлении область, близкую к эллипсу. Отношение наибольшей оси этого эллипса к наименьшей составляет 2. Эпицентр главного толчка располагается почти по краю области, вблизи наибольшей ее оси, совпадающей с простиранием разломов в исследуемом районе.

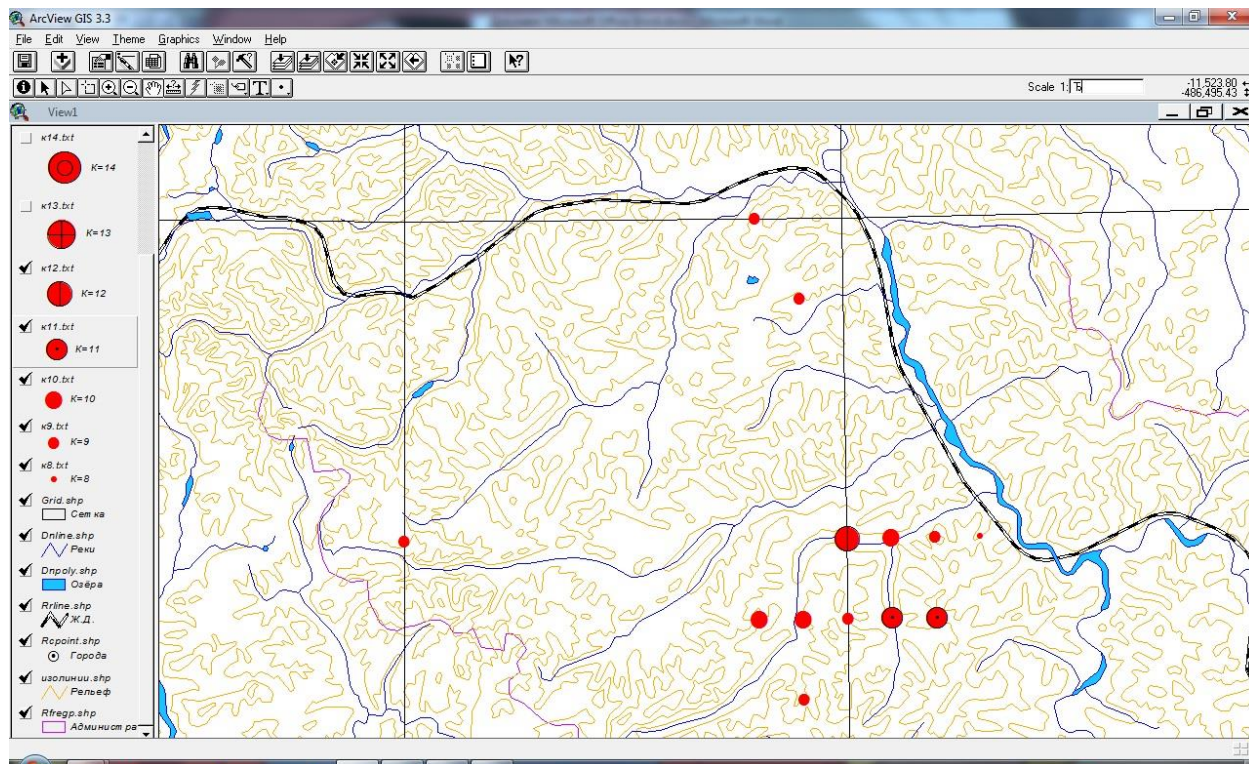


Рис. 3.3.2.8. Схемы эпицентров крупных повторных толчков Тас-Юряхского землетрясения за период 1967 –1968 гг. Черно-белой линией

показана БАМ, синим цветом – гидросеть, коричневым – рельеф, фиолетовым – административные границы РФ, а кругами разной величины соответственно их энергетическим классы. На данной схеме от 8 до 12.

При детальном изучении серий афтершоков Прибайкалья и Монголии было обнаружено, что в каждой отдельной серии повторный толчок наибольшей энергии всегда слабее главного толчка [49]. Для Прибайкалья эта разница (энергетическая ступень) составляет примерно 1,5 – 2 единицы магнитуды (M). Для афтершоков Ассамского землетрясения 1950 г. энергетическая ступень составила 1,5; для Калифорнийского 1952 г. – 1,3 – 1,4; для Чаткальского 1946 г. – 2. Для Тас-Юрхского землетрясения 1967 г. энергетическая ступень составила 2 (самый сильный афтершок отмечен 21 января в 05 час 11 мин по Гринвичус M=5).

Эпицентры афтершоков Тас-Юрхского землетрясения локализованы на площади S, равной примерно 800 км². Эта же величина S для названных толчков, найденная по формуле для Средней Азии составила 1000 км². Таким образом, фактическая и расчетная площади оказались близки по своим значениям друг к другу. Была оценена также длина зоны афтершоков, которая определялась как расстояние l от главного толчка до наиболее удаленного афтершока, лежащего вблизи большой оси зоны. Она составила 40 км.

Проанализируем распределение повторных толчков Тас-Юрхского землетрясения по площади, во времени и по глубине. В первые три дня после землетрясения афтершоки происходили к северо-северо-востоку от главного толчка, и как было указано выше, практически сформировали всю область по площади. Гипоцентры повторных толчков этого отрезка времени группировались в основном вблизи 5 – 10 и 10 – 15 км, т. е. на той же глубине, что и очаг основного толчка. Однако как видно из кривой распределения глубин афтершоков 18 – 20 января (рис. 3.3.2.7, в), здесь присутствовала также значительная зона очагов, отмеченных на глубинах 15 – 20 и 25 – 30 км. Этот факт позволяет считать, что в первые 3 – 4 дня эпицентрльная область повторных толчков сформировалась не только по площади, но и по глубине.

В период с 25 февраля по 3 марта эпицентры афтершоков группировались к северу от основного землетрясения, не пересекая при этом водораздел ручья Дырынмакит, правого притока р. Тас-Юрх (рис. 3.3.2.7, б).

По-видимому, «работала» в основном левая часть зоны афтершоков. Очаги землетрясений происходили здесь на большой глубине, нежели афтершоки в первый период наблюдений. Наибольшая их часть локализована в 15 – 20 км от поверхности Земли (рис. 3.3.2.9, б). Можно сказать, что зона как бы прорабатывалась по глубине.

Расположение летних эпицентров землетрясений обнаруживает совершенно иную картину. Все очаги афтершоков оказались смещенными к северо-востоку от главного толчка (рис. 3.3.2.7, в), причем подавляющая их часть произошла в долине р. Дырынмакит и на ее восточном борту. Глубины залегания гипоцентров повторных толчков уменьшилось до 5 – 10 км (рис. 5, 3.3.2.9, а) по сравнению с 15 – 20 км для зимних афтершоков.

Подводя итоги, можно прийти к следующим основным выводам: формирование эпицентральной зоны Тас-Юрхского землетрясения произошло сразу же после главного толчка в первые 3 – 4 дня, когда наблюдалось наибольшее число афтершоков, при этом подземные толчки происходили во всем ее объеме. По мере затухания сейсмической деятельности отмечалась миграция афтершоков по площади к краям зоны, а по глубине гипоцентры как бы «всплывали» с 25 – 30 км к земной поверхности.

Рассмотрим сейсмический режим эпицентральной области до и после землетрясения 18 января 1967 г. Изучение сейсмического режима, под которым подразумевается распределение землетрясений в пространстве и во времени и установление закономерностей, которым это распределение подчиняется, было проведено на локальном участке территории – в районе Северного Дырындинского хребта. Были доступны данные о сейсмичности названного района начиная с 1964 г.

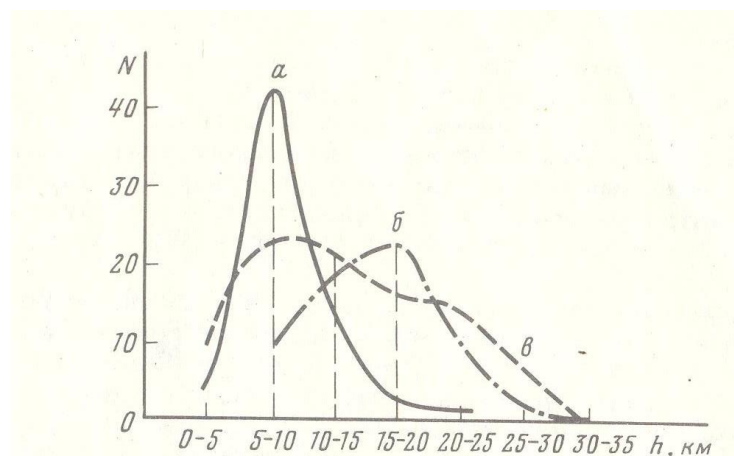


Рис. 3.3.2.9 Кривые распределения афтершоков Тас-Юряхского землетрясения по глубине их очага за период наблюдений

а – январь 1967 г.; б – февраль-март 1967 г.; в – июль-август 1967 г. По вертикальной оси показано количество зарегистрированных подземных толчков (N), а по горизонтальной – их глубина залегания (h)

Для изучения зависимости распределения числа землетрясений во времени было подсчитано количество толчков разных энергетических классов, начиная с $K=6$ в каждом квартале 1964 – 1969 гг. Принадлежность землетрясений с $K=6$ к району Северного Дырындинского хребта устанавливалась из условия равенства разности вступлений прямых поперечных и продольных сейсмических волн на сейсмограммах самой близкой к эпицентрам станции «Усть-Нюкжа» интервалу времени 2,5 – 4,8 с, а также по направлению на эпицентр, которое находилось по знакам первых вступлений волны Р. Местоположение землетрясений более высоких энергий ($K \geq 8$) надежно фиксировалось сетью Прибайкалья.

Распределение землетрясений с $K=6$ и 7 времени за период 1964–1969 гг. на рис. 3.3.2.10, а,б. Из него видно, что в течение 1964–1965 гг. число толчков 6-го и 7-го энергетических классов в каждом квартале различалось незначительно (с $K=6$ – около 20 – 25 и с $K=7$ – 5 – 10 толчков). В квартале 1966 г. появился «всплеск» землетрясений с $K=6$. Их количество резко увеличилось до 71, что примерно в три раза больше нормального фона 1964 – 1965 гг. Во II – IV кварталах 1966 г. число толчков стало меньше их среднего уровня. На фоне этого спада произошло главное землетрясение, в связи с чем количество сотрясений с $K=6$ резко возросло до 232 (рис. 3.3.2.10, а).

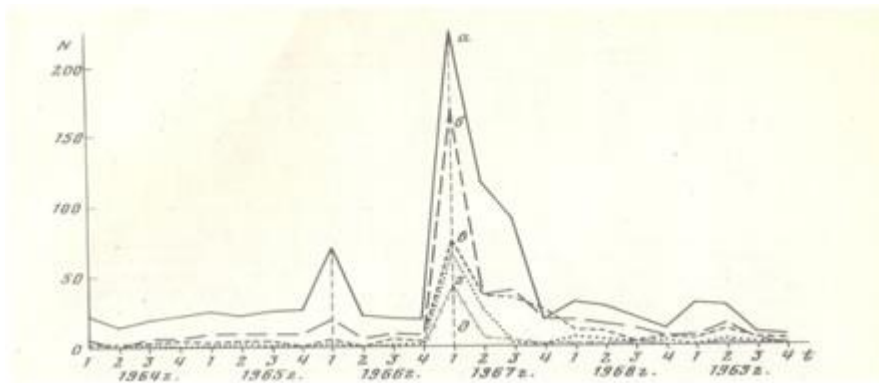


Рис. 3.3.2.10 Распределение числа землетрясений (N) северного Дырындинского хребта во времени (t) за период 1964-1969 гг. для энергетических классов (K): а – K=6, б – K=7; в – K=8; г – K=9; д – K=10

Аналогичная картина наблюдалась и для землетрясений 7-го энергетического класса, только увеличение уровня сейсмичности в первом квартале 1966 г. было выражено слабее (рис. 3.3.2.10, б). Он отличался от нормального в два раза. Указанная особенность, выявленная для слабых землетрясений, не проявляется для толчков с энергией $K \geq 8$ (рис. 3.3.2.10в, г, д). Нормальный сейсмический фон для толчков с $K \geq 10$ был наименьшим.

Таким образом, за 8 – 9 месяцев до Тас-Юряхского землетрясения в его эпицентральной области наблюдалось кратковременное возростания слабых толчков с $K=6-7$, а затем резкий спад уровня сейсмичности. При этом появления землетрясений с $K=8-9$ оставались на одном и том же уровне, а с $K \geq 10$ – практически прекратилась совсем. Это свидетельствует о том, что за некоторый промежуток времени до сильного землетрясения сейсмическая активность слабых толчков в районе будущего очага может существенно повышаться при последующем общем понижении уровня активности (периоде «затишья») для землетрясений всех энергетических классов. Повторение того факта (периоде «затишья») для землетрясений всех энергетических классов. Повторение такого факта в будущем позволяет видеть в этом один из путей прогноза сильных землетрясений.

Особенности развития сейсмического процесса перед Тас-Юряхским землетрясением были рассмотрены на основе графиков повторяемости землетрясений. Как известно, параметрами графика повторяемости землетрясений являются угловой коэффициент $\gamma = (\Delta \lg N / \Delta \lg E)$ и сейсмическая активность A_{10} , равная

числу землетрясений с энергией $K=10$ происшедших за один год на площади $S=1000 \text{ км}^2$. Для анализа сейсмического режима будет рассматриваться только угловой коэффициент графика повторяемости.

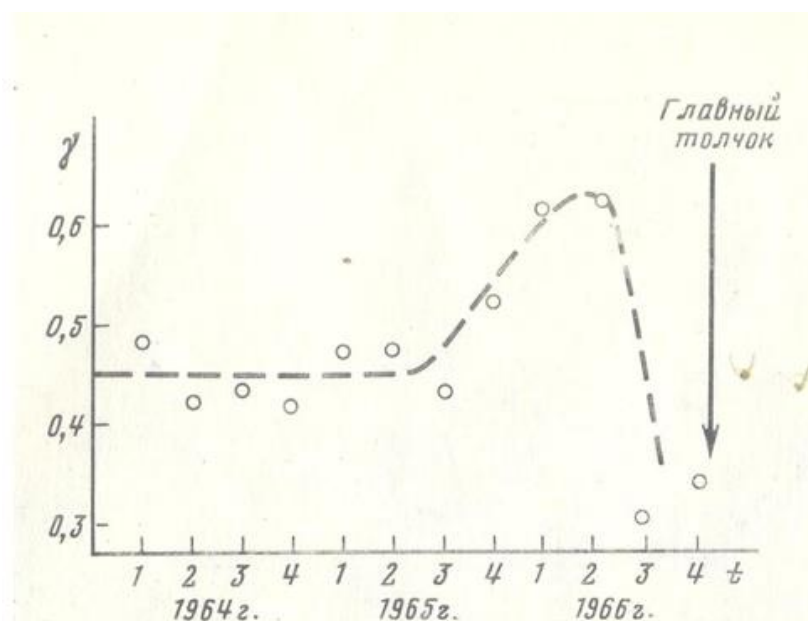


Рис. 3.3.2.11 Изменение γ квартальных графиков повторяемости во времени за период 1964–1969 гг. для района Северного Дырындинского хребта.

На первом этапе оп инструментальном материалам для каждых 3 месяцев 1964 –1966 гг. были построены индивидуальные графики повторяемости, на втором – рассмотрено изменение изменение квартальных графиков повторяемости во времени (рис. 3.3.2.11). Для первого и второго кварталов 1966 г. выявилось увеличение наклонов графиков повторяемости до значений $\gamma = -0,62 \pm 0,04$ по сравнению с нормальным сейсмическим фоном – $(0,42 - 0,48) \pm 0,03$ в течение 1964 – 1965 гг. В дальнейшем величина γ резко уменьшается до – $(0,3-0,35) \pm 0,04$ и такой уровень сохраняется до момента возникновения самого землетрясения.

Подобный же вывод был сделан при изучении процессов, связанных с горными ударами, которые часто происходят с провышенной активности более слабых толчков, но непосредственно перед крупным ударом большинстве случаев отмечается период относительного молчания. Наклон прямой грфиков повторяемости γ перед горным ударом также уменьшается [50].

В 1950 г. Гармском сейсмоактивном районе были представлены сейсмоакустические наблюдения в некоторых эпицентральных зонах сильных

землетрясений, которые позволили обнаружить проявления сейсмической деятельности перед основным толчком, аналогично только что описанным. Например, за час до Тавиль-Даринского землетрясения 22 ноября 1950 г. было зарегистрировано большое количество сейсмошумов, которые перед самым толчком полностью прекратились.

Выявленные факты указывают на одно из направлений исследований, проведение которых необходимо при решении задач по прогнозу времени сильных землетрясений.

Южно-Якутское землетрясение

20 апреля 1989 г. с $M=6,6$ было изучено довольно детально. Интенсивность землетрясения в его плейстосейстовой (эпицентральной) зоне не превышала 8 баллов. Оно является одним из крупных сейсмических событий, произошедших на территории Южной Якутии за последние 45 лет. Глубина данного толчка составила 27 км, что существенно больше среднего значения глубины очагов (10–15 км) для землетрясений Южной Якутии в целом. Землетрясение было приурочено к мезозойской Чульманской впадине и локализовано в бассейне среднего течения р.Тунгурчи (правом притоке р.Олекмы). Его макроэффекты наблюдались на значительной части территории, включающий водораздельное пространство между реками Лена и Амур в пределах Южной и Центральной Якутии, севере Бурятии, Иркутской, Читинской и Амурской областях. Общая площадь ощутимых сотрясений (2–3 балла и больше) составила около 1,5 млн. км². На основе макросейсмических проявлений была составлена карта изосейст (рис. 3.3.2.12, А), где показаны макросейсмические эффекты из 201 населенного пункта, в которых проявилось данное событие. Территория в радиусе около 100 км. от эпицентра Южно-Якутского землетрясения многократно подвергалась воздействиям его афтершоков [51].

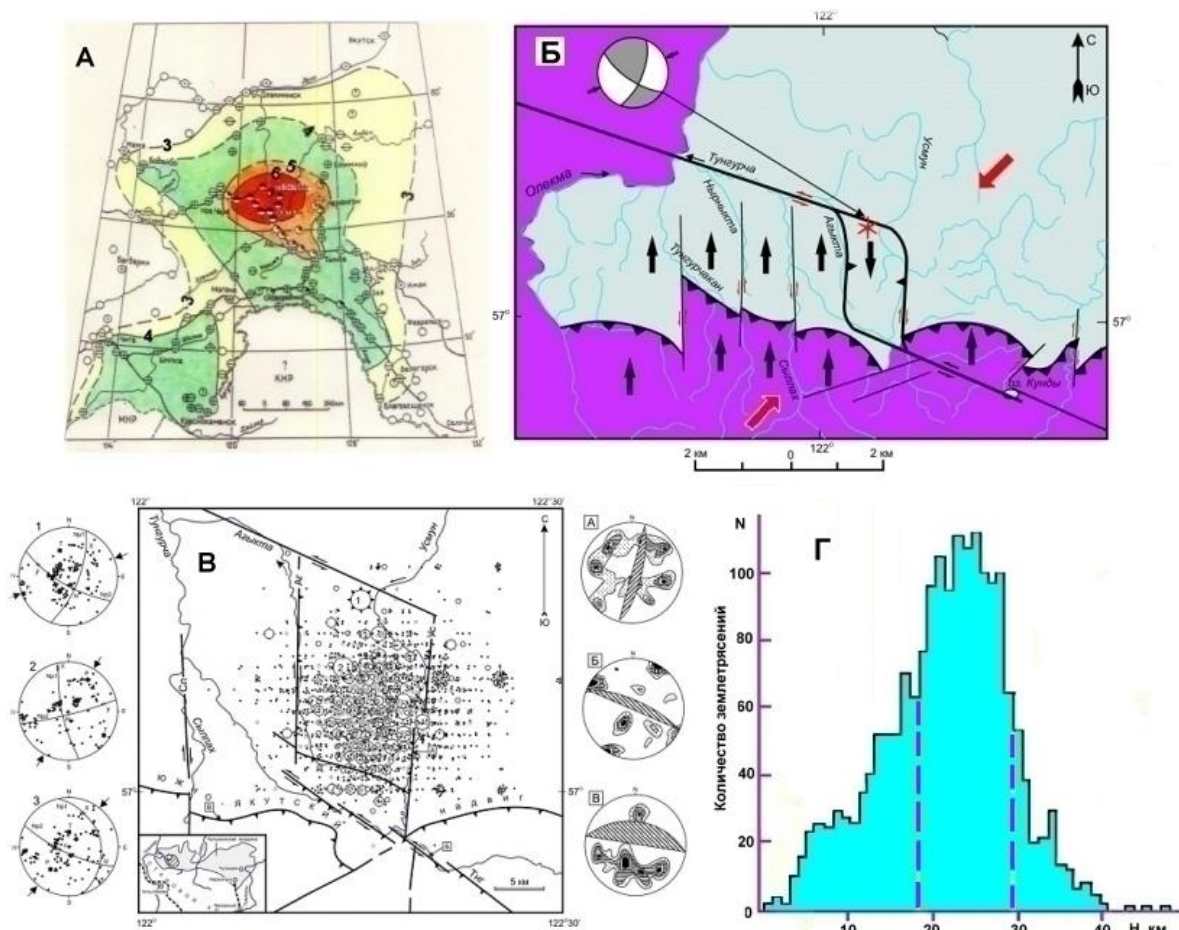


Рис. 3.3.2.12. Характеристика Южно-Якутского землетрясения 1989 г. в Чульманской впадине [51]. А – схема изосейст, Б – современный тектонический план эпицентральной зоны, В – карта афтершоков (вне рисунка слева – решения фокальных механизмов главного толчка и его афтершоков, справа – стереограммы трещиноватости горных пород в зонах активных разломов). Г – распределение глубин гипоцентров повторных толчков. (Врезка– положение области афтершоков внутри Чульманской впадины),

Распределение афтершоков Южно-Якутского землетрясения в пространстве и времени. В первые сутки после Южно-Якутского землетрясения действующей сетью стационарных станций было зарегистрировано 262 повторных толчка с энергетическим классом $K=7-13$, во вторые – 107, в третьи – 55. Эпицентральная область афтершоков полностью сформировалась за 1,5 месяца после основного события. Она была локализована на правом берегу реки Тунгурчи (правый приток р.Олекмы) вблизи южной границы Чульманской впадины со Становой складчатой

областью (рис. 3.3.2.13). Следует отметить, что область повторных толчков имеет изометрическую форму, а ее площадь составляет около 450 кв.км. Максимальное скопление эпицентров землетрясений приходится на водораздел Усмун и Агыкты (правые притоки р.Тунгурчи), сюда же тяготеют все сильные афтершоки с $K > 10$.

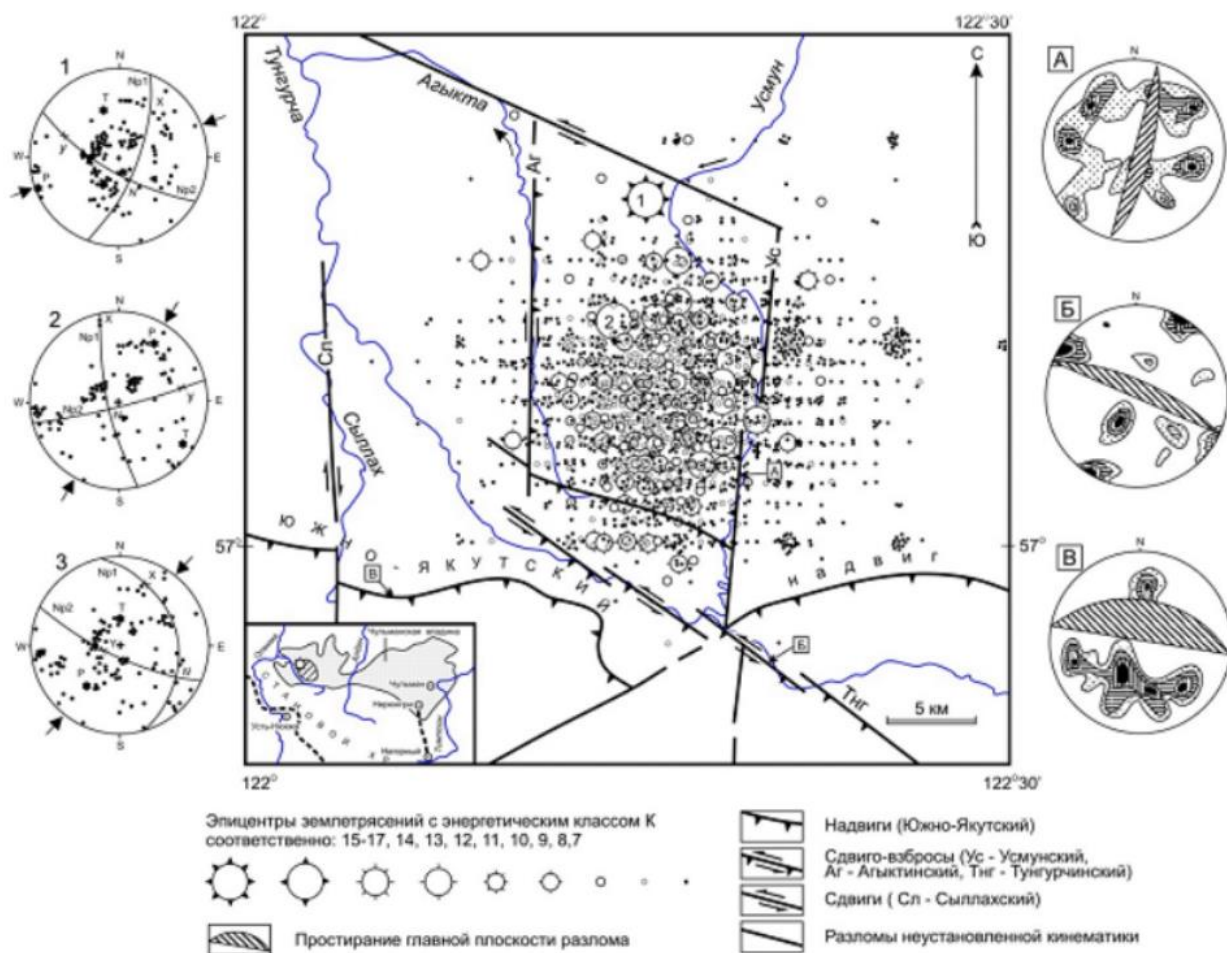


Рис. 3.3.2.13 Схема размещения эпицентров главного толчка Южно-Якутского землетрясения и его афтершоков в пространстве. Во вставке (внизу слева) обозначена Чульманская впадина и положение в ней области афтершоков. Слева за рамкой рисунка приведены стереограммы фокальных механизмов: №1 в окружности на рисунке - основного события 20.04.1989 г., №2 - афтершока 29.04.1989 г., №3 - афтершока 17.05.1989 г.; справа даны диаграммы трещиноватости горных пород, которые обозначены вне и внутри

рисунка буквами (А-В) для зон влияния разломов: А – Усмунского сдвиго-взброса, Б – Тунгурчинского сдвиго-взброса, В – Южно-Якутского надвига.

Анализ проявлений повторных толчков после Южно-Якутского землетрясения во времени показывает, что затухание сейсмического процесса происходило экспоненциально. Эта тенденция нарушалась отдельными вспышками активности, которые были отмечены после пяти сильных афтершоков 21, 24, 29 апреля, 7 и 17 мая 1989г. За каждым из них следовала своя серия повторных толчков. Наиболее крупная последовательность наблюдалась после события 17 мая, когда за 10 дней было зарегистрировано 565 афтершоков, что составило 16% от их общего числа. Большая часть сейсмической энергии (99%) высвободилась при Южно-Якутском землетрясении в течении апреля-мая 1989г. и лишь 1% пришелся на остальной временной интервал.

В целом, с 20 апреля по конец 1989 г. были определены координаты 3480 афтершоков.

Чаруодинский рой землетрясений 2005 г.

Чаруодинский рой землетрясений 2005 г. произошел в пределах Олекмо-Чарского нагорья, расположенного в междуречье Олёкмы и ее притока Чары (бассейн р. Лены) между Байкальской рифтовой зоной и Становой складчатой системой в Южной Якутии. Названный рой 2005 г. фактически продолжает в этом же районе предыдущую роевую последовательность – Олдонгсинскую 1997 г [52]. Сейсмическая обстановка этой территории до Олдонгсинского роя долгое время (почти 25 лет) представляла собой область спокойного сейсмического фона, где регистрировалось не более 10–20 событий в год, а их энергетический класс не превышал $K_p=12$.

В целом крупные события за последние 50 лет происходили лишь на краях этой крупной очаговой зоны: на западе, в Чарской впадине и ее горном обрамлении (хребты Кодар, Удокан и др.), отмечены сильные землетрясения, такие как Муйское 27.06.1957 г. с $MLH=7.6$, $h=15$ км, Кодарское 15.05.1970 г. с $MLH=5.5$, $h=20$ км; на востоке, в бассейне среднего течения р. Олёкмы, – Нюкжинское 05.01.1958 г. с $MLH=6.5$, $h=14$ км, Олёкминское 14.09.1958 г. с $MLH=6.4$, $h=9$ км, Тас-Юряхское 18.01.1967 г. с $MLH=7.0$, $h=13$ км: к северу от них, на западном фланге Станового хребта, – Южноякутское 20.04.1989 г. с

MLH=6.6, h=27 км. Однако, сейсмичность этой промежуточной области (ограничена на рис. 5.3.12 пунктирной линией), разделяющей западную и восточную части данной территории, явно понижена и, возможно, представляла «зону сейсмического затишья» – область подготовки будущего сильного землетрясения. В этой обстановке в октябре 1997 г. здесь возник первый рой за время инструментальных наблюдений – Олдонгсинский.

В течение 1997–1999 гг. Олдонгсинский рой действовал достаточно активно, ежегодно генерируя до 500 землетрясений в год, затем начался постепенный спад вплоть до 2001 года. В интервале 2002–2004 гг. на этой территории восстановился нормальный сейсмический фон (15–30 событий в год), который, однако, был нарушен в конце 2005 г. появлением нового интенсивного Чаруодинского роя.

Более подробно параметры Чаруодинского роя будут рассмотрены в соответствующем разделе научно-исследовательской части ВКР.

4 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

4.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА

Число землетрясений

Таблица 4.1.1

Число землетрясений, зарегистрированных на участке Чаруодинского роя в течение 2005 г.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		XII		Сумма
											1–10	10–30	1–12	13–31	
<i>N</i>	2	2	0	1	5	2	2	3	20	13	61	1118	332	1112	2673

Цифровые записи

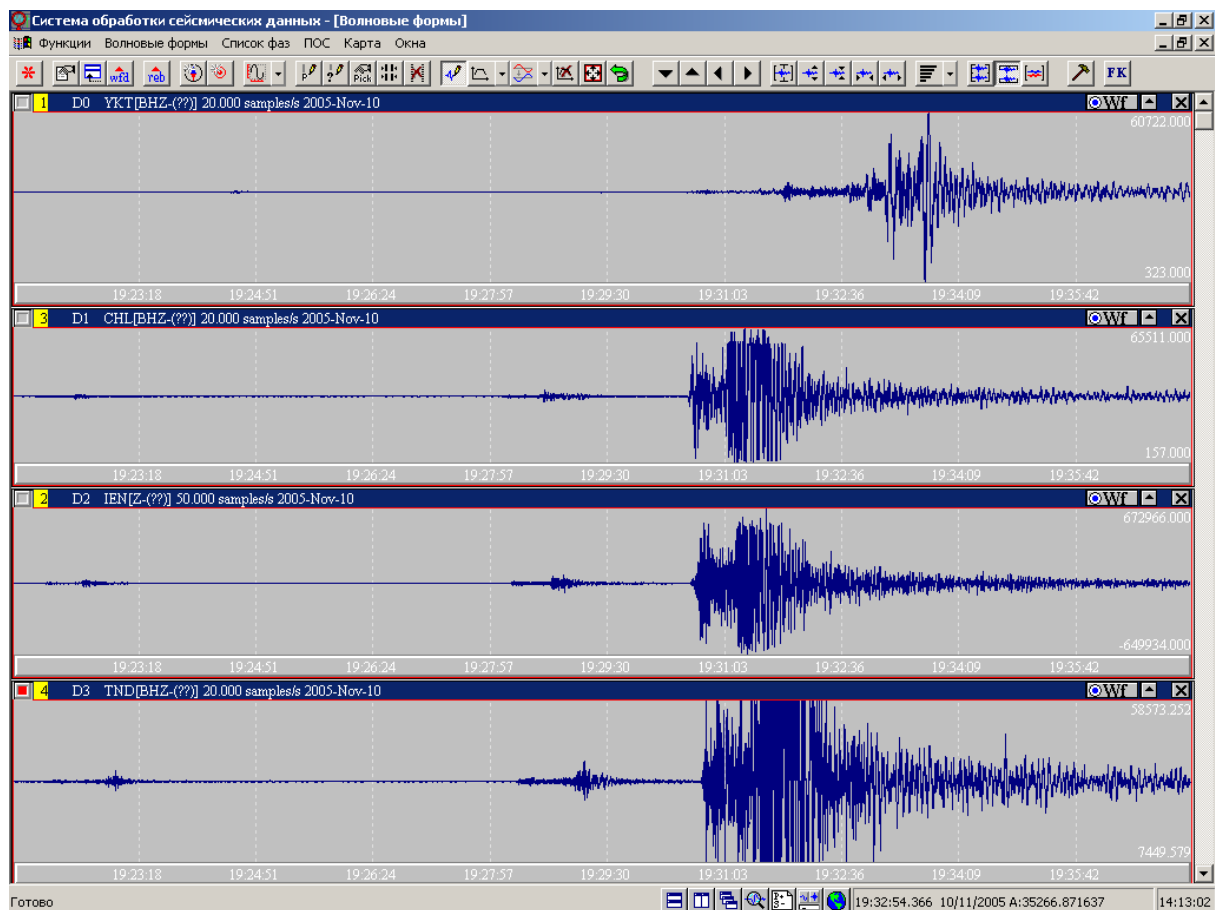


Рис. 4.1.1 Цифровые записи Чаруодинского-I землетрясения 10 ноября 2005 г. в 19^h29^m сейсмическими станциями «Якутск», «Алдан», «Иенгра» и «Чульман» с $\Delta=728, 328, 290$ и 270 км соответственно

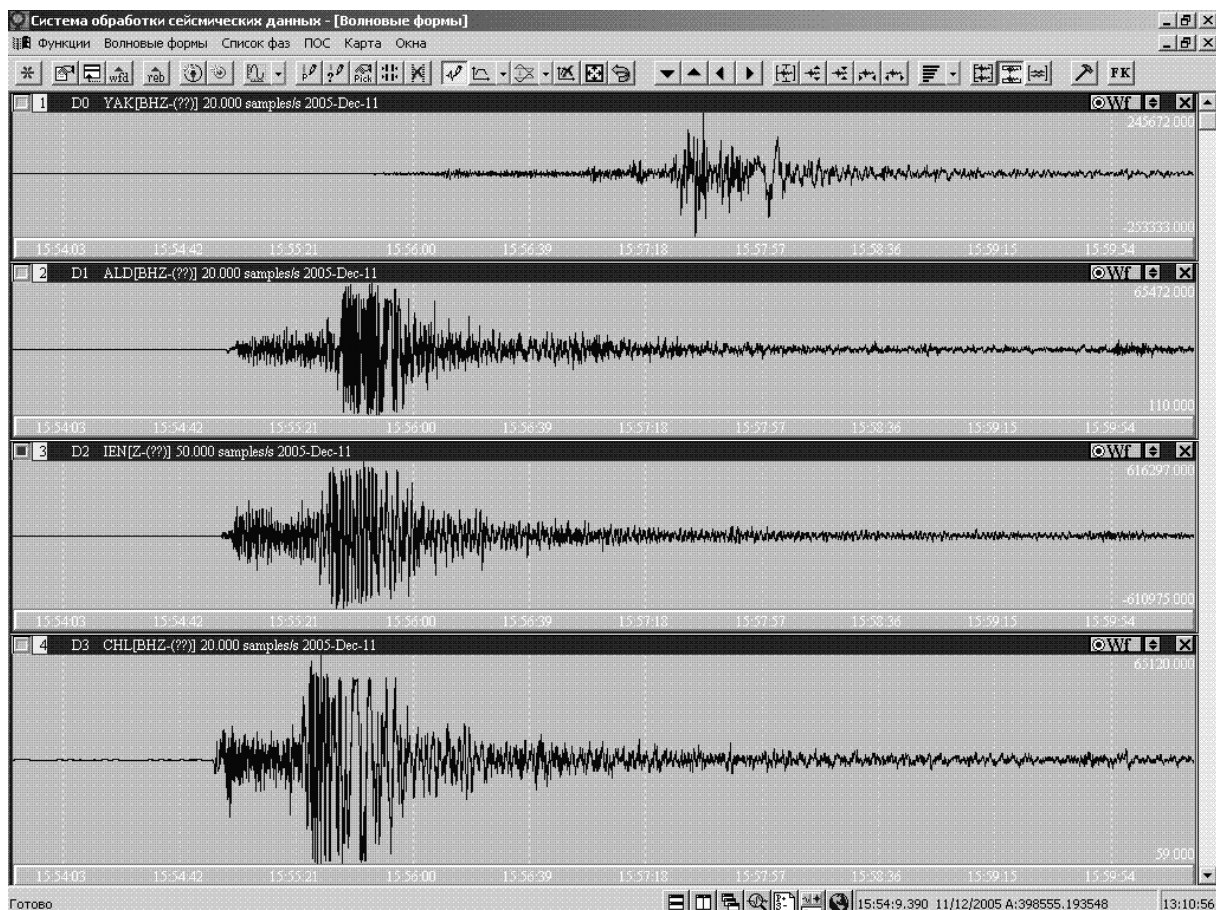


Рис 4.1.2 Цифровые записи Чаруодинского-II землетрясения 11 декабря 2005 г. сейсмическими станциями «Якутск», «Алдан», «Иенгра» и «Чульман» с $\Delta=720, 325, 290$ и 270 км соответственно

Таблица координат землетрясений

Таблица 4.1.2

Параметры эпицентров сильных ($K_P \geq 12.5$) землетрясений Олдонгсинского и Чаруодинского роев в 1997–2005 гг.

Дата д м год	t_0 , ч мин с	φ°, N	λ°, N	h , км	h_{pP} , км [ISC]	K_P	MS $MPSP^*$ [СБ]	I_0
24.10.1997	11 50 15.0	57.25	120.63	10		12.5	4.6	6
08.09.1999	02 38 49.4	57.33	120.65	11	11 ± 3.1	13.0	5.0	6–7
10.11.2005	19 27 25.4	57.38	120.79	15	12 ± 1.2	12.8	4.8*	6–7
10.11.2005	19 29 54.3	57.37	120.77	12	12 ± 1.2	15.7	5.7	8
11.12.2005	15 54 13.4	57.43	120.90	18	18 ± 2.8	14.8	5.5	7
14.12.2005	23 12 13.3	57.46	120.88	12		12.7	4.4*	6–7

Таблица 4.1.3

Параметры эпицентров сильных ($KP \geq 12.5$) землетрясений
Чаруодинского-III землетрясения

№	Дата, дн м г	t_0 , ч мин с	Пункт	φ° , N	λ° , E	Δ , км	I , балл
1	26.01.2009	21 42 31.8	Олёкма	57.00	120.59	40	3
			Хани	56.92	119.98	75	2–3
2	26.01.2009	21 54 21.7	Олёкма	57.00	120.59	41	2–3
			Хани	56.92	119.98	74	2
3	26.01.2009	21 54 44.5	Олекма	57.00	120.59	38	4
			Хани	56.92	119.98	70	3
4	27.01.2009	05 15 27.1	Олекма	57.00	120.59	39	3
			Хани	56.92	119.98	74	2–3
5	23.07.2009	03 55 27.3	Олёкма	57.00	120.59	40	2–3
			Хани	56.92	119.98	76	2
6	23.07.2009	04 42 56.7	Олёкма	57.00	120.59	40	2–3
			Хани	56.92	119.98	76	2

Описание сотрясений

Сейсмические воздействия при названном землетрясении были замечены на значительной части территории Республики Саха (Якутия), а также соседних регионов: Республики Бурятия, Иркутской, Читинской и Амурской областей. Так как данное событие произошло вблизи границы Прибайкалья и Якутии, то макросейсмические данные по нему для районов Якутии и Амурской областей были собраны сотрудниками Якутского филиала ГС СО РАН, а для Читинской, Иркутской обл. и Республики Бурятии – сотрудниками Байкальского филиала ГС СО РАН и Института земной коры СО РАН.

Лучше всего подземный толчок с интенсивность сотрясений $I=6$ баллов ощущался на участке Олоннокон, расположенном в 25 км к югу от эпицентра. Здесь располагался разрез горной компании «Радунит», зарегистрированной в г. Нерюнгри, которая занимается добычей поделочного и облицовочного камня. На участке имелись только деревянные дома, срубленные в лапу, неоштукатуренные, где проживали 25 сезонных рабочих. Деревянная мебель (нары, топчаны) была приколочена к стенам и полу. Все спавшие проснулись. Люди ничего не могли понять, что происходит. Трясся весь дом. Ходила ходуном железная печь. Громко дребезжали и трещали стекла окон. Падала посуда со стола, выплескивалась вода из ведер. Подскакивала и сместилась

табуретка. Все, что было на стенных полках (рюкзаки, одежда, книги и др.), оказалось на полу. Слышался громкий глухой неприятный гул, повторявшийся многократно. Утром обнаружилось, что осыпался весь снег с крыш и деревьев.

На ближайших к эпицентру железнодорожных станциях на БАМе Олёкма и Хани, где построено несколько трех-пяти этажных домов, отмечены 5–6-балльные эффекты. Проснулись практически все жители. Испуг населения и паника. В трехэтажных кирпичных домах на верхних этажах очевидцы испытали сильное ощущение страха. Люстры раскачивались с большим размахом, отмечена сильная вибрация, смещение мебели, грохот чашек на кухне и стеклянной посуды в серванте. В другом пятиэтажном доме «вся семья проснулась от сильного сотрясения и громкого глухого гула. Сильно качались люстры, дребезжала посуда, перемещались книги на столе и стаканы, открылись стеклянные дверцы (на магнитах) в мебельной стенке, приоткрылись двери комнаты». Многие напуганные жители с сонными детьми выскакивали из домов и бежали на вокзал, где провели остаток ночи. Внутри домов, особенно на верхних этажах, в течение 20–50 с интенсивно раскачивались кровати, сдвигались стулья, шатались кресла, столы. Отмечено смещение от стены мебельной стенки на 20 см. С полок, столов посыпались книги, с телевизоров падали на пол видеокассеты. Открывались двери и сильно раскачивались люстры, бра, лампочки, колыхались шторы и занавески, громко дребезжала посуда, звенели стекла в мебельных стенках и окнах. Местами лопались обои. Гул то сильнее, то слабее слышался неоднократно в течении ноября–декабря 2005 г. Многие жители после землетрясения на время переселились в старые одноэтажные бараки, которые снова стали отапливать, и боялись возвращаться в свои благоустроенные квартиры.

Сотрясения с $I=5$ баллов зафиксированы на железнодорожной станции БАМ Юктали и в пос. Усть-Нюкжа (Амурская обл.). На станции Юктали большинство жителей проснулось от сотрясений в пятиэтажных жилых домах. Наблюдалась сильная вибрация зданий. Тряслись кровати, дребезжали стекла окон, посуда и стеклянные дверцы мебели. При этом, чем выше этажом находились жители, тем сотрясения ощущались сильнее. На последнем этаже в одной из квартир люстра слетела с крюка на потолке и повисла на проводах. Некоторые жители испугались и выбегали на улицу. В деревянных

одноэтажных домах наблюдали раскачивание электролампочек, скрип полов, потолков, стен, дрожание стекол в окнах, легкую дрожь мебели, осыпание извести со стен. Был слышен громкий глухой гул, который повторился утром, но слабее несколько раз. Все сведения о балльности внесены в табл. 4.1.3.

Таблица 4.1.3

Макросейсмические данные о Чароудинском-I землетрясении 10 ноября

2005 г. в 19^h29^m с $K_p=15.7$, $MS=5.7$

№	Пункт	Δ , км	№	Пункт	Δ , км
	<u>6 баллов</u>		32	Ленинский	330
1	уч. Олоннокон	25	33	Якокут	340
	<u>5–6 баллов</u>		34	Нижний Куранах	346
2	Олёкма	26	35	Маракан	357
3	Хани	45	36	Бодайбо	360
	<u>5 баллов</u>		37	Мама	430
4	Юктали	99	38	Чита	622
5	Усть-Нюкжа	101		2–3 балла	
	<u>4 балла</u>		39	Хорогочи	290
6	Торго	152	40	Балаганах	290
7	Чильчи	178	41	Иенгра	292
8	Средняя Олёкма	198	42	Нагорный	305
9	Тяня	206	43	Токко	307
10	Лопча	216	44	Дельгей	318
11	Артёмовский	362	45	Кувукта	329
12	Апрельский	367	46	Тында	350
13	Мамакан	390	47	Олёкминск	352
14	Витимский	440	48	Горно-Чуйский	496
15	Северомуйск	445	49	Янчукан	515
	<u>3–4 балла</u>		50	Жирекен	527
16	Икабья	106	51	Ангаракан	622
17	Новая Чара	138		Не	
18	Ларба	244		ощущалось	
19	Алдан	328	52	Старая Чара	139
20	Лебединый	330	53	Давенда	418
21	Хатыстыр	337	54	Ксеньевка	425
22	Томмот	392	55	Маловский	510
23	Тунгокочен	510	56	Усть-Карск	513
	<u>3 балла</u>		57	Букачача	520
24	Нерюнгри	259	58	Мильгидун	554
25	Бяс-Кюэль	261	59	Багульный	573
26	Хатыми	267	60	Сретенск	575
27	Чульман	270	61	Кокуй	581
28	Серебряный Бор	272	62	Байгул	598
29	Беркакит	272			
30	Куанда	285			
31	Большой Нимныр	312			

Сотрясения с $I=4$ балла отмечены на станциях БАМа Чильчи и Лопча, а также в поселках Средняя Олёкма, Торго, Тяня и др. Проснулись многие жители. В деревянных домах наблюдались колебания, которые продолжались около минуты. Слышался скрип деревянных конструкций домов: полов, потолков, стен, перекрытий. Дребезжала посуда, стекла окон и висящие зеркала, раскачивались лампочки. Был слышен сильный глухой звук, как будто близко проезжал трактор. На верхних этажах жилых зданий (2–5 этажи) тряслись кровати, качались висячие предметы (люстры, лампочки, подвески). Слышалось позвякивание посуды в серванте. В здании железнодорожных вокзалов наблюдалось дрожание мебели и полов. Слышался подземный гул. Возмущениями с $I=3$ балла была охвачена громадная территория между реками Леной и Амуром, куда относится зона трассы БАМ на участке Тынды-Кичера. В пределах зоны, ограниченной изолинией $I=3$ балла, выявились участки 4-балльных сотрясений: район г. Бодайбо, Иркутская область и район городов Томмота и Алдана Республики Саха (Якутия). Особо следует отметить территорию вблизи г. Читы, где на расстоянии 720 км от эпицентра отчетливо наблюдалось увеличение макроэффектов на 1 балл. Подобная ситуация имела наблюдалась и раньше, например, при 9-балльном Тас-Юряхском землетрясении 18.01.1967 г. с эпицентром в бассейне среднего течения р. Олёкмы [47].

Таблица 4.1.4.

Макросейсмические данные о Чаруодинском-II землетрясении
11 декабря 2005 г. в $15^{\text{h}}54^{\text{m}}$ с $K_p=14.8$

№	Пункт	Δ , км
	<u>4 балла</u>	
1	уч. Олоннокон	27
2	Олёкма	27
3	Хани	46
4	Мамакан	390
5	Витимский	440
	<u>3 балла</u>	
6	Юктали	98
7	Усть-Нюкжа	102
8	Новая Чара	138
9	Алдан	328
10	Томмот	392

№	Пункт	Δ, км
	<u>2–3 балла</u>	
11	Торго	152
12	Чильчи	177
	<u>2 балла</u>	
13	Нерюнгри	258
14	Таксимо	353
15	Мама	463
16	Чита	726
	<u>1–2 балла</u>	
17	Якутск	720
	<u>Не ощущалось</u>	
18	Старая Чара	137
19	Куанда	285
20	Моклакан	289
21	Горно-Чуйский	524
22	Визирный	572
23	Варваринский	598

Чаруодинское-III землетрясение локализовано в ненаселенной горнотаежной местности. В охотничьем зимовье, оказавшемся ближе всего к эпицентру (42 км к востоку от него) и расположенном в устье р. Тунгурчи (правом притоке р. Олекмы), интенсивность сотрясений составила I=6 баллов. Ощущались резкие колебания всего строения. Казалось, что оно вот-вот развалится. Трещали стены из бревен, вываливался мох из щелей, треснули стекла в окошке. Все предметы внутри двигались и опрокидывались на пол. С полка падали рюкзаки и посуда. Был слышен мощный грохот. Охотники в панике выскочили из помещения.

5–балльные эффекты отмечены на железнодорожной станции БАМ Олёкма (45 км к югу от эпицентра), где в жилых многоэтажных домах повсеместно отмечено дрожание стен и потолков, скрип полов и дверей, дребезжание мебели и стекол окон, звон посуды, раскачивание люстр. В отдельных случаях наблюдалось образование нитяных трещин в штукатурке и обоях. Все это сопровождалось сильным глухим гулом, похожим на гром.

4–5 балльные эффекты выявлены на железнодорожной станции Хани (75 км к юго-западу от эпицентра): толчок почувствовало все население, наблюдалась сильная вибрация на 1–5 этажах, звенела посуда и стекла окон, дрожали и качались люстры, был слышен сильный гул. Интенсивность I=4 балла зафиксирована очевидцами в селе Усть-Нюкжа, а также на станции БАМ

Юктали и старательском участке Унгра на расстояниях 95–180 км от эпицентра землетрясения.

С интенсивностью I от 2 до 3–4 баллов землетрясение проявилось во всех населенных пунктах федеральной автодороги «Лена» от г. Тында на юге до г. Алдан на севере, на эпицентральных расстояниях 230–340 км. Перечисленные немногочисленные макросейсмические сведения приведены в табл. 4.1.5

Таблица 4.1.5.

Макросейсмические сведения о Чаруодинском-III землетрясении 26 января 2009 г. в 21^h 30^m 2009г $K_p=13.7$ $M_w=5.4$.

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
	<u>6 баллов</u>					<u>3–4 балла</u>			
1	база охотников на р. Тунгурча	42 ¹	57.29	121.50	7	г. Нерюнгри	235	56.70	124.64
	<u>5 баллов</u>				8	пос. Чульман	248	56.84	124.89
2	пос. Олёкма	45 ²	57.00	120.59		<u>3 балла</u>			
	<u>4–5 баллов</u>				9	пос. Большой Хатыми	240	57.38	124.93
3	пос. Хани	75 ³	56.92	119.98	10	пос. Беркакит	250	56.55	124.77
	<u>4 балла</u>				11	село Иенгра	268	56.22	124.86
4	пос. Юктали	95 ⁴	56.59	121.65	12	пос. Большой Нимныр	283	58.06	125.40
5	село Усть-Нюкжа	102 ⁵	56.55	121.60		<u>2–3 балла</u>			
6	база старателей Унгра	183	57.00	123.96	13	г. Алдан	295	58.61	125.41
					14	г. Тында	340	55.15	124.72

4.2 АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭПИЦЕНТРОВ ЧАРУОДИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

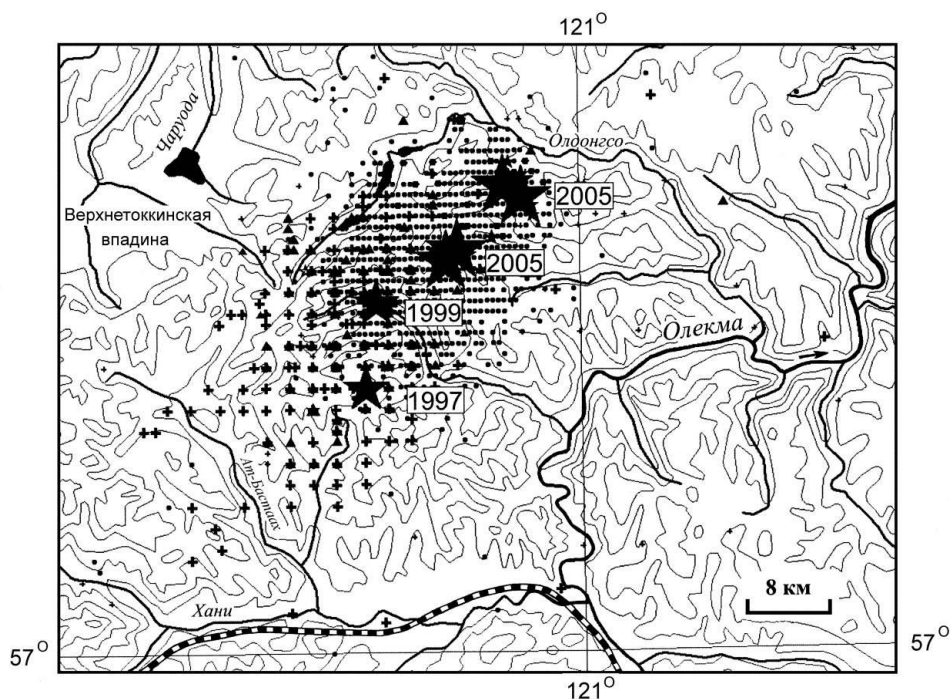


Рис. 4.2.1 Пространственное распределение эпицентров землетрясений Олдонгсинского 1997 г.

(помечены крестиком) и Чаруодинского 2005 г. (помечены точками) роев в бассейне р. Олекмы и ее левого притока Олдонгсо.

Звездами обозначены крупные сейсмические события из табл. 4.1.2; в нижней части рамки показана ближайшая к эпицентрам часть железнодорожной трассы БАМ.

На основе рис. 4.2.1 проследим развитие роевой деятельности в пространстве и времени. Так, первые эпицентры землетрясений Олдонгсинского роя в октябре 1997 г. были локализованы в бассейне р. Ат-Бастаах (приток р. Хани). В последующие два года наблюдалось их постепенное перемещение в северо-восточном направлении. При этом очаговая область роя всякий раз удлинялась на несколько километров.

По-видимому, первый рой 1997 г. не снял полностью накопленные за почти 25-летний период затишья тектонические напряжения и спровоцировал в результате их последующего перераспределения появление землетрясений второго роя 2005 г. Его подземные толчки продолжили проявления первого роя в том же направлении, вплоть до долины р. Олдонгсо. Северо-восточная ориентация зоны роевых событий и их смещение относительно друг друга

уверенно подтверждается положением эпицентров наиболее интенсивных ($I_0 \geq 6$) землетрясений (рис. 4.2.1), параметры которых приведены в табл. 4..1.2

Изосейсты имеют изометричную форму (рис. 4.2.2), где выявились две характерные особенности распространения сейсмических колебаний. В субдолготном направлении оказались вытянутыми изолинии высоких (4–6) баллов, на что повлияла, скорее всего, преобладающая близмеридиональная ориентировка тектонических структур в междуречье Чары и Олёкмы. В то же время 3-балльная изосейста имела субширотную направленность, совпадающую с генеральным простирием структур и разломов Байкальской рифтовой зоны. При составлении карты изосейст явно ощущался недостаток данных в связи с небольшой плотностью населения, в особенности на востоке территории, и возникновением самого землетрясения в ночное время.

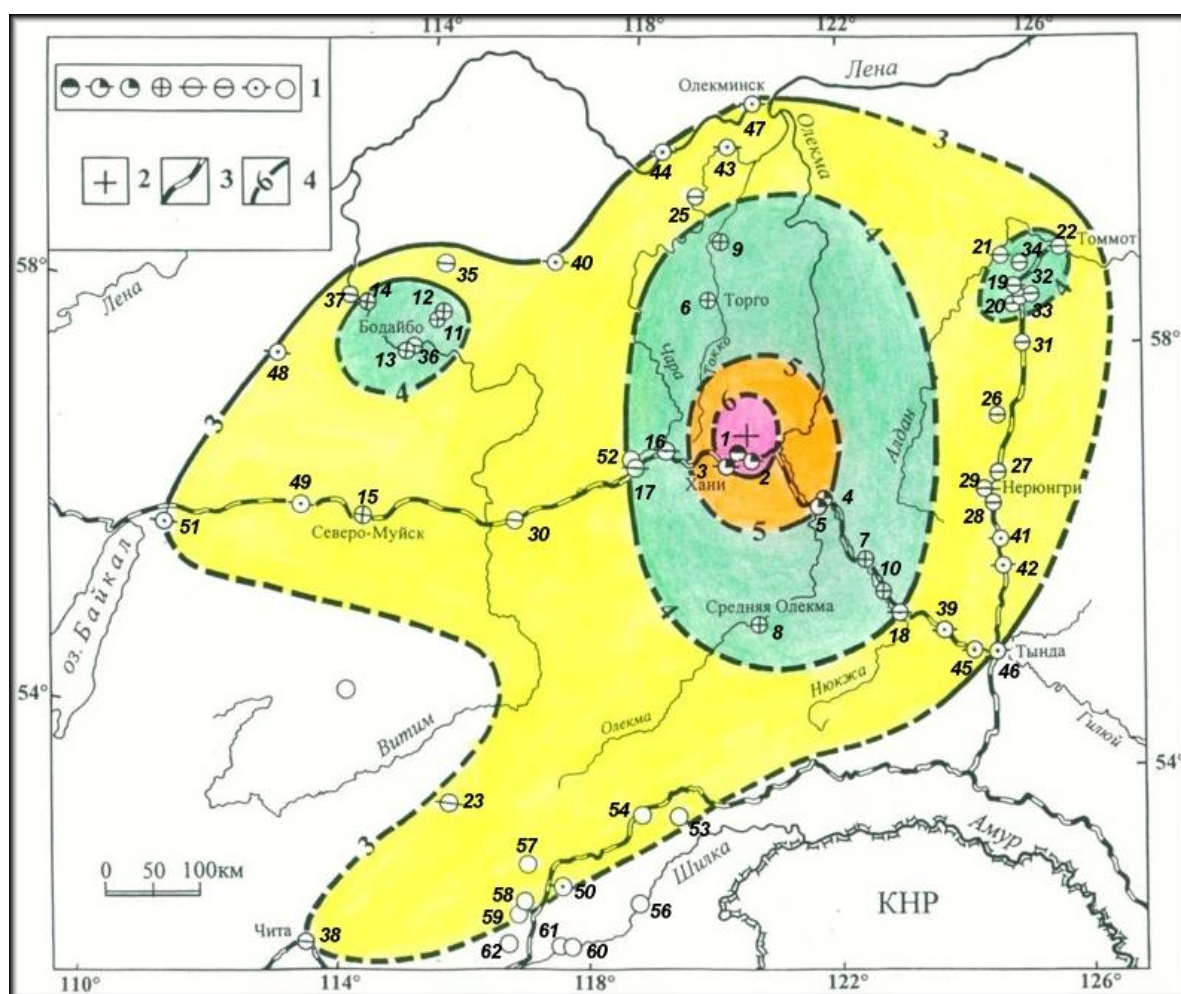


Рис. 4.2.2 Карта изосейст Чаруодинского-I землетрясения 10 ноября 2005 г. в 19^h29^m с $K_p=15.7$, $M_S=5.7$

напряжения накопленные за 8 лет после Олдонгсинского роя, это отражается на карте 4.2.4,В по сравнению с 4.2.4,Б количество событий редет.

Как следует из рис. 4.2.5, почти все решения, найденные разными агентствами, смещены от регионального север–северо-востоку и отстоят от регионального на расстояниях $\Delta=12\text{--}30$ км. Лучше других с региональными параметрами совпадают решения IDC и ISC ($\Delta=12\text{--}15$ км), наибольшее отклонение как по азимуту, так и по расстоянию ($\Delta=30$ км) имеет решение китайского агентства ВЛ.

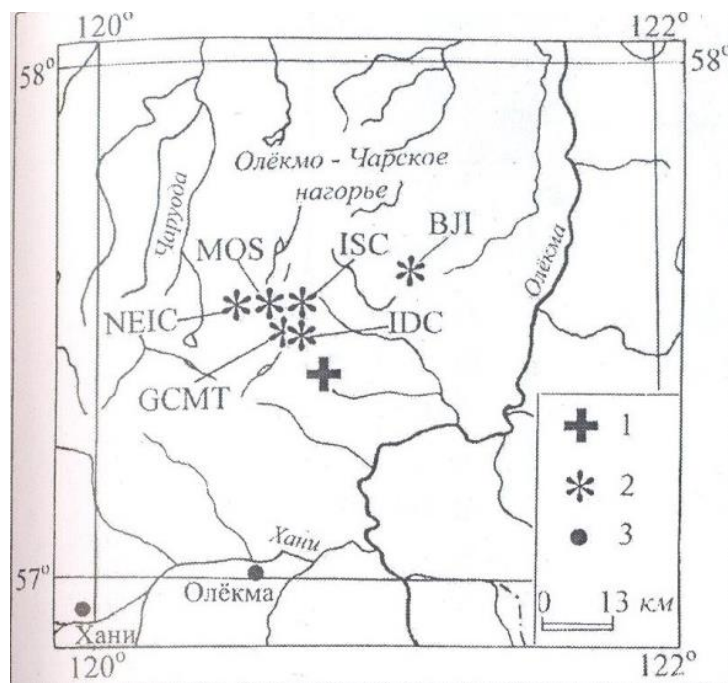


Рис. 4.2.5. положение инструментального эпицентра Чаруодинского-III землетрясения 26 января 2009 г. по региональным данным и другим сесмологических агентств

В плане данных табл. 4.1.5 изображены на рис. 4.2.6.

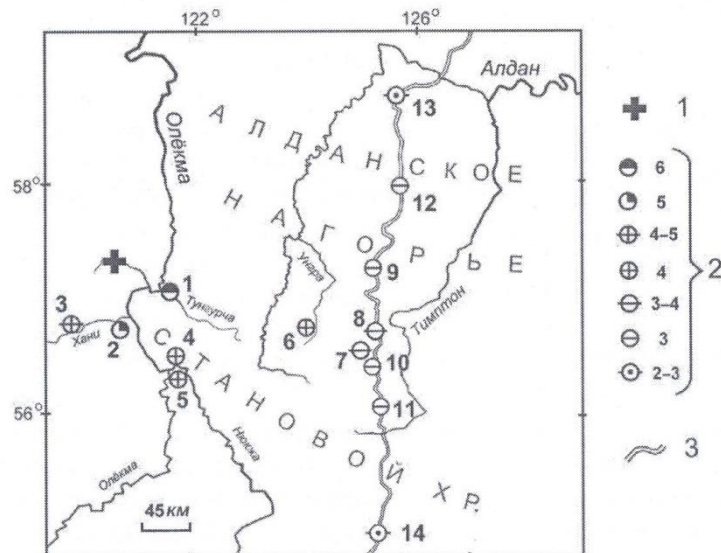


Рис. 4.2.6 Карта пунктов-баллов Чаруодинского-III землетрясения 26 января 2009 г. в 21^h 30^m 2009г $K_p=13.7$ $M_w=5.4$

1 – инструментальный эпицентр; 2 – интенсивность в баллах шкалы MSK-64 [53]; номера пунктов соответствуют таковым в табл. 4.1.5

После главного толчка была отмечена продолжительная серия афтершоков (свыше 1100) с $K_p=5-12$. Карта их эпицентров изображена на рис. 4.2.7. Облако афтершоков имеет форму эллипса, большая ось которого ориентирована на восток–северо-восток (азимут составляет $\sim 60^\circ$). Длина продольной оси эллипса $a \sim 35$ км, ширина $b \sim 25$ км. Общая площадь, занятая афтершоками, составила примерно $S_{\text{афт}} \sim 690$ км². Главный толчок расположен ближе к восточному краю этой последовательности.



Рис. 4.2.7 Карта эпицентров афтершоков Чаруодинского-III землетрясения 26 января 2009 г. в 21^h 30^m 2009г $K_p=13.7$ $M_w=5.4$

1 – энергетический класс землетрясений K_p ; 2 – часть железнодорожной трассы БАМ.

Вместе с тем имеются и различия. Так афтершоки и рои Чаруодинских-I и –II землетрясений 2005 г. Были локализованы главным образом на правобережье, в верхнем и среднем течении р. Олдонгсо (рис. 5.25). Область афтершоков Чаруодинского-III землетрясения 2009 г., хотя территориально и совпадает с проявлениями роя 2005 г., но при этом смещена к северо-востоку примерно на 10 км, пересекая долину р. Олдонгсо и продолжаясь на ее левый берег. Обращает также на себя внимание, все сильные ($K_p=9-12$) афтершоки с упомянутой области произошли именно в ее северо-восточной части к северу от основного события (рис. 5.3.23). Таким образом, Олёкмо-Чарском нагорье сохраняется тенденция развития сеймотектонических процессов в северо-восточном направлении, подмеченная ранее для проявлений Чаруодинского роя 2005 г

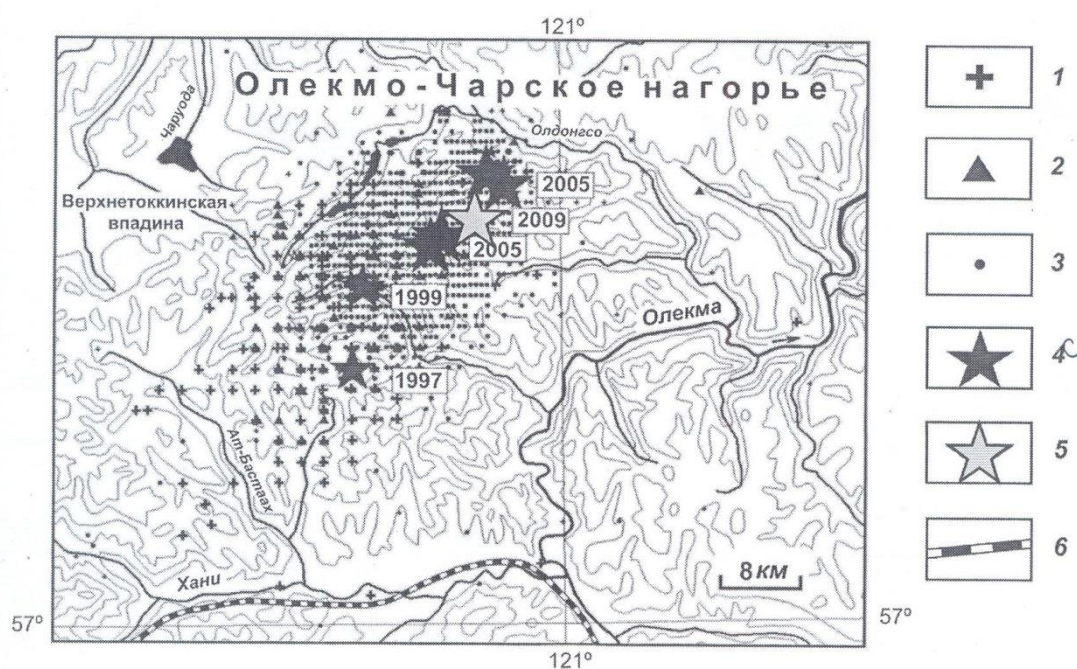


Рис. 4.2.8 Карта роевых событий Олекмо-Чарского нагорья в 1997–2005 гг.

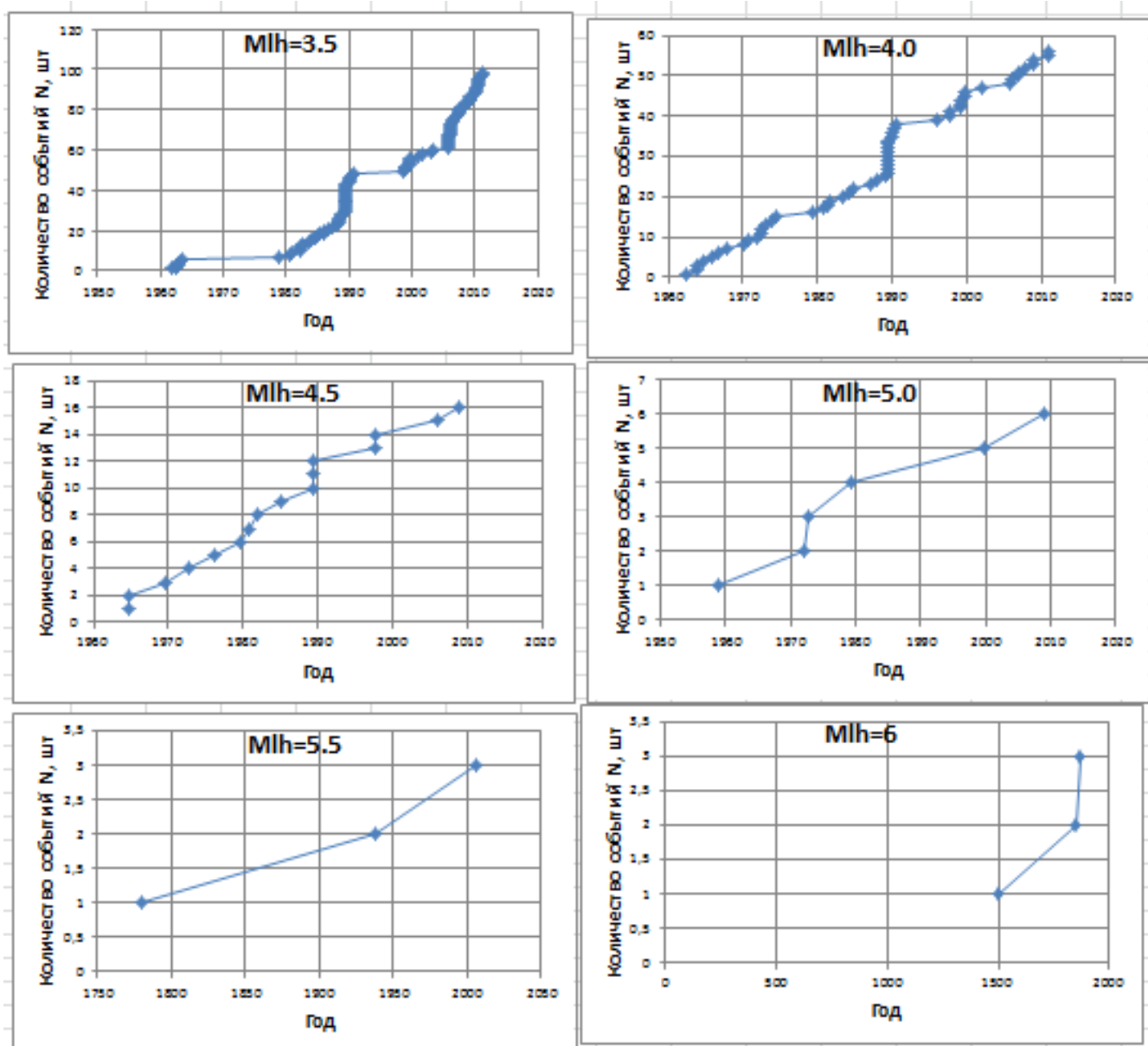
1 – афтершоки Олдонгинского роя 1997 г.; 2 – афтершоки продолжения Олдонгинского роя в 1998–1999 гг; 3 – афтершоки Чаруодинского роя 2005 г; 4 – сильные землетрясения с $K_p \geq 12.5$, рядом проставлен год их возникновения; 5 – ближайшая к эпицентрам железнодорожная трасса БАМ.

4.3 РАСЧЕТ УТОЧНЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

В основу вероятностного анализа сейсмической опасности положен принцип стационарности во времени сейсмического режима. Это означает, что в идеальном случае график накопления землетрясений конкретного интервала магнитуд должен представлять собой прямую линию. Из-за не представительности каталога или недостаточного периода уверенной регистрации, который необходим для характеристики сейсмического режима в целом, а не локального во времени эффекта, линия тренда может быть нелинейной.

Исходя из этих соображений, далее на графиках накопления выбирались максимальные по продолжительности интервалы времени, в которых график имеет преимущественно линейный вид, и обеспечивает максимальную скорость накопления (минимальный период повторяемости) землетрясений. При таких критериях мы получаем квазистационарный сейсмический режим территории с обоснованным наименьшим периодом повторяемости землетрясений. Включая в расчет события с большим периодом повторяемости, мы получим более низкую скорость накопления землетрясений, что заведомо понизит вероятностные оценки опасности. Из этой схемы исключены группы землетрясений, произошедшие в короткий интервал времени в одной зоне, представляющие собой афтершоки и не характеризующие в целом повторяемость подобных землетрясений в регионе.

На основании полученных данных были построены графики накопления землетрясений каждого интервала магнитуд в зависимости от года.



4.3.1 Графики накопления сейсмических событий для района исследований

На основании построенных графиков накопления (рис. 4.3.1) событий выбраны периоды учета землетрясений для построения графика повторяемости событий заданных магнитуд для района исследования. Исходная информация для построения графика повторяемости приведена в таблице 4.3.1.

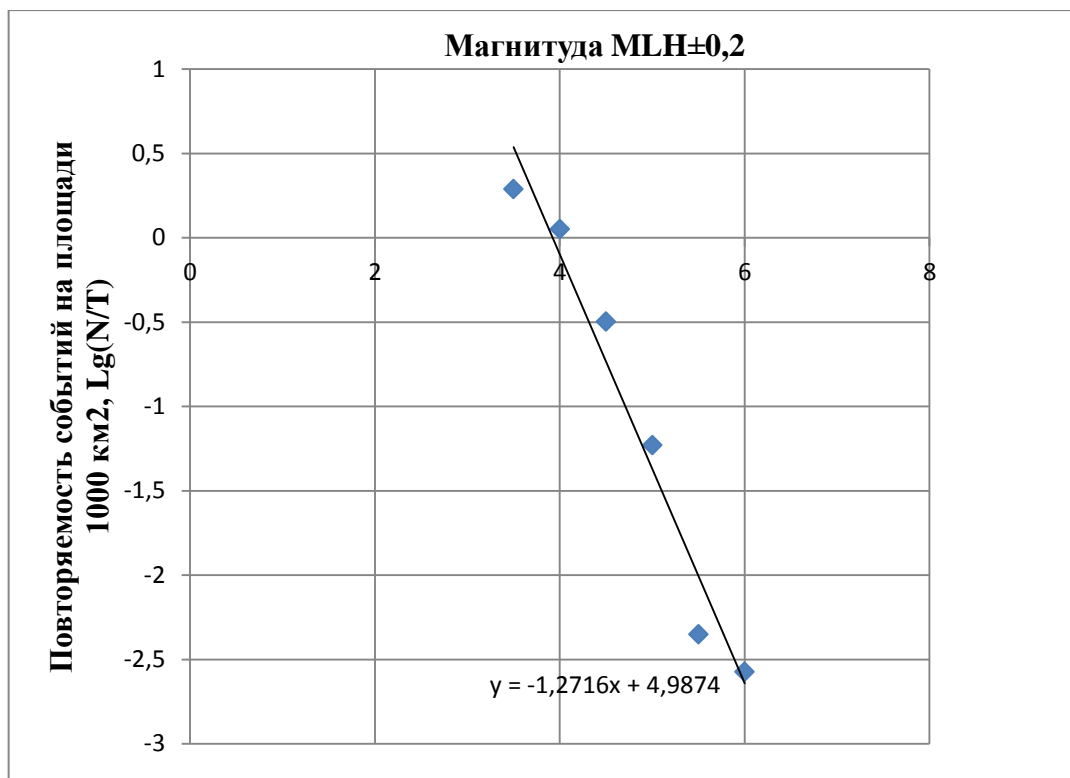


Рис. 4.3.2 График повторяемости событий различных магнитуд Южной Якутии.

Таблица 4.3.1

Исходные данные для построения графика повторяемости Южной Якутии

MLh±0.2	Интервал времени			Количество земл. N	Повторяемость V, земл./год	Период повторяемости, лет
	Начало	Конец	Период T, лет			
3,5	1961	2011	50	98	1,94	0,510
4	1962	2010	48	55	1,125	0,873
4,5	1964	2008	44	15	0,318182	2,933
5	1958	2009	51	4	0,058824	12,750
5,5	1780	2005	225	2	0,004444	112,50
6	1500	1875	375	2	0,002667	187,50

При оценке сейсмической опасности, в качестве основы для модели зон ВОЗ используются разломные и доменные структуры.

Для расчета повторяемости землетрясений с магнитудой M_{lh} 6.0-8.5 в районе исследований недостаточно статистики. Для параметризации линеаментов с данными магнитудами приняты оценки, полученные на основе анализа тренда повторяемости землетрясений в районе исследования. По уравнению линии тренда графика (рис. 4.3.2) были получены значения повторяемости землетрясений больших магнитуд.

Далее, для каждого линеамента в качестве повторяемости землетрясений с заданной магнитудой принимается произведение длины линеамента на повторяемость подрайона, нормированную на суммарную длину линеаментов подрайона, способных сгенерировать рассматриваемую магнитуду:

$$V_i(M) = L_i * V_r(M) / \Sigma(L_{M_{max} \geq M}), \quad (5)$$

где $V_i(M)$ - повторяемости на i -ом линеаменте землетрясений с магнитудой M , L_i – длина i -ого линеамента, $V_r(M)$ – повторяемость землетрясений с магнитудой M в подрайоне, $\Sigma(L_{M_{max} \geq M})$ – сумма длин линеаментов с M_{max} большей или равной магнитуде M .

Все полученные результаты повторяемости на отдельных линеаментах представлены в таблице 4.3.2.

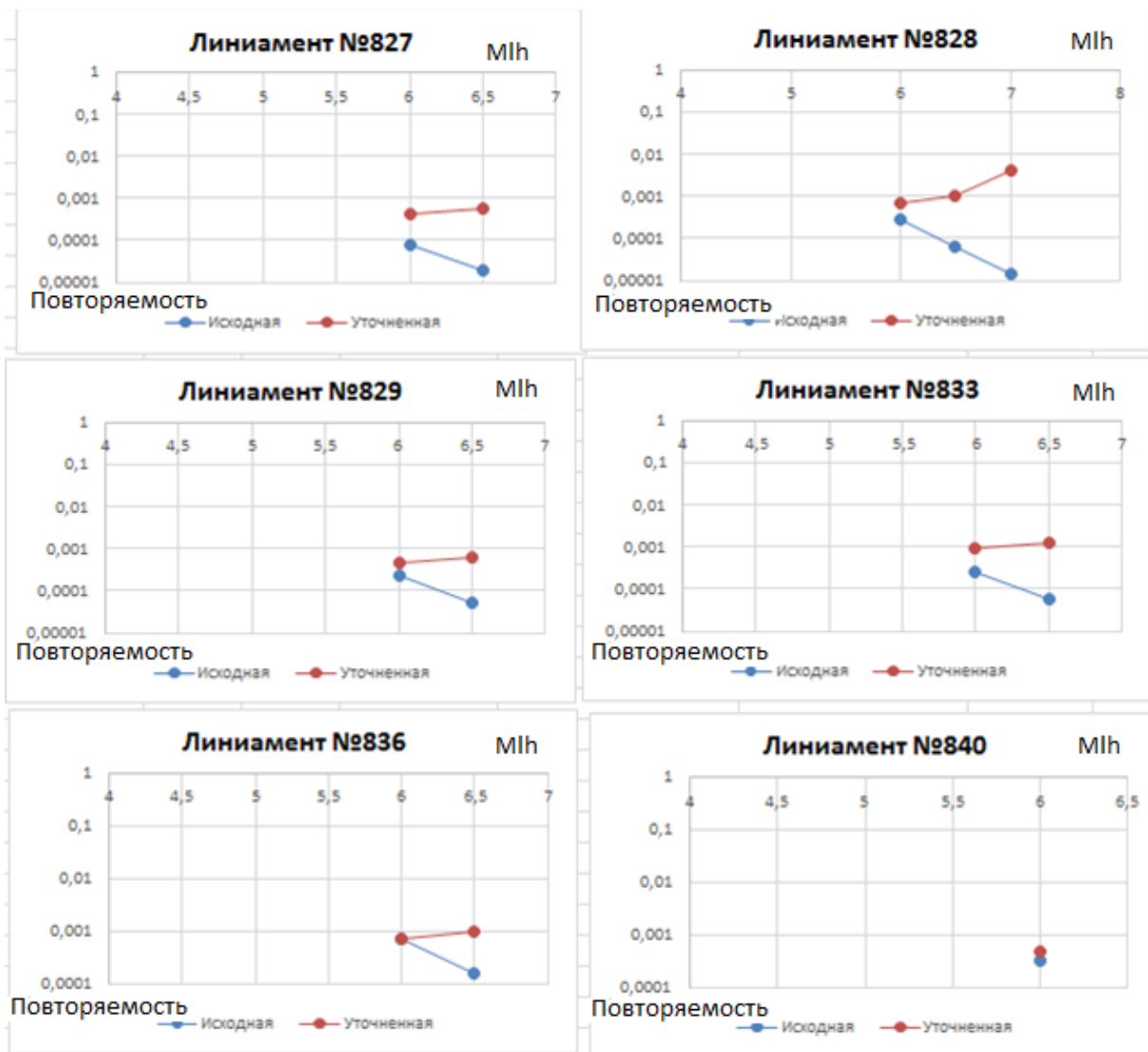
Таблица 4.3.2

Исходные и уточненные данные сейсмичности для сравнения и построения графиков сейсмичности линеаментов Южной Якутии

ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
827	6	7,98943E-05	0,0004037
827	6,5	1,84806E-05	0,0005679
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
828	6	0,000277053	0,0007187
828	6,5	6,4086E-05	0,0010113
828	7	1,48239E-05	0,0039901
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
829	6	0,000235638	0,000458
829	6,5	5,45061E-05	0,0006443
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная

833	6	0,000248418	0,0009141
833	6,5	5,74622E-05	0,0012858
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
836	6	0,000681739	0,0007075
836	6,5	0,000157695	0,0009953
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
840	6	0,000314583	0,0004685
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
841	6	0,000441968	0,0004591
841	6,5	0,000102233	0,0006457

, где Ind-номер линиямента, mgnt-магнитуда, grf-повторяемость.



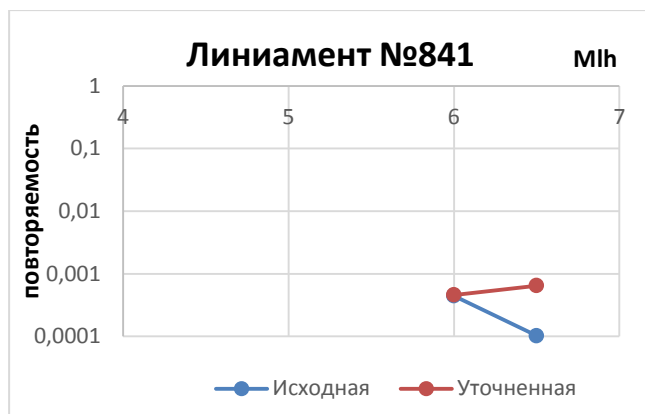


Рис. 4.3.3 Сравнение исходной и уточненной сейсмичностей линияментов изучаемого района

Для наглядного сравнения были построены графики повторяемости исходной и уточненной сейсмичности линияментов (рис. 4.3.3).

В методике вероятностного анализа сейсмической опасности помимо линияментов предусмотрено использование элементов, описывающих рассеянную сейсмичность (домены). Домены охватывают объемы геологической среды, внутри которых с равной плотностью расположены (рассеяны) очаги землетрясений умеренных и невысоких магнитуд (в методике ОСР принято $M \leq 5.5$). В таблице 4.3.4 приведены параметры выделенных в районе исследования доменов, заложенных далее в расчет фоновой сейсмичности. Сейсмический поток (количество землетрясений в год) для каждого домена в методике ОСР определяется по тому же принципу, что и для линияментов, но в качестве весового фактора используется не одномерная величина (длина), а площадь домена в плане.

Таблица 4.3.4

Исходные и уточненные данные сейсмичности для сравнения и построения графиков сейсмичности доменов Южной Якутии

ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
380	5,5	0,000949684	0,0015824
380	5	0,002648983	0,006840949
380	4,5	0,007388888	0,029574427
380	4	0,020610051	0,127854596
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная

384	5,5	0,000126298	0,003180185
384	5	0,000290485	0,013748408
384	4,5	0,000668116	0,059436389
384	4	0,001536669	0,256952244
ind	mgnt	grf, исходная	grf, уточненная
387	5,5	0,00009488	0,004737476
387	5	0,000390098	0,020480806
387	4,5	0,001603887	0,088541535
387	4	0,006594349	0,382778069

, где Ind-номер домена, mgnt-магнитуда, grf-повторяемость.

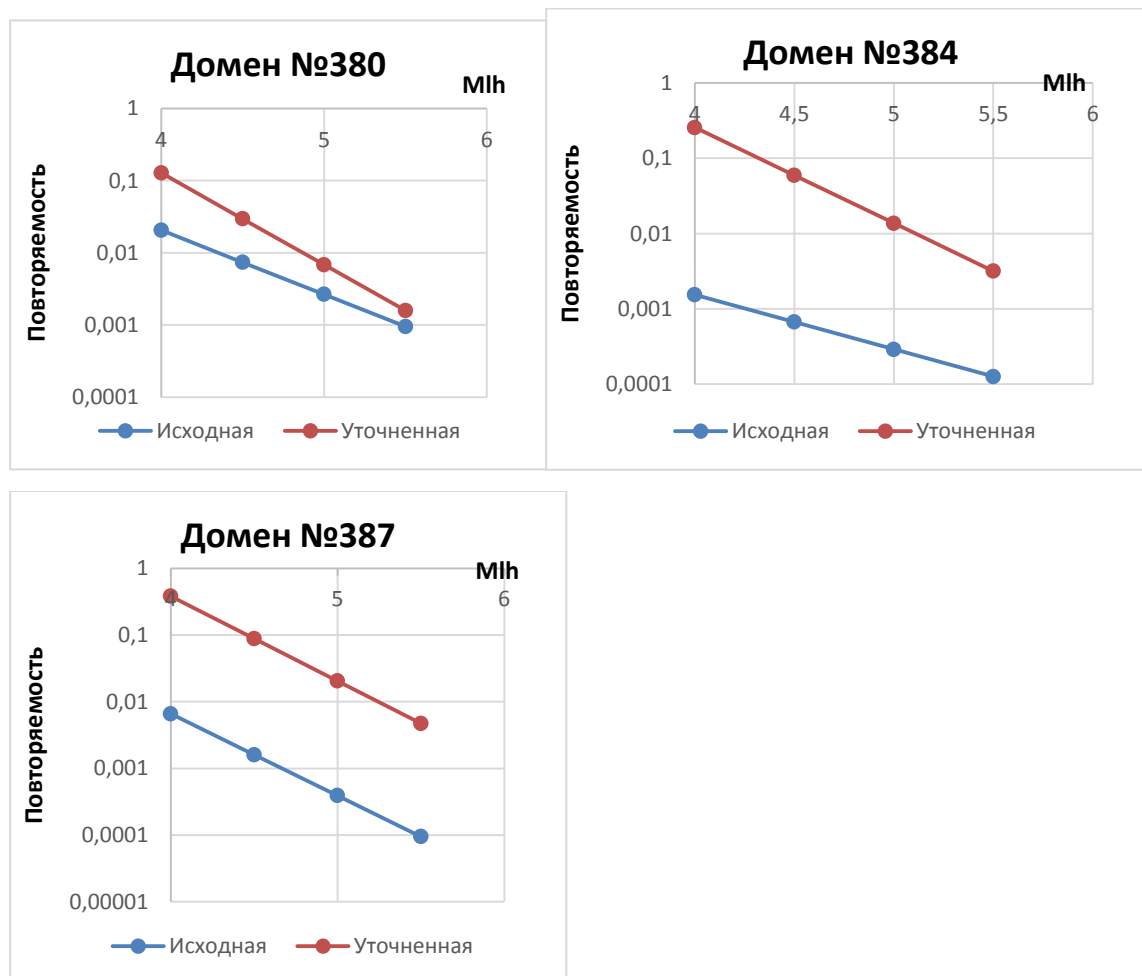


Рис. 4.3.4 Сравнение исходной и уточненной сейсмичностей доменов изучаемого района

На графиках сейсмичности доменов и линияментов хорошо отражается, на сколько уточненная сейсмичность превышает исходную, а значит сейсмичность района выше чем предполагалось, следовательно, сейсмическая опасность района увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы заключалась в уточнении сейсмичности Южной Якутии на основе характеристик Чаруодинских землетрясений. Был проведен сбор общих сведений об исследовании; изучена геолого-геофизические характеристики района Южной Якутии; проведен анализ основных результатов ранее проведенных работ таких как, изучение активных разломов, сейсмодислокаций, распределения эпицентров землетрясений в пространстве и во времени; описание системы наблюдений. На основе инструментальных наблюдений цифровых сейсмических станций ЯФ ФИЦ ЕГС РАН получены исходные данные для проведения анализа по уточнению сейсмичности.

В результате исследования получили карты эпицентров афтершоков Чаруодинских землетрясений на которых отражается очевидная связь роевых явлений 1997 и 2005 гг. между собой, на что указывает, прежде всего, пространственное единство их эпицентральных зон. Эти сейсмические последовательности вызваны общим процессом деструкции земной коры в данном районе, обусловленным подвижками вдоль крупных глубинных региональных и локальных разломов, развитых на Олекмо-Чарском нагорье. На картах изосейст отмечаются какими сейсмическими эффектами были обусловлены землетрясения, а картах роевых событий прослеживается динамика сейсмических событий. На основе графиков накопления сейсмических событий района исследований выбраны периоды учета землетрясений для построения графика повторяемости событий заданных магнитуд. При помощи графика повторяемости событий различных магнитуд Южной Якутии были получены значения повторяемости землетрясений больших магнитуд. Графики сейсмичности доменов и линияментов указывают на сколько уточненная сейсмичность превышает исходную, а значит сейсмичность района выше чем предполагалось, следовательно, сейсмическая опасность района увеличивается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Опубликованная

1. Парфенов Л. М., Натальин Б. А., Попеко Л. И. Тектоника восточной части Монголо-Охотской складчатой системы и природа сопряженных с ней зон мезозойской тектоно-магматической активизации Алдано-Становой области. Тихоокеанская геол., 1983, № 2, с. 26 – 33.
2. Ветлужских В. Г., Кудрявцев В.А., Соколов Н. А., Стратиграфия архея района верхнего течения р. Тимптон – В кн.: Геология и петрология докембрия Алданского щита. М., 1966, с. 26 – 33.
3. Кицул В. И. Минеральные фации докембрийских метаморфических пород Алданского щита. – В кн.: Метаморфические пояса СССР. Л., 1971, с. 71 – 91.
4. Фрумкин И. М., Нужков С. В. Основные проблемы геологии архея Алданского щита. – В. Кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Якутск, 1968, вып. 18, с. 7 – 18.
5. Неелов А. Н., Глебовицкий В. А., Байкова В.С. и др. Эволюция метаморфических поясов юго-востока Восточной Сибири. – В кн.: Метаморфические пояса СССР. Л., 1971, с. 117 – 144.
6. Кицул В.И., Шкодзинский В.С. Гранулитовая фация Алданского щита // Стратиграфия и седиментология. Геология докембрия (Докл. сов.геологов на 25-м Междун.геол. конгрессе).- М.- 1976.- С. 275-286.
7. Тектоника Якутии / Отв.ред. Ю.Н.Трушков.- Новосибирск: Наука, 1975.- 198 с.
8. Смелов А.П., Березкин В.И., Парфенов Л.М., Тимофеев В.Ф. Докембрийские террейны Алдано-Станового щита, металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления, Иркутск, 1998, с.119-120.
9. Кориковский С.П., Казмин Ю.Б. Диафориты и милониты зоны Станового глубинного разлома (Становой хребет) // Петрография метаморфических и изверженных пород Алданского щита.–М.: Наука, 1964.– С.57-84.

10. Заблоцкий Е.М., Сытина И.М. Строение Тындинского массива гранитоидов Станового хребта по геолого-геофизическим данным // Геол. и Геоф.- 1974.- N 11.- С. 82-89.

11. Сяндюков Ш. А., Фролов В. И. Южно-Якутский надвиг и метаморфизм углей Алдано-Чульманского района. Докл. АН СССР, 1983 т. 270, № 1, с. 207 – 209.

12. Сейсмотектоника, вулканы и сейсмическое районирование хребта Станового/ ВВ. Николаев, Р. М. Семенов, В. Г. Семенова, В. П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1982. 150 с.

13. Желинский В.М. Мезозойская угленосная формация Южной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1980.- 118 с.

14. Серпухов В. И. Таежное золото в районе Яблонового и Станового хребтов М. – Л.: Геол изд-во, 1930, 112 с.

15. Гуценко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. – В кн.: Поля напряжений деформаций в литосфере 1979

16. Николаев П. Н. Методика статистической обработки замеров трещин. – В кн.: Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М., 1969, № 2 ,с. 14 – 27

17. Имаев В. С. Тектонические поля напряжений в восточной части Чульманской впадины (Южная Якутия) и их значения для сейсмического районирования – В. кн.: Сейсмические и сейсмологические исследования на центральном участке БАМа. Якутск, 1978, с. 80 – 97.

18. Имаев В. С. Возможность оценки величины тектонического стресса по структурно-геологическим данным. – В. кн.: Геология и полезные ископаемые Якутии. Якутск, 1980, с. 5 – 7.

19. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья/ В. П. Солоненко, А. А. Тресков, Р. А. Курушин, и др. М.: Наука, 1966. 229 с.

20. Разломная тектоника территории Якутской АССР Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1976, 173 с.

21. Лапердин В.К., Имаев В.С., Верхозин И.И., Качура Р.А., Имаева Л.П. Опасные геологические процессы на юге Якутии и сопредельных территориях. –Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. – 240 с.

22. Дзевановский Ю.К. Архейский метаморфический комплекс Алданского щита // Тр. Межд.совещ. по стратиграфии Сибири.Стратиграфия докембрия.- М.- 1958.- С. 37-42.
23. Ажгирей Г.Д. Структурная геология. - М.:МГУ, 1966.- 348 с.
24. Белоусов В.В. Основы структурной геологии.- М.:Недра, 1985.205 с.
25. Гзовский М.В. Основы тектонофизики.- М.:Наука, 1975.- 535 с.
26. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. 227 с.
27. Бредихин И.С. Южно-Якутский (Алданский) угольный комплекс // Угленосность и угленосные формации Якутии.- М.: Наука, 1966.- С.70-103.
28. Парфенов Л.М. Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии.- Новосибирск: Наука, 1984.- 191 с.
29. Сяндюков Ш.А., Каримова С.С., Пахомов А.Н. и др. Стратиграфия мезозойских угленосных отложений Южно-Якутского бассейна // Стратиграфия, палеогеография, литология Южно-Якутского угольного бассейна и прогноз его угленосности.- Л.- 1979.- С. 17-22.
30. Геодинамические модели сейсмических поясов Якутии / Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Гриненко О.В. и др.- Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987.- 46 с.
31. Кац Я.Г., Рябухин А.Г., Трофимов Д.М. Геологические исследования из космоса. М., Обзор ВИЭМС, 1975г. —75с
32. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия) / Отв.ред. Л.М.Парфенов, М.И.Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
33. Семинский К.Ж.,Гладков А.С. Новый подход к изучению тектонической трещиноватости в разрывных зонах // Геол. и геоф.- 1991.- N 5.- С. 130-140.
34. Николаев В. В., Семенов Р. М., Солоненко В. П., и др. Главные сейсмоопасные зоны, пересекаемые трассой БАМ. Новосибирск: Наука, 1978а, с. 100 – 122;
35. Хромовских В.С.,Солоненко В.П.,Семенов Р.М. и др. Палеосейсмогеология Большого Кавказа.- М.: Наука, 1979.- 188 с.
36. Солоненко В.П. Сейсмогеология и проблемы предсказания землетрясения // Геол. и геол.- 1974.- N 5.- С. 168-178.

37. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Сейсмотектоническая позиция западного фланга Олекмо-Становой зоны (Южная Якутия). Отечественная геология № 5, 2007. – С. 114–117.

38. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Стром А.Л. Сейсмотектонические деформации центральной части Алданского щита // Отечественная геология, 2010, № 5. С.84-89.

39. Сейсмическое районирование территории СССР. –М.: Наука, 1980. 307 с.

40. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. –М.: Наука, 2004. 779 с.

41. Шибаяев С.В., Козьмин Б.М., Гунбина Л.В., Мяки К.Д., Фуджита К., Петров А.Ф., Тимиршин К.В. Сейсмотектонические процессы и фокальные механизмы землетрясений северо-востока Азии // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». – Обнинск: ГС РАН. 2008. С. 337–342.

42. Characteristics of active faults // Спец. Issue J. Struct. Geol. 1991. V. 13. № 2. 240 p.

43. Имаев В. С., Стром А.Л., Чипизубов А. В., Смекалин О. П., Имаева Л. П., Лободенко И. Ю. // Геотектоника 2013, №,с. 78-86.

44. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seism. Soc. Amer. 1994. V. 84. P. 974–1002.

45. Электронный ресурс <http://gis-lab.info/qa/google-earth.html>

46 Кочетков В. М. Сейсмичность Якутии М.: Наука, 1966. 92 с.

47. Солоненко В. П., Хилько С. Д., Николаев В. В. О сейсмотектонике и морфоструктуре востока Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий – В кн.: Сейсмотектоника, глубинное строение и сейсмичность северо-востока Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1975, с. 4 – 13.

48. Пшенников К. В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. М.: Наука, 1965. 87 с.

49. Каток А. П. Повторные толчки и их влияние на параметры сейсмического режима. – В кн.: Динамика земной коры. М.: Наука, 1965, с. 15 – 26].

50. Физические основания поисков и методов прогноза землетрясений/ Под ред. М. А. Садовский. М.: Наука, 1970. 192 с.

51. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В. и др. Южно-Якутское землетрясение 20 апреля 1989 года. Ю-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 1992. 45 с.

52. Козьмин Б.М. Якутия // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 181–189.

53.-Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.