

НОВЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ, СТРАТИГРАФИЯ КВАРТЕРА И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО ВЕРХОЯНЬЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК ЯКУТИИ)

Л.П. Имаева, В.С. Имаев, Б.М. Козьмин, А.И. Сергеев, И.Н. Белолубский, К. Зигерт

Многолетние геолого-структурные и сейсмологические наблюдения выявили в конце 20-го века на северо-востоке Азиатского континента гигантский Арктико-Азиатский сейсмический пояс (ААСП), соединяющий проявления сейсмичности в Северном Ледовитом и Тихом океанах [Карасик, 1968; Зоненшайн, Савостин, 1979; Coook et al., 1986; Имаев и др., 2000]. Как показывают материалы приводимые в данной статье, в сейсмостектоническом плане северо-восточный фланг ААСП может быть подразделен на два самостоятельных сегмента (Арктический или Лаптевоморский и Хараулахский) с развитием в их пределах характерных структурно-фациальных зон и тектонических парагенезисов, обусловленных определённым типом напряженного состояния земной коры и как следствие этого – особенностями проявления современных геодинамических процессов.

Арктический (Лаптевоморский) сегмент

Сейсмичность в акватории Северного Ледовитого океана представлена «цепочкой» эпицентров землетрясений, прослеживающихся параллельно линии островов Шпицберген – Земля Франца Иосифа – Северная Земля от трансформного разлома Де-Гира, трассируемого между островами Шпицберген и Гренландия, к устью реки Лены (рис.1). Пространственно она тяготеет к структурам срединно-океанического хребта Гаккеля, вытянутого на 1700 км при ширине 80–160 км от Гренландского шельфа к шельфу моря Лаптевых. В Арктической сейсмической зоне с начала века отмечено свыше 150 местных землетрясений с магнитудой 4,5–7,0. Очаги землетрясений группируются здесь, главным образом, в пределах земной коры [Аветисов, 1996; Fujita et al., 1990].

Арктический хр. Гаккеля входит в мировую систему подводных срединно-океанических хребтов Земли и является ее северным фрагмен-

том, продолжающим Североатлантический срединно-океанический хребет в бассейн Северного Ледовитого океана. Сейсмичность хребта Гаккеля обусловлена процессами рифтогенеза и соответственно растяжением земной коры, вызывающим спрединг океанического дна [Грачев и др., 1973; Savostin, Karasik, 1981; Grachev, 1982]. Это подтверждается данными фокальных механизмов (сбросовые подвижки в очагах местных землетрясений) и особенностями пространственного распределения магнитного поля. Так, в центральной части хр. Гаккеля число аномалий магнитного поля составляет 47, а на его южном окончании оно уменьшается до 6. При этом скорость спрединга понижается от 0,6–0,7 см/год в центре рифта хр. Гаккеля до 0,3 см/год на его южном окончании [Карасик, 1968].

Имеющиеся в настоящее время морские геофизические данные, позволили выявить характерные особенности строения шельфа [Аветисов, Гусева, 1991; Аветисов, 1996; Грамберг и др., 1990]. Основными структурными единицами шельфа являются протяженные грабены и разделяющие их поднятия (горсты), занимающие его южную часть, и образующие рифтовую систему моря Лаптевых (рис.2). По последним данным, она прослеживается далее на север за пределы изученной территории и, по-видимому, сочленяется в области континентального склона с зоной хр. Гаккеля. Ширина южной части рифтовой системы 350–400 км, длина 400–450 км. Система узких грабенов и прогибов северо-западного простирания (Усть-Ленский, Омолойский, Усть-Янский, Чондонский, Бельковско-Святоносский и др.), имеющих длину до 200–250 км при ширине 40–60 км, была выявлена на дне моря Лаптевых по сейсмическим данным, полученным с помощью МОВ объединением «Севморгеология». Наличие этих грабенов подтверждается также особенностями распределения поля силы тя-

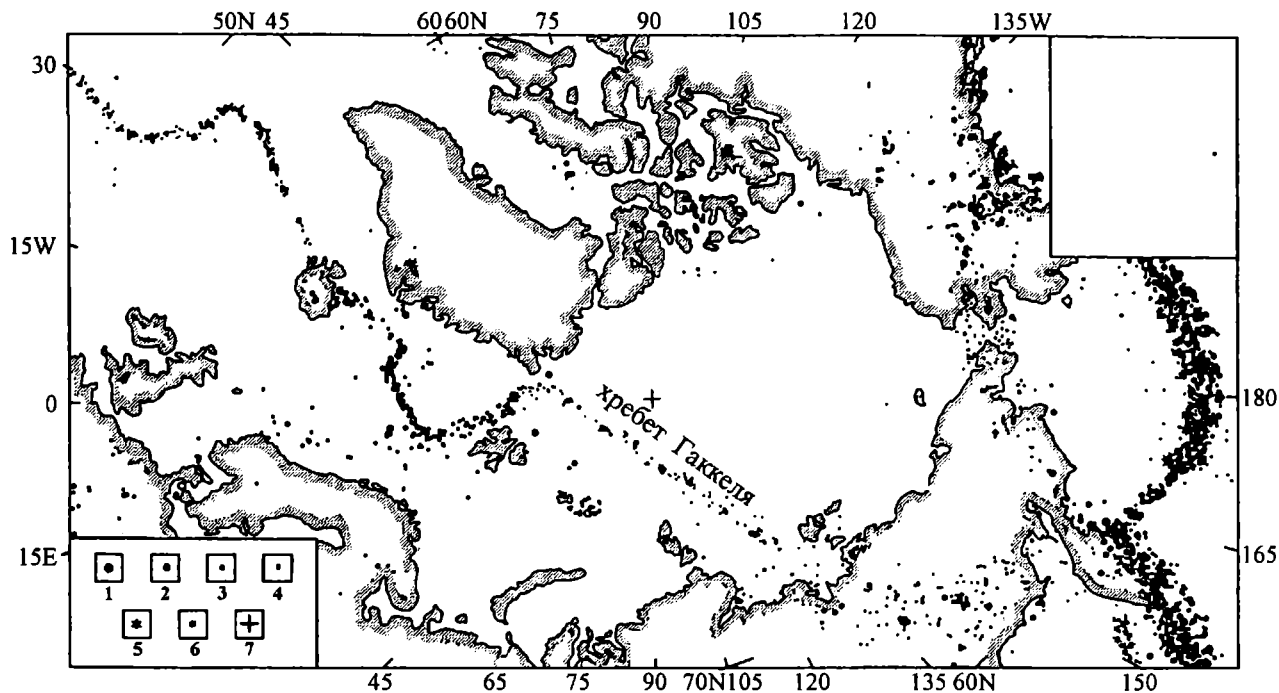


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений Арктического региона и прилегающих территорий по [Атлас океанов...,1980] с дополнениями

1-4 – Магнитуда землетрясений с глубиной очага 0-60 км: 1 – $M > 7.0$; 2 – $6.0 < M < 6.9$; 3 – $5.0 < M < 5.9$; 4 – $4.0 < M < 4.9$; 5 – землетрясения с глубиной очага $60 < h < 300$ км; 6 – землетрясения с глубиной более 300 км; 7 – расположение Северного полюса.

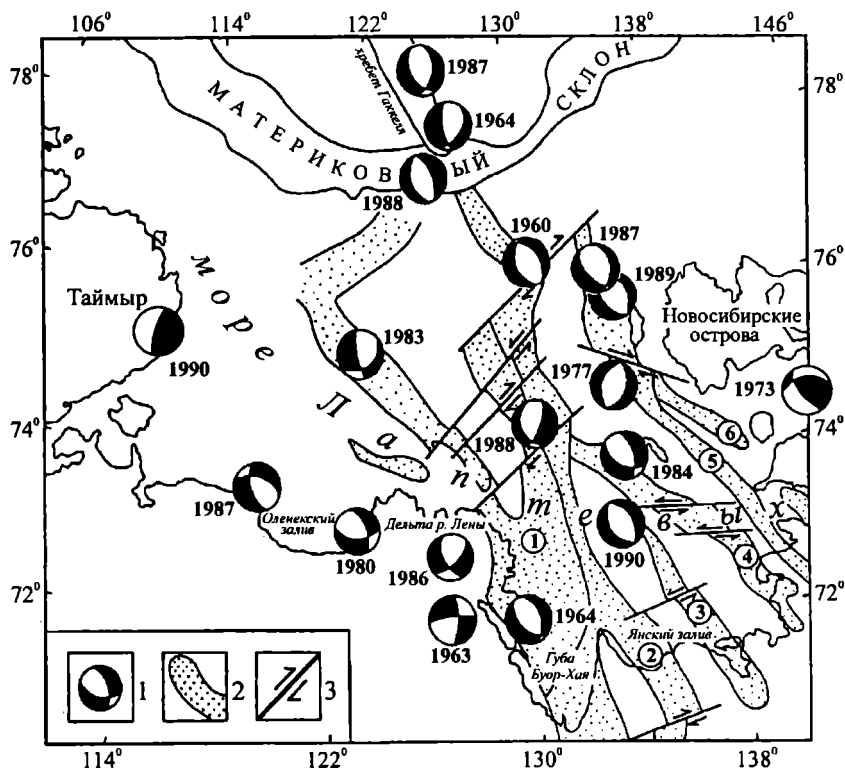


Рис. 2. Активные разломы и фокальные механизмы землетрясений ($M > 4.5$) шельфа моря Лаптевых

1 – фокальные механизмы землетрясений и год их возникновения (черные – области действия напряжений растяжения, белые – сжатия); 2 – грабены дна моря Лаптевых (1 – Усть-Ленский, 2 – Усть-Янский, 3 – Чондонский, 4 – Широстонский, 5 – Бельковско-Святоносский, 6 – Ляховский), 3 – активные сдвиги, выявленные по геофизическим данным.

жести в восточной части моря Лаптевых в виде чередования узких линейных высокоградиентных зон северо-западного и субдолготного простираний, протягивающихся от континентального склона на побережье. Магнитное поле в переходной зоне практически однородно в отличие от резкой половой картины магнитных аномалий, соответствующей линейной структуре хребта Гаккеля. Названные впадины разделены между собой и ограничены совокупностью подводных поднятий: Центрально-Лаптевским поднятием, Шилонской структурной террасой, Столбовским горстом и др.

Наиболее ярким элементом рифтовой системы является меридиональный Усть-Ленский грабен, которому в рельефе дна соответствует одноименная депрессия. Он пересечен рядом сейсмических профилей и уверенно прослежен на расстоянии 400–420 км от южной оконечности зал. Буор-Хая до 75° с. В северной части ширина грабена достигает 150–170 км. К югу он постепенно сужается и в средней части зал. Буор-Хая его ширина составляет 30–40 км. Структура грабена довольно сложная. Он на всем протяжении ограничен сбросами с амплитудой вертикального смещения 0,3–0,9 сек., что соответствует приблизительно 0,3–1,0 км. В северной и центральной частях грабена его борта кулисообразно смещены серией субширотных сдвигов. Внутри грабена также прослеживается система сбросов, амплитуда смещений по которым в осевой зоне достигает 1,0 сек (более 1 км). Суммарная же амплитуда погружения фундамента в осевой части грабена более 5 сек, что указывает на большие (до 10 км) мощности его осадочного заполнения [Драчев, 2002; Анохин и др., 2003].

Наиболее наглядно Усть-Ленский грабен представлен на геологическом профиле (рис. 3), составленном в Институте литосферы окраинных и внутренних морей РАН [Богданов и др., 1998]. В основу его построения положены материалы сейсмопрофилирования, выполненного объединением «Севморгеология» [Граumberг и др., 1990]. Названный профиль пересекает вкрест простирания структуры рифтовой системы моря Лаптевых в ее центральной части от дельты р. Лены до Новосибирских островов. На бортах Усть-Ленского грабена отчетливо прослеживаются сбросовые уступы. При этом, сбросы смещают весь комплекс кайнозойских осадков от эоценового до четвертичного возраста.

От восточного борта Усть-Ленского грабена между 72° и 73° с. ш. ответвляется более узкий (40–50 км) Усть-Янский грабен, который протягивается к побережью Янского залива и далее на континент. Здесь, в низовьях р. Яны его осадоч-

ное заполнение пройдено параметрической скважиной на глубину 420 м. В бортах грабена отмечаются сбросы с амплитудами 0,3–0,5 сек.

Разрывные нарушения восточной части шельфа моря Лаптевых непосредственным образом связаны с рассмотренной окраинно-континентальной рифтовой системой. Выделяется две разновидности разломов: субдолготные и северо-западные сбросы и субортогональные им сдвиги. Последние представлены тремя системами: субширотные (восток-северо-восточные), северо-восточные и северо-западные, которые согласно геофизическим данным в плане смещают отложения впадин с амплитудой до 2 км.

Сейсмичность хр. Гаккеля представлена узкой (60–80 км) полосой эпицентров землетрясений, которая на шельфе моря Лаптевых расширяется до 400–600 км, охватывая территорию между полуостровом Таймыр, дельтой р. Лены и Новосибирскими островами (рис. 4). Землетрясения происходят здесь на глубинах 4–36 км в пределах земной коры [Аветисов, Гусева, 1991]. На фоне диффузной сейсмичности шельфа выделяется несколько субдолготных (северо-западных) полос с повышенной плотностью землетрясений. Главная полоса, куда тяготеют все крупные события с магнитудой $M=5,5-7,0$, фиксируется от хр. Гаккеля в направлении Янского залива моря Лаптевых, обозначая границу Евразийской и Североамериканской плит. Очаги землетрясений этой полосы сосредоточены во впадинах Лаптево-морской рифтовой системы или тяготеют к их бортам. По краям шельфа моря Лаптевых параллельно основной полосе обнаруживаются еще две полосы слабых землетрясений: западная – Лено-Таймырская и восточная – Новосибирских островов. Первая – тянется через дельту р. Лены вдоль побережья Оленекского залива моря Лаптевых к полуострову Таймыр и, возможно, к островам Северная Земля. Вторая – в виде субдолготной линии эпицентров следует из акватории Восточно-Сибирского моря через Благовещенский пролив между островами Фаддеевский и Новая Сибирь к северу.

За прошлый век в Лено-Таймырской полосе было зарегистрировано более 300 слабых землетрясений. Внутри неё наблюдается ряд отдельных максимумов сейсмичности. Так, скопление эпицентров землетрясений фиксируется на участке Оленекской протоки дельты р. Лены и в Оленекском заливе моря Лаптевых, где отмечено событие 1980 г. с $M=5,4$ с небольшой серией афтершоков (около 20). Второе скопление эпицентров выявлено к западу от первого в том же заливе вблизи полуострова Терпий-Тумса. Оно пред-

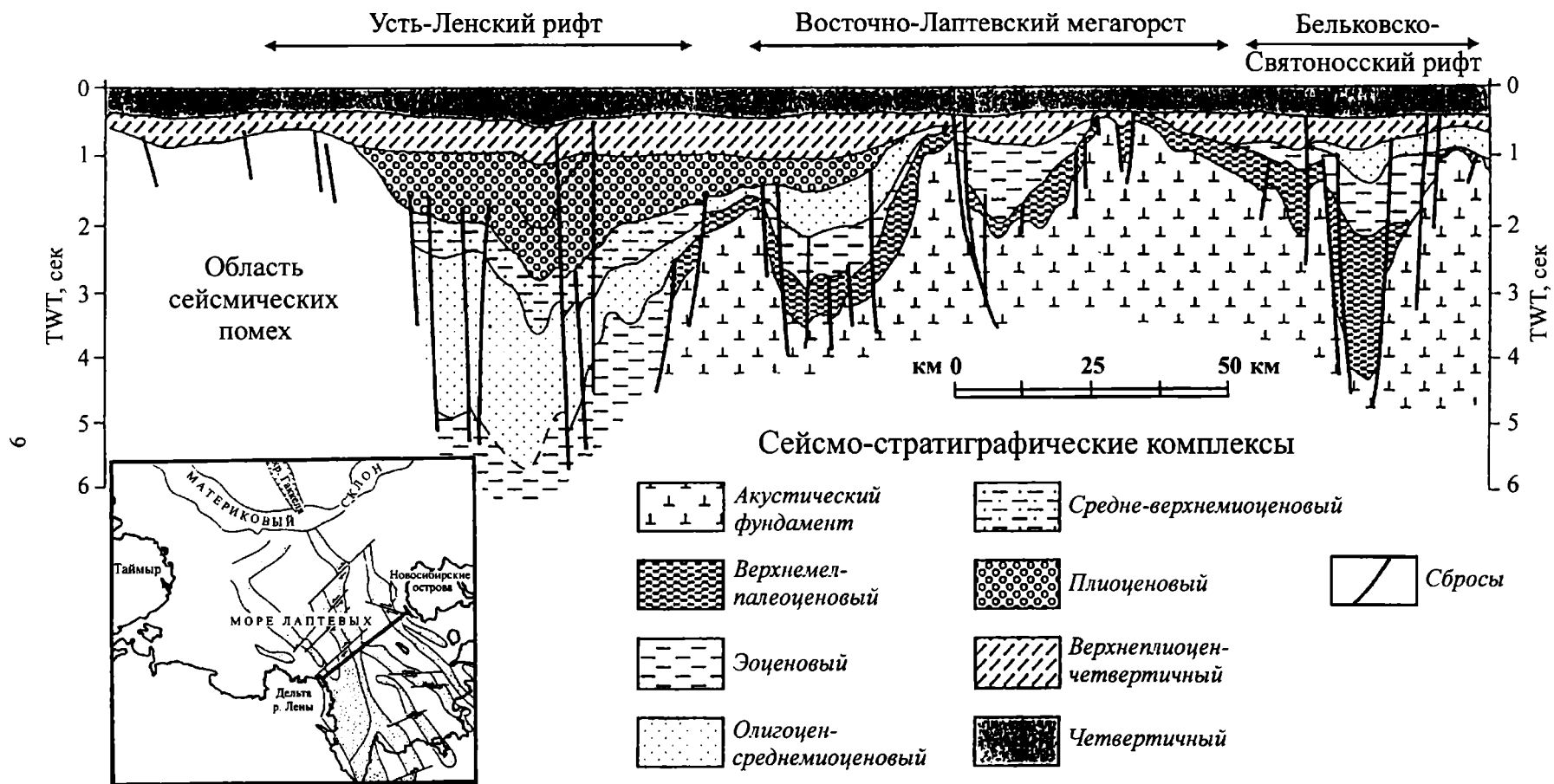


Рис. 3. Геологический профиль восточной части шельфа моря Лаптевых [по Н.А.Богданову и др., 1998]

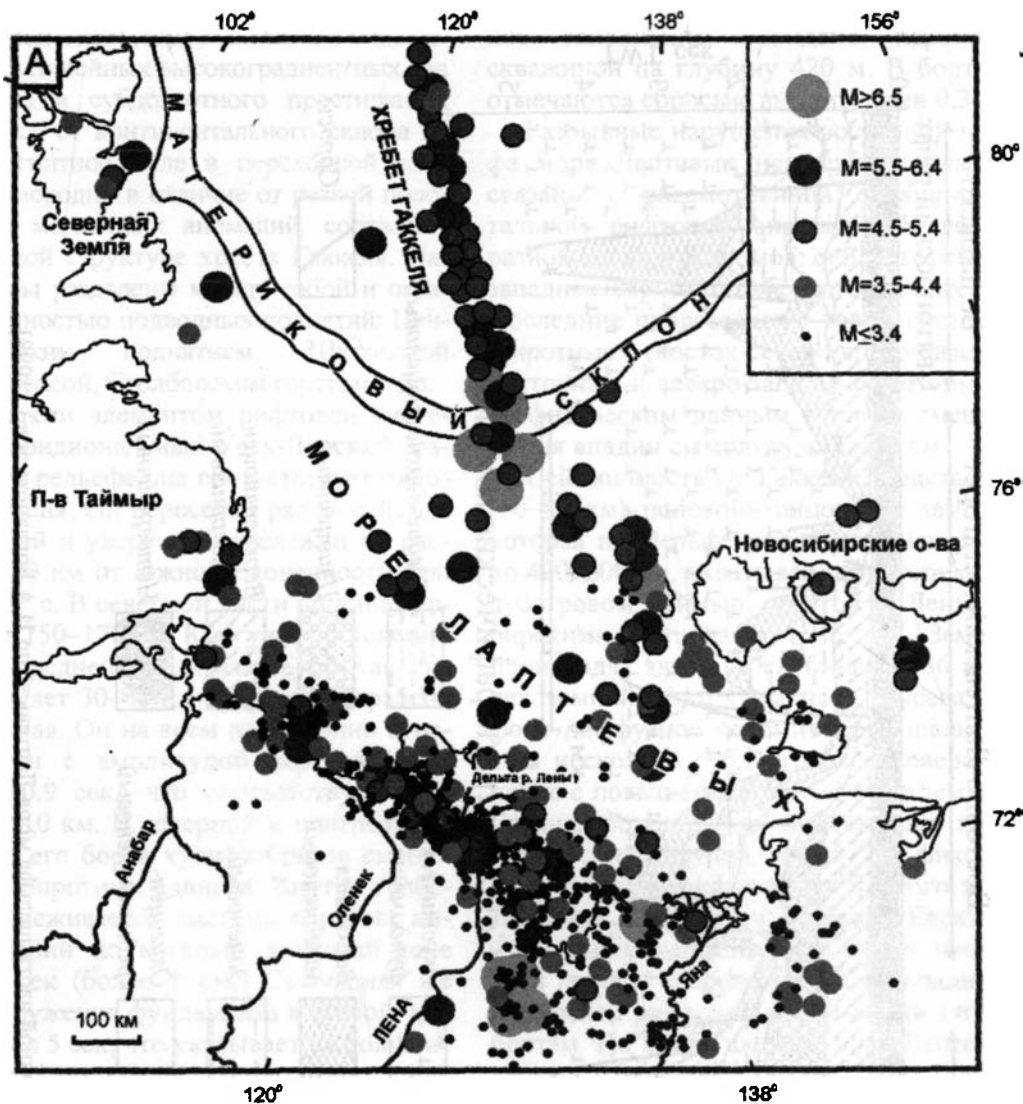


Рис.4. Схема эпицентров землетрясений шельфа моря Лаптевых и прилегающих районов за 1909–2003 г. с $M = 3.4-7.0$

ставляет рой землетрясений, которые происходили в ноябре 1987 г. – мае 1988 г. (43 толчка). Наиболее сильное событие из них отмечено 25.11.1987 г. с $M=5,1$. И наконец, третья группа землетрясений тяготеет к полуострову Таймыр, где на его восточном побережье и примыкающей части шельфа произошло до 10 событий. Самыми значительными из них были подземные толчки, произошедшие в 1964, 1973, 1986, 1990 и 1996 годах в интервале магнитуд $M=3,5-5,0$.

Число событий во второй (восточной) полосе землетрясений в районе Новосибирских островов и Восточно-Сибирском море значительно меньше, чем в Лено-Таймырской зоне. Здесь за последние 60 лет отмечено лишь несколько десятков слабых землетрясений. Самое крупное событие имело место 15.12.1973 г. с $M=4,9$ в Восточ-

но-Сибирском море. Оно сопровождалось небольшой последовательностью афтершоков.

Изучение поля тектонических напряжений, действующих на шельфе моря Лаптевых, проводилось на основе анализа фокальных механизмов землетрясений с $M \geq 4,8-4,9$. При этом, использовались данные по механизмам очагов землетрясений, найденных методом тензора момента центроида из каталога Harvard CMT и «Бюллетеня международного сейсмологического центра (ISC). В результате для главной эпицентральной зоны – границы между Евразийской и Североамериканской плитами были проанализированы фокальные механизмы 16 сильных землетрясений с $M=5,5-7,0$, произошедших в 1964–2003 гг. на юго-восточном окончании арктического хребта Гаккеля и в рифтовой зоне шельфа моря Лап-

тевых (рис. 2). В рассматриваемых районах наблюдается устойчивое поле тектонических напряжений растяжения, ориентированного субширо́тно вќрест прости́рания основных структурных элементов, а подвижки в очагах землетрясений соответствуют сбросам.

Для определения типа тектонических движений в очагах землетрясений Лено-Таймырской полосы использовались параметры фокальных механизмов из бюллетеня ISC, каталога Harvard CMT, а также собственных диаграмм, построенных по данным Р-волн. Были рассмотрены решения для 4 землетрясений, отмеченных в дельте р. Лены. Все они характеризуются сбросовыми смещениями в их очагах, но ориентация напряжений растяжения в сравнении с таковыми в главной сейсмической полосе шельфа моря Лаптевых изменилась с широтной на северо-восток-юго-западную.

Наибольший интерес представляют два фокальных механизма: Таймырского землетрясения 1990 г., отмеченного на западной окраине шельфа моря Лаптевых, и Ляховского события 1973 г., возникшего в Восточно-Сибирском море. Для них удалось найти решения, благодаря сейсмограммным записям первых вступлений продольных сейсмических волн, зарегистрированным сейсмостанциями в Якутии, Прибайкалье, Алтае-Саянской зоне и Магаданском регионе, а также сведениям из оперативных бюллетеней ИФЗ РАН и ГС РАН и бюллетеней мировой сети NEIC и ISC.

Механизм очага Таймырского землетрясения имел следующие параметры плоскостей разрыва: первая – STK=178, DP=70, SLIP=90; вторая – STK=358, DP=20, SLIP=90. При этом, простирание обеих плоскостей разрыва – субдолготное, что совпадает с пространственной ориентацией фиксируемых в рельефе молодых разломов. Одна из них круто (угол 70°) падает на запад, а другая – под небольшим углом (20°) на восток. Подвижка по первой возможной плоскости разрыва соответствует взбросу, а по второй – надви́гу. Главные напряжения сжатия и растяжения были ориентированы в субширо́тном направлении (азимут соответственно 268° и 88°) под углами в 25° и 55° к горизонту.

В очаге Ляховского землетрясения 1973 г. одна из плоскостей сместителя была ориентирована в направлении юго-восток-северо-запад (азимут 156°) с крутым падением на юго-запад (угол 66°), другая – близширо́тная (азимут 277°) с падением на северо-восток (угол 41°). Кинематический тип движения в очаге – взброс [Fujita, Kozmin, 1994].

Выявленные зоны эпицентров землетрясений (Лено-Таймырская и Новосибирских островов) совместно с основной полосой, возможно, оконтуривают

на шельфе моря Лаптевых два блока: западный (Лаптевоморский) и восточный (Новосибирских островов), расположенных по обе стороны от границы Евразийской и Североамериканской плит. При этом, на западной границе Лаптевоморского блока (район Таймыра) и восточной границе блока Новосибирских островов (район шельфа Восточно-Сибирского моря) по данным фокальных механизмов, по-видимому, существует режим сжатия как реакция на рифтинг, действующий в пределах основной зоны эпицентров (хр. Гаккеля). Именно образование названных блоков, возможно, объясняет наличие диффузной сейсмичности на шельфе моря Лаптевых.

Хараулахский сегмент

В тектоническом отношении Хараулахская сеймотектоническая зона является северным сегментом Верхояно-Колымской складчатой области, испытавшей главную фазу складчатости в раннем мелу [Парфенов, 1984]. Ее заложение в рифее на переработанном крае Сибирской платформы и длительная эволюция в качестве обширной пассивной континентальной окраины, аккумулировавшей мощную многокилометровую призму осадков, наложили определенный отпечаток на структуру и характер наблюдаемых здесь дислокаций.

События кайнозойской истории этой территории связаны с взаимодействием Североамериканской и Евразийской литосферных плит на Северо-востоке Азии вдоль границы, проходящей через северные отроги Верхоянского хребта. Важнейшим следствием этого взаимодействия явился рифтогенез на продолжении спредингового хребта Гаккеля, приведший к частичной деструкции континентальной коры на обширных площадях, в том числе и в Северном Верхоянье [Грачев и др., 1973].

Кайнозойский структурно-вещественный комплекс представлен в основном палеоцен-эоценовыми континентальными отложениями, залегающими с резким угловым несогласием на различных уровнях докембрийского и мезозойского комплексов сложнодислоцированных пород. Они выполняют ряд субдолготно ориентированных впадин, наиболее известными из которых являются Кенгдейская, Кунгинская, Согинская, Быковской протоки. Их заложение в палеогене обусловлено наиболее ранней фазой рифтогенеза в области континентального продолжения спредингового хребта.

В некоторых местах палеогеновые осадки смяты в складки и разбиты надви́гами и взбросами, что указывает на проявление в кайнозое фазы сжатия. Результаты специальных структурных исследова-

дований, позволяют говорить о субширотной ориентировке оси сжатия, а рассмотрение данных по кайнозойским разрезам сопредельных территорий приводит к выводу о среднемиоценовом возрасте данного события [Савостин, Драчев, 1988].

Следующим эпизодом кайнозойской истории района была фаза растяжения в плиоцен-четвертичное время. Молодые сбросы, смещающие неогеновую кору выветривания, известны вдоль побережья залива Буор-Хая. Ось растяжения была ориентирована в субширотном или северо-восточном направлении.

По данным Р.О. Галабала [1987] в центральной части дельты р. Лена подошва голоценовых аллювиальных отложений прослеживается у современного уровня Трофимовской протоки, а в ее северо-восточной оконечности скважина, пробуренная до глубины 25 м, ее не достигла. В западной части дельты зырянско-сартанские слои смещены по разлому на 30 м. Формирование сбросовых структур в этом районе свидетельствует о фазе растяжения с осями предположительно субширотного и северо-восточного направлений [Имаев и др., 1990].

В результате проведенных структурно-фациальных исследований квартера Северного Верхоянья выделены Хараулахская и Буорхаинская структурно-фациальные подзоны (таблица) Установлено широкое распространение средне-неоплейстоценовых отложений при практическом отсутствии осадков позднего плиоцена – первой половины неоплейстоцена. Наиболее древней из четвертичных отложений является улаханюряхская свита средне-неоплейстоценового возраста, прослеживаемая в приводораздельных частях и занимающая верхний геоморфологический уровень. Последующая активизация тектонических движений, выразившаяся в воздымании Хара-Улахского хребта, обусловила формирование в Хараулахской структурно-фациальной подзоне комплекса (лестницы) цокольных террас с отложениями преимущественно аллювиального генезиса в возрастном диапазоне поздний неоплейстоцен – голоцен.

В Хараулахской структурно-фациальной подзоне (Нижнехараулахский и Элидэпский участки) при нисходящих движениях происходило последовательное накопление поздне-неоплейстоценовых аллювиальных осадков древних долин (первая ступень, оягосский, молотковский горизонты) и едомных льдистых алевроитов сартанского времени. В Буорхаинской структурно-фациальной подзоне формировалась толща едомных льдистых алевроитов молотковско-сартанского возраста.

В целом стратиграфическая схема четвертичных отложений Северного Верхоянья коррели-

руется на уровне региональных стратиграфических горизонтов со Средней Сибирью, в частности с Нижней Леной.

В неотектоническом отношении Хараулахская сейсмоструктурная зона представляет монолитное обширное сводовое поднятие Северо-Верхоянского блока, ограниченное с запада и востока надвигами, полностью соответствующее мезозойской структуре одноименного мегоантиклинория [Гусев, 1979]. О суммарной амплитуде, дифференцированности структуры можно судить по положению вершинной поверхности, испытывавшей сводовое изгибание и занимающее определенное гипсометрическое положение. Максимальные амплитуды в центральной части свода достигают 2000 м и уменьшаются на его крыльях до 1000–1200 на востоке и 500 м на западе. Границы передовых хребтов западного фланга совпадают с четко выраженной в рельефе системой разломов надвиговой кинематики. В центральной части свода отмечены правосдвиговые перемещения. Яркой чертой рельефа Северо-Верхоянского блока является чередование субдолготных поднятий и понижений, совпадающих, в целом, с основными тектоническими элементами территории (рис. 5).

Первые инструментальные данные о сейсмичности Северной Якутии относятся к 1909 г., когда мировой сетью сейсмических станций было зарегистрировано землетрясение в море Лаптевых вблизи дельты р. Лены с магнитудой $M=6,8$. В дальнейшем, за период 1914–1926 гг. этой системой наблюдений был зафиксирован еще ряд землетрясений с магнитудами $M=5,5–6,0$ м и эпицентрами в пределах моря Лаптевых. Самые сильные землетрясения (Булунические) произошли в 1927–1928 гг. в районе Хараулахского хребта (Северное Верхоянье). Эпицентры пяти Булунических землетрясений с магнитудами $M=5,8–6,8$ отмечены в 140–160 км к югу от пос. Тикси.

В районе исследований известны также другие близкие сильные Тит-Арынское землетрясение 1963 г. с $M=5,0$; Быковское землетрясение 1964 г. с $M=5,3$. В 1980 г. здесь произошло два землетрясения: с $M=5,7$ в Оленекском заливе моря Лаптевых и с $M=4,0$ вблизи Тикси. Следующее ошутимое событие с $M=4,5$, было отмечено в дельте р. Лены в 1986 г., а последнее местное сильное землетрясение было зарегистрировано 1 марта 1991 г. с $M=5,1$ в 105 км к северо-западу от Тикси.

Детальные структурно-геологические исследования, проведенные на территории Хараулахской сейсмоструктурной зоны, позволили авторам получить вполне представительный материал по характеру развития активных разломов в ней.

СХЕМА СТРАТИГРАФИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ВЕРХОЯНЬЯ

Таблица

Общая шкала		Корреляция местных стратиграфических подразделений								
Система	Надрядел	Раздел	Эпоха	Ступень	Надгоризонт	Горизонт	Северо-Верхоянская структурно-фациальная зона			
							Хараулахская структурно-фациальная подзона	Элидэпская структурно-фациальная подзона		
							Нижнехараулахский участок	Элидэпский участок		
ЧЕТВЕРТИЧНАЯ (КВАРТЕР)	ПЛЕЙСТОЦЕН	НЕОПЛЕЙСТОЦЕН	Верхнее	Вторая	ЕДОМНЫЙ	Сарганский	<p>Аллювиальные галечники, пески, торфяники низкой поймы, русел, кос. Споры, пыльца: ДК=ТК, СП-доминанты <i>Pinus pumila</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Gramineae</i>; субдоминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> кустарниковые; сопутствующие <i>Larix</i>, <i>Betula</i> древовидные, <i>Ericales</i>, <i>Artemisia</i>, <i>Bryales</i>, <i>Polypodiaceae</i>.</p> <p>¹⁴C 3120 ± 20 л. н. (МАГ - 1440)</p> <p>1 - 4 м</p>	<p>Аллювиальные галечники, морские галечники, пески. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Gramineae</i>, <i>Alnaster</i>, субдоминанты <i>Betula</i> куст., <i>Syringaceae</i>, <i>Ericales</i>, сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Bryales</i>, разнотравье, <i>Larix</i>.</p>	<p>Аллювиальные галечники, пески I надпойменной цокольной террасы, высокой поймы. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Lycododium</i>; субдоминанты <i>Betula</i> куст., <i>Syringaceae</i>, <i>Gramineae</i>; сопутствующие <i>Betula</i> древовидн., <i>Ericales</i>, <i>Artemisia</i>, разнотравье, <i>Bryales</i>, <i>Sphagnum</i>.</p> <p>¹⁴C 8090 ± 100 л. н. - 8850 ± 190 л. н. (МАГ - 1438, 1439)</p> <p>2 - 6 м</p>	<p>Озерно - болотные (алесный комплекс) алевроиты торфяники II надпойменной эрозивной террасы. Споры, пыльца: ТК, ДК, СП - доминанты <i>Syringaceae</i>; субдоминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Artemisia</i>; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Salix</i>, <i>Bryales</i>.</p> <p>2 - 4 м</p>
							<p>Аллювиальные галечники, пески II надпойменной цокольной террасы. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Ericales</i>; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, разнотравье; сопутствующие <i>Bryales</i>, <i>Sphagnum</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Larix</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>.</p> <p>Фауна: <i>Mammuthus primigenius</i> Blum.</p> <p>20 м</p>	<p>Аллювиальные галечники, пески. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст.; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Ericales</i>; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Larix</i>.</p>	<p>Аллювиальные галечники, пески II надпойменной цокольной террасы. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Ericales</i>, <i>Artemisia</i>, <i>Polypodiaceae</i>; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Larix</i>, <i>Salix</i>, <i>Sphagnum</i>.</p>	<p>Пески, алевроиты, торфяники, клинья льда. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Ericales</i>; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, разнотравье; сопутствующие <i>Bryales</i>, <i>Sphagnum</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Larix</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>.</p> <p>Фауна: <i>Mammuthus primigenius</i> Blum.</p>
							<p>Аллювиальные галечно валунные отложения II и III надпойменных цокольных террас. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, субдоминанты <i>Betula</i> куст., <i>Ericales</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Gramineae</i>; сопутствующие <i>Artemisia</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Polypodiaceae</i>, <i>Larix</i>.</p> <p>2 - 4 м</p>	<p>Аллювиальные галечники, пески. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст.; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Ericales</i>; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Larix</i>.</p>	<p>Озерные гравийно - песчаные отложения. Споры, пыльца: ТК, СП, ДК - доминанты (попеременно) <i>Gramineae</i>, <i>Bryales</i>, <i>Selaginella sibirica</i>; субдоминанты <i>Syringaceae</i>, <i>Artemisia</i>; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Polypodiaceae</i>.</p> <p>20 м</p>	<p>Галечники. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Betula</i> куст., <i>Alnaster</i>, субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Ericales</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Artemisia</i>; сопутствующие разнотравье, <i>Larix</i>, <i>Selaginella sibirica</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>.</p>
							<p>Аллювиальные галечники террасового комплекса палеодолин, галечно - валунные отложения комплекса цокольных террас от V и выше. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст.; субдоминанты <i>Betula</i> древовидн., <i>Ericales</i>; сопутствующие <i>Artemisia</i>, <i>Pinus pumila</i>, <i>Larix</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>, <i>Salix</i>, разнотравье, <i>Picea obovata</i>, <i>Pinus sylvestris</i>, <i>Alnus</i>, <i>Menyanthes</i>, <i>Ovoidites</i>, <i>Polygonum amphyium</i>, <i>Lycododium complanatum</i>, <i>L. clavatum</i> и другие.</p> <p>1 - 2 м</p>	<p>Озерно - аллювиальные отложения высокой поймы</p>	<p>Аллювиально - делювиальные галечно - шрибковые отложения</p>	<p>Частично гравийники. Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Ericales</i>; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Pinus s/g Haploxyton</i>; сопутствующие <i>Larix</i>, <i>Salix</i>, <i>Picea</i>, разнотравье.</p> <p>Фауна: <i>Mammuthus primigenius</i> Blum.</p>
							<p>Улаханюржская свита. Озерные алевроиты - песчаные отложения. Споры, пыльца: ТК, ДК, СП - доминанты (попеременно) <i>Caryophyllaceae</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Gramineae</i>; субдоминанты <i>Artemisia</i>, разнотравье; сопутствующие <i>Alnaster</i>, <i>Betula</i> куст., <i>Salix</i>, <i>Bryales</i>, <i>Polypodiaceae</i>.</p> <p>Фауна: <i>Ovibos moschatus pallantis</i> H. Smith.</p> <p>15 м</p>	<p>Аллювиально - делювиальные галечно - шрибковые отложения</p>	<p>Улаханюржская свита. Озерные алевроиты, пески. Споры, пыльца: ТК, ДК, СП - доминанты <i>Syringaceae</i>, <i>Gramineae</i>; субдоминанты <i>Caryophyllaceae</i>, <i>Artemisia</i>; сопутствующие <i>Betula</i> куст., <i>Alnaster</i>, <i>Polypodiaceae</i>.</p> <p>5-6 м</p>	<p>Споры, пыльца: ДК, ТК, СП - доминанты <i>Alnaster</i>, <i>Gramineae</i>, <i>Betula</i> куст.; субдоминанты <i>Gramineae</i>, <i>Syringaceae</i>, <i>Betula</i> вр. древов.; сопутствующие <i>Pinus s/g Haploxyton</i>; <i>Larix</i>, <i>Salix</i>, <i>Selaginella sanguinolenta</i>.</p>
							<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>
							<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>
							<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>
							<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>
							<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>	<p>?</p>

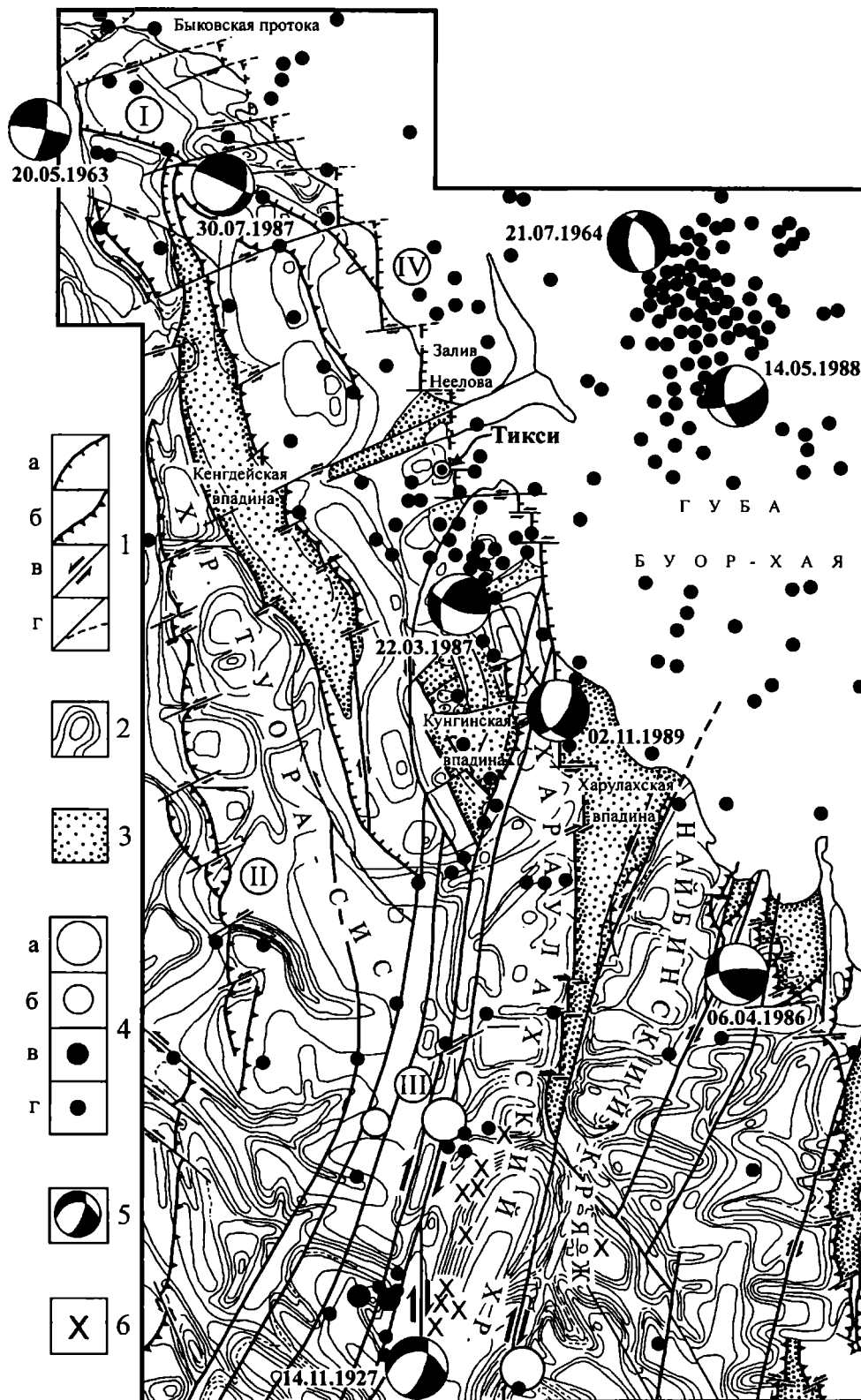


Рис.5. Схема сеймотектоники Хараулахской зоны

1 – активные разломы, соответственно: сбросы, надвиги, сдвиги и неустановленной природы; 2 – морфоизогипсы; 3 – кайнозойские впадины; 4 – эпицентры землетрясений, соответственно с магнитудой $M > 6.8$; $5.0 < M < 6.7$; $4.9 < M < 4.0$; $M < 3.9$; 5 – фокальные механизмы землетрясений, рядом проставлена дата их возникновения; 6 – сейсмодислокации.

На схеме активных разломов Хараулахской зоны, составленной по данным аэрофото – космодешифрирования, трещиноватости горных пород и фокальным механизмам, показаны системы региональных и локальных разломов, активных в кайнозое (рис. 6). При этом их кинематика подтверждается массовыми замерами тектонической трещиноватости приводимой на соответствующих диаграммах и анализом фокальных механизмов землетрясений. По особенностям пространственного распределения, протяженности и кинематики все дизъюнктивные нарушения объединены в четыре основные группы: Приморская система сбросо-сдвигов, Западнорехоянская система надвигов, Хараулахская система сдвигов-сбросов и Буорхайнская система сбросов.

На крайнем севере территории обособляется **П р и м о р с к а я система (I)**. Наиболее значимым дизъюнктивом является Приморский сброс западного – северо-западного простирания с небольшой левосторонней сдвиговой компонентной. Он протягивается примерно на 50 км субпараллельно Быковской протоке от дельты р. Лены к заливу Неелова губы Буор-Хая. Его кинематика и ориентация плоскости сместителя подтверждается диаграммами трещиноватости и механизма очага землетрясения 30 июля 1987 г. Далее к югу Приморский сброс вдоль западного побережья губы Буор-Хая продолжает серия субдолготных (север – северо-западного простирания) сбросов общей протяженностью 160 км, рассекаемых северо-восточными сдвигами. Сбросы наблюдаются в морских береговых обнажениях от Быковской протоки до Хараулахской впадины. Они выражены здесь причудливым обликом современного рельефа в виде характерных рубленых форм и резких уступов. Их рабочие плоскости устанавливаются в интенсивно кливажированных песчаниках и алевролитах каменноугольного возраста и сопровождаются полосами раздробленных пород, глинками трения и многочисленными зеркалами скольжения. Амплитуды перемещения по ним изменяются от нескольких десятков сантиметров до первых метров. С глубиной эти разрывы выполаживаются, что позволяет классифицировать их как листрические сбросы. Таким примером может служить разлом, закартированный в береговых обнажениях 8–10 – метровой морской террасы залива Буор-Хая неподалеку от впадения в него реки Ыт-Юреге. Здесь примерно в 50 км к югу от п. Тикси (600 м на северо-запад от устья р. Ыт-Юреге) наблюдается зона контакта карбоновых сланцев и миоценовой коры выветривания, представленной каолинистыми глинами, развивающимися по сланцам (рис. 7). Зона диагностирует-

ся как листрический сброс с выполаживанием его плоскости сместителя (изменение угла падения с 55° в верхней части до $30\text{--}35^\circ$ в нижней части обнажения). Плоскость разлома тянется параллельно морскому берегу и имеет северо-восточное падение (азимут падения – 50°). К ней приурочено развитие милонитов мощностью 20–25 см, а в коренных породах фиксируются многочисленные зеркала скольжения сбросового типа.

В поле силы тяжести Приморская разрывная система представлена Быковско-Ленской высокоградиентной зоной северо-западного простирания, интенсивность которой на отдельных участках достигает 20 мГал/км. При пересечении этой зоны с северо-востока на юго-запад фиксируется резкое погружение кристаллического фундамента. По расчетам работников в ЦПСЭ «Якутскгеология», указанная зона представляет собой серию сближенных тектонических нарушений типа сбросов, суммарная амплитуда смещения по которым составила свыше 6 км на северо-западе и около 2 км на юго-востоке. Этой же зоной разломов контролируется цепочка впадин северо-западного простирания, выполненных, судя по интенсивности связываемых с ними минимумов поля силы тяжести, рыхлыми палеоген-четвертичными осадками. Многочисленные изломы Быковско-Ленской зоны интенсивных градиентов, возможно, указывают на последующую нарушенность соответствующей ей зоны сбросов сдвигами. Амплитуда горизонтальных смещений по одному из них превышает 10 км.

З а п а д н о р е х о я н с к а я система (II) расположена на правом берегу низовьев р. Лены и отделяет складчатые сооружения Верхояно-Колымской области от Сибирской платформы. В районе Чекуровки надвиги прослеживаются также на левобережье р. Лены, где по наклонной зоне дробления соприкасаются кембрийские толщи лежачего крыла и вендские образования висячего. Амплитуда горизонтального смещения составляет здесь около 400 м. В 20 км по р. Чебукулах (правобережье р. Лены) надвиги выражены зоной контакта нижнекембрийских и мезозойских пород с амплитудой горизонтального смещения до 1 км. Южнее, в бассейне р. Джарджан, плоскости сместителей становятся пологонаклонными и представляют собой тектонический покров с горизонтальным смещением 3–4 км [Гусев, 1979]. В гравитационном поле указанная система разрывов выделяется субдолготной группой локальных минимумов Предверхоаянского прогиба и максимумов Туора-Сисского выступа. Граница между этими структурами не контрастна, угол ее падения колеблется от 22° до 90° .

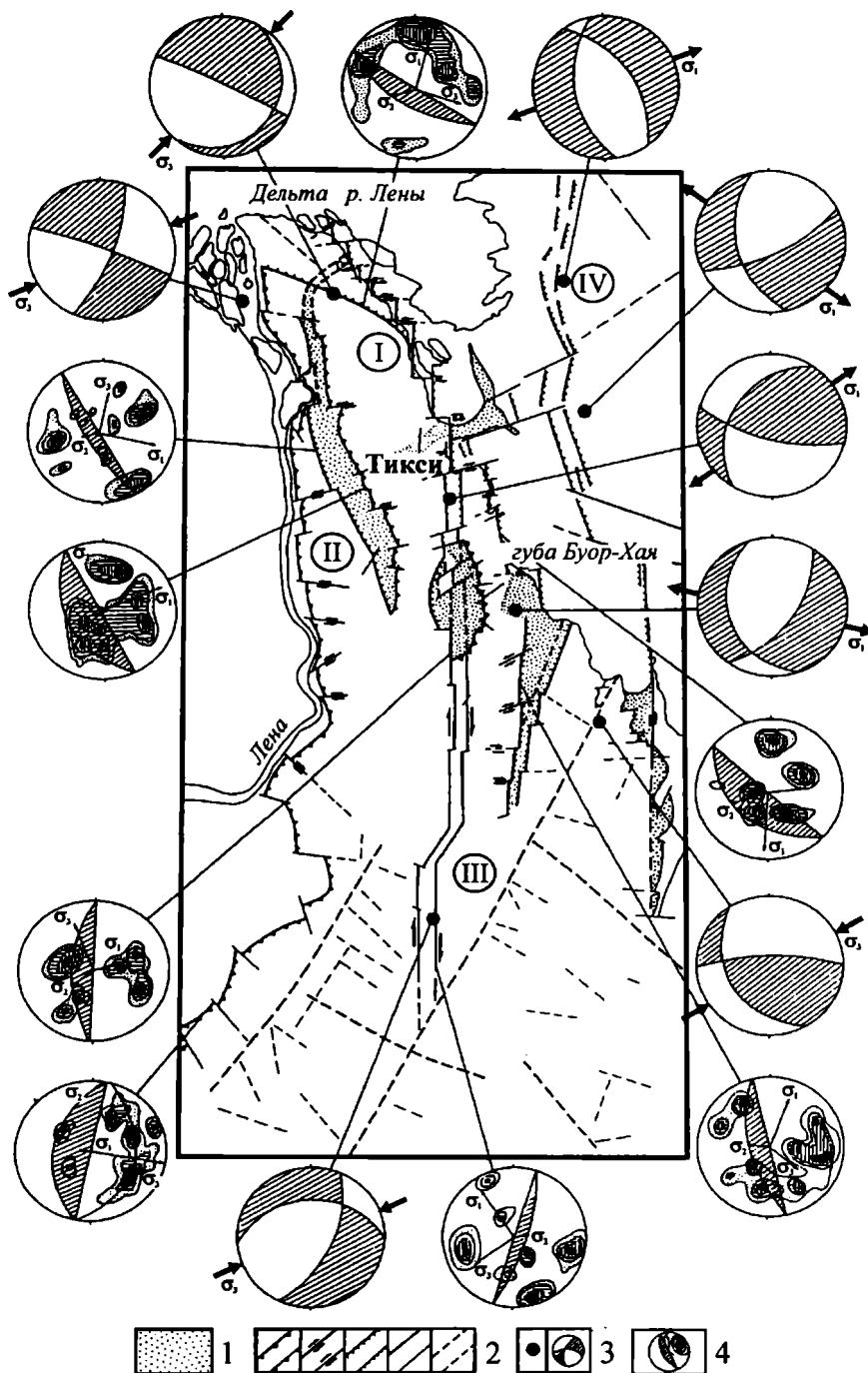


Рис. 6. Схема активных разломов Хараулахской зоны

1 – кайнозойские впадины; 2 – активные разломы, соответственно: надвиги, взбросы, сдвиги, сбросы, неустановленной кинематики и предполагаемые; 3 – фокальные механизмы очагов землетрясений; 4 – диаграммы трещиноватости горных пород с положением векторов главных осей напряжений и плоскости разлома.

Кинематический тип и элементы залегания плоскостей Западноверхоянских надвигов подтверждаются по данным трещиноватости и фокального механизма землетрясения 12 августа 1975 г. с $M=5,4$. Несмотря на древний возраст заложения рассматриваемая система разломов активна и в современное время, на что указывают

отчетливая морфологическая выраженность на аэрофото – и космоснимках и эпицентры землетрясений, приуроченные к зонам их динамического влияния.

В центральной части района исследований трассируется **Х а р а у л а х с к а я** система (III). Она начинается в южных отрогах Хараулахского



Рис. 7. Листрический сброс, развитый на побережье моря Лаптевых, в районе устья р. Ыт-Юреге. Темный фон на фотографии соответствует выходам тиксинской свиты (C_{1-2}), породы светлого тона соответствуют выходам коры выветривания плиоценового возраста (N_2).

хребта и прослеживается вдоль его западных склонов от р. Бэрис (правый приток р. Лены) на юге до Кунгинской впадины на севере. Система представляет собой зону сближенных субпараллельных долготных нарушений шириной 6–7 км и длиной до 200 км, состоящую из двух одинаковых, прямолинейных отрезков, расположенных кулисообразно друг к другу и соединенных диагональной перемычкой растяжения шириной в 3 км и протяженностью 20–25 км.

Активность Хараулахских разломов подчеркивается яркой морфологической выраженностью на аэрофотоснимках, приуроченностью к ним значительного числа сейсмопроявлений и дислокаций в виде ложбин, рвов, оползней и обвалов, а также местных землетрясений включая сильные 8–9-балльные Булунские 1927 г. Самым мобильным является южный фланг этой системы разрывных нарушений, на котором они в субдолготном направлении пересекают западные склоны Хараулахского хребта, параллельно его осевой линии, на расстоянии 15 км. Один из них дешифрируется на аэрофотоснимках прямой линией, которая однотипно смещает многочисленные субширотные параллельные русла рек Буркан и Баданг-Балагина (бассейн р. Бэрис), а также пересекает разделяющие их водораздельные хребты (рис.8).

Прямые структурно-геологические наблюдения, а также анализ трещиноватости в зоне влияния выявленного дизъюнктива показали, что его кинематика соответствует правому

сдвигу-сбросу. На это указывает и фокальный механизм Булунского землетрясения 14 ноября 1927 г. На сферограммах трещиноватости и механизма очага наблюдается совпадение элементов залегания плоскости сместителя рассматриваемого разлома, имеющего север – северо-восточное простирание.

На местности он надежно выделяется в виде кулисообразных рвов, секущих современного рельефа и гидросеть. Отдельные его фрагменты прослеживаются на горных отрогах пологими рвами, полузатянутыми грубообломочным делювиально-пролювиальным материалом и трассируется снежниками.

Последняя крупная субдолготная **Буорхалинская зона** разрывных нарушений (IV) представляет собой систему сбросов, которые прослеживаются вдоль западного побережья губы Буор-Хая. Сбросы наблюдаются в морских береговых обнажениях от Быковской протоки до Хараулахской впадины на расстоянии более 160 км. Они представлены в виде характерных рубленых форм и резких уступов современного рельефа. Рабочие плоскости этих разломов устанавливаются в интенсивно кливажированных песчаниках и алевритах каменноугольного возраста и сопровождаются полосами раздробленных пород, глинками трения и многочисленными зеркалами скольжения. Амплитуды перемещения по ним изменяются от нескольких десятков сантиметров до первых метров. С глубиной эти разры-

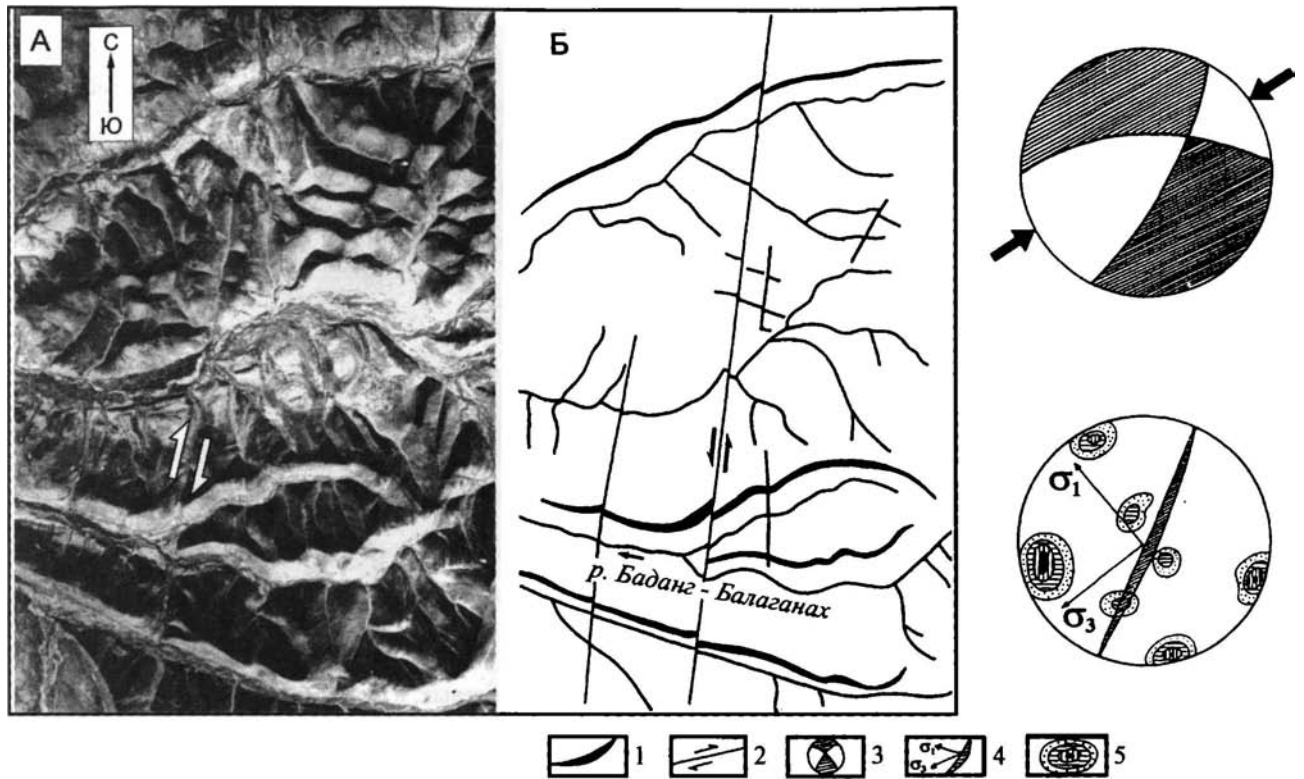


Рис. 8. Сейсмогенный разлом, подновившийся во время Булунского землетрясения 14 ноября 1927 г.

А – аэрофотоснимок (стрелками показана плоскость разлома) и Б – фрагмент его дешифрирования.

1 – осевые части водоразделов; 2 – разломы сдвиговой кинематики; 3 – фокальный механизм землетрясения (черные области – область действия напряжений растяжения, белый – сжатия); 4 – плоскость активного (по геологическим данным) разлома и ориентировка векторов осей сжатия σ_3 и растяжения σ_1 ; 5 – изолинии плотности трещин в круговых диаграммах трещиноватости горных пород.

вы выполаживаются, что позволяет классифицировать их как листрические сбросы.

Сопоставление местоположения очагов местных землетрясений с особенностями «живой» тектоники Хараулахской зоны показывает, что эпицентры землетрясений тяготеют, главным образом, к выявленным крупным системам разрывных нарушений (Хараулахской, Приморской, Буорхайнской и Западноверхоянской) подтверждая их активность в современное время.

Напряженное состояние земной коры Хараулахской сейсмоактивной зоны исследовались на основе фокальных механизмов землетрясений, найденных по известной методике с использованием теории дислокаций [Балакина и др., 1972].

В целом, земная кора находится здесь под воздействием неоднородного поля тектонических напряжений. Главные напряжения, действующие в очагах землетрясений, имеют различные азимуты простирания и углы падения от го-

ризонтальных до субвертикальных. Это может свидетельствовать, что сейсмический процесс в Хараулахской зоне развивается как в условиях растяжения, так и сжатия.

Таким образом, на севере Якутии существует уникальная переходная область изменения полей тектонических напряжений растяжения на сжатие, в пределах которой сочленяются срединно-океанические и континентальные структуры земной коры. На земном шаре существуют лишь несколько подобных областей. К ним, например, относятся район Афарского рифта (Восточная Африка), структуры которого взаимосвязаны со структурами срединноокеанического хребта в Индийском океане, и район Северной Калифорнии, где северное окончание Восточно-Тихоокеанского поднятия, через разлом Сан-Андреас, соединяется с системой срединноокеанических хребтов Горда, Хуан де Фука и Эксплорер в Тихом океане.

Литература

- Аветисов Г.П., Гусева Ю.В.* Глубинное строение района дельты Лены по сейсмологическим данным // Советская геология, 1991, №4, с.73–81.
- Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики Санкт-Петербург. ВНИИОкеанология, 1996, 185 с.
- Анохин В.М., Гусев Е.А., Рекант П.В.* Характер синокеанической тектоники Лаптевоморской океанической окраины // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Материалы совещания, т.1, Москва: ГЕОС, 2003, с. 10–12.
- Атлас океанов: Северный Ледовитый океан. М. Гл. упр. Навигации и океанографии МО СССР, 1962. 337 с.
- Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В. и др.* Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. Вып. 8. 191 с.
- Богданов Н.А., Хаин В.Е., Розен О.М., Шитлов Э.В., Драчев С.С., Костюченко, Секретов С.Б.* Объяснительная записка к тектонической карте морей Карского и Лаптевых. М.: Ин-т литосферы и внутренних морей РАН, 1998, 127 с.
- Галабала Р.О.* Новые данные о строении дельты р.Лена (четвертичный период) Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР 1987, с. 152–172.
- Грамберг И.С., Деменицкая Р.М., Секретов С.Б.* Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля – Момского хребта // Докл. АН СССР. 1990. Вып. 311. №3. С. 689–694.
- Грачев А.Ф., Деменицкая Р.М., Карасик А.М.* Проблемы связи Момского континентального рифта со структурой срединно-океанического хребта Гаккеля // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: НИИГА, 1973. Вып. 8. С. 56–75.
- Гусев Г.С.* Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойд. М.: Наука, 1979. 207 с.
- Драчев С.С.* О тектонике фундамента шельфа моря Лаптевых // Геотектоника, 2002, №6, с. 60–76.
- Зонешайн Л.П. Савостин Л.А.* Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Активные разломы и сейсмоструктура Северо-Восточной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 138 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмоструктура Якутии. – Москва: ГЕОС, 2000. 226 с.
- Карасик А.М.* Магнитные аномалии хребта Гаккеля и происхождение Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. В кн.: Геофиз. методы разведки в Арктике, 1968, вып. 6, с. 8–19.
- Парфенов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984. 191 с.
- Савостин Л.А., Драчев С.С.* Кайнозойское сжатие в районе Новосибирских островов и его связь с раскрытием Евразийского бассейна // Океанология. 1988. Т. 28. №5. С. 775–781.
- Cook D., Fujita K., McMullen C.A.* Present-day plate interactions in Northeast Asia: North American, Eurasian, and Ochotsk plates // Journal of Geodynamics. 1986. №6. P. 33–51.
- Fujita K., Cook D., Hasegawa H., Forsyth D. and Wetmiller R.* Seismicity and focal mechanisms of the Arctic region and North American plate boundary in Asia, In the Geology of North America. Vol. L. The Arctic ocean region, edited by A. Grantz, Johnson G.L. and Sweeney J.F.- Geological Society of America. Boulder. 1990. P. 77–100.
- Fujita K. and Kozmin B.M.* Seismicity of Arctic Schelf and its relationship to yecyonic features // 1992 Proceedings International Conference on Arctic Margins. U.S.Minerals Management Service. OCS Study MMS. 1994, P. 307–312.
- Grachev A.F.* Geodynamics of transitional zone from the Moma rift to the Gakkell ridges. In Continental margin Geology, edited by J.S. Watkins and C.L. Drake // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.33, Tulsa, OK, 1982. P. 103–113.
- Savostin L.A., Karasik A.M.* Recent plate tectonics of the Arctic basin and Northeastern Asia // Tectonophysics. 1981, vol. 74. P. 111–145.