

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК 551.248(571.56)

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-1

Геодинамические особенности сейсмотектонических структур центральной части зоны Черского (Северо-Восток России)

В.С. Имаев^{1,*}, Л.П. Имаева¹, Б.М. Козьмин²

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

*imaev@crust.irk.ru

Аннотация. В статье рассматривается взаимоотношение крупных внутриконтинентальных впадин северо-востока России (система Момо-Селенныхских впадин) и региональной Верхояно-Колымской системы разломов, пересекающих зону хребтов Черского в северо-западном направлении. Представлен обзор данных о природе названных впадин, развивавшихся с миоцена по средний плейстоцен как рифтовые. Показано, что в среднем плиоцене произошла смена тектонического режима и указанные структуры формируются в поле регионального сжатия. Это подтверждается комплексом геолого-геофизических и геодинамических данных и преобладающим типом тектонических движений в Верхояно-Колымской системе разломов, соответствующих сдвигам, надвигам и взбросам. Как пример анализируется зона влияния генерального разлома Улахан, который является сдвиговой границей между Североамериканской и Евразийской литосферными плитами и контролирует современные тектонические процессы на северо-востоке России.

Ключевые слова: активные разломы, сейсмичность, неотектонические структуры, фокальные механизмы землетрясений, современная геодинамика, палеосейсмодислокации.

Благодарности. Данное научное исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (№ 19-05-0062), комплексной программы правительства Республики Саха (Якутия) по изучению территории республики в 2016–2020 гг., а также в рамках выполнения работ по проекту ИЗК СО РАН (№ 346-2018-0001) и ИГАИБМ СО РАН (№ 0381-2616-0001).

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-1

Geodynamic features of the seismotectonic structures in the central part of the Chersky Zone (North-East of Russia)

V.S. Imaev^{1,*}, L.P. Imaeva¹, B.M. Koz'min²

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

²Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

*imaev@crust.irk.ru

Abstract. Relationship between large intracontinental depressions in the north-east of Russia (the system of Momo-Selennyakh depressions) and the regional Verkhoyansk-Kolyma fault system breaking through the zone of the Chersky Ridges to the north-west is considered. A review is presented over the data on the nature of these depressions, which developed since the Miocene till the Pleistocene as rift troughs, It is shown that a change of the tectonic regime occurred in the Middle Pleistocene, and the indicated structures

are developing in the field of regional compression. This is confirmed by the entire set of geological, geophysical and geodynamic data and by the prevailing type of tectonic motions in the Verkhoyansk-Kolyma fault system corresponding to strike-slips, overthrusts and thrust-faults. The zone affected by the general Ulakhan fault is analyzed as an example. This zone is a shear boundary between the North American and Eurasian lithospheric plates, and it controls modern tectonic processes in the north-east of Russia.

Key words: active faults, seismicity, neotectonci structures, focal mechanisms of earthquakes, modern geodynamics, paleoseismic dislocations

Acknowledgements. The study is done on state assignment of DPMGI SB RAS with the support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and with support of RFBR (grant no. 19-05-00062).

Введение

За XX – начало XXI вв. исследователями многих стран мира в арктической зоне Земли локализован крупный Арктико-Азиатский сейсмический пояс (ААСП), который пересекает акваторию Северного Ледовитого океана, шельф моря Лаптевых, континентальную часть Северо-Восточной Азии, северную часть Охотского моря и Камчатку, связывая между собой сейсмические зоны Арктики и Тихого океана (рис. 1). По своему пространственному положению пояс представляет звено в гигантской «цепи» эпицентров землетря-

сений, разделяющей Евразийскую и Североамериканскую литосферные плиты на расстоянии более 8 тыс. км [1–7].

Арктико-Азиатский пояс включает три крупные тектонические зоны с высоким уровнем сейсмичности: срединноокеанический арктический хр. Гаккеля, шельф моря Лаптевых и сеймотектоническую зону Черского. По современным представлениям, указанные зоны отражают разную природу современной сейсмичности. Она отчетливо выражена в пространственном распределении эпицентральных полей землетрясений,

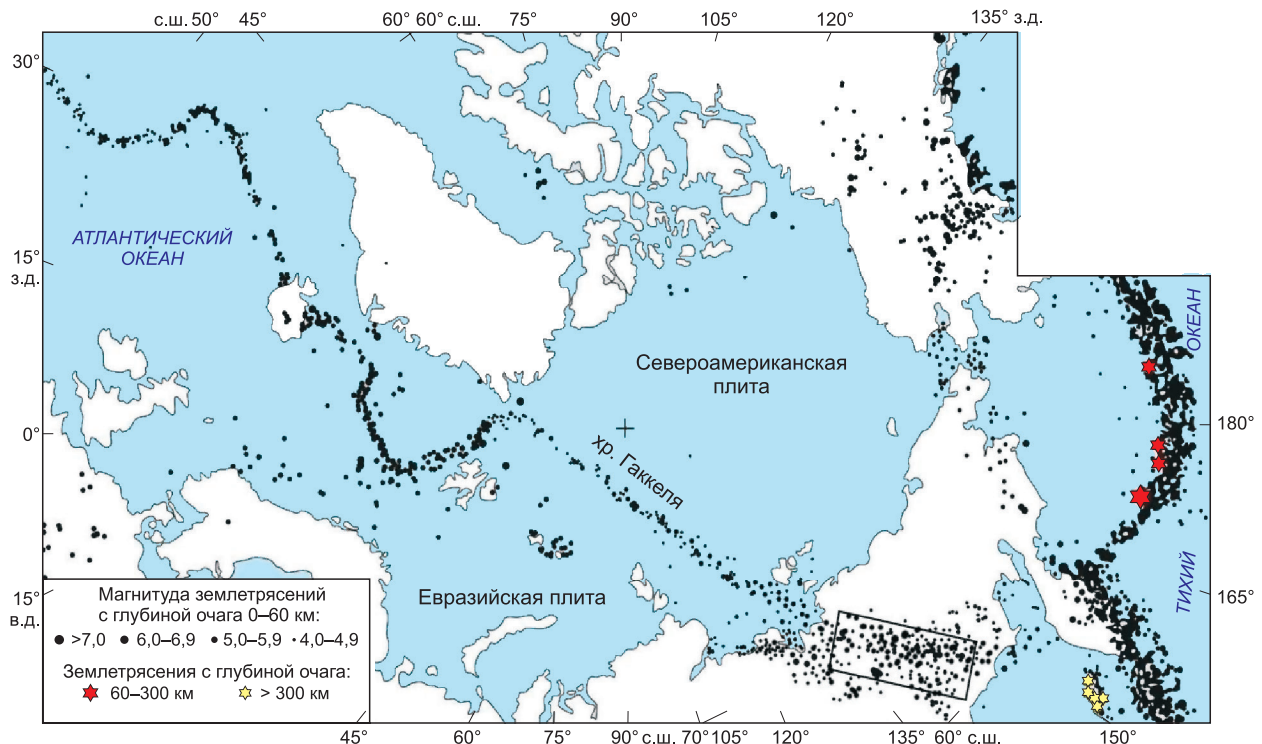


Рис.1. Локализация Арктико-Азиатского сейсмического пояса (ААСП) в Арктической зоне и на северо-востоке Азиатского континента [1, 2, 3, 5]. В прямоугольнике показана территория исследований, представляющая сеймотектоническую зону Черского [5, 6, 8].

Fig.1. Localization of the Arctic-Asian seismic belt (AASB) in the Arctic zone and the northeast Asian continent [1, 2, 3, 5]. The rectangle shows the research area representing the Chersky seismotectonic zone [5, 6, 8].

обусловленном различным типом напряженного состояния земной коры со сменой тектонических режимов на отдельных участках границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит, и зависит от условий их взаимодействия [8]. Так, в пределах хр. Гаккеля – это узкая (до 80 км) полоса эпицентров, возникшая в обстановке растяжения земной коры [1, 2, 5]. На шельфе моря Лаптевых и в прибрежных районах континента ее конфигурация становится «диффузной» (расширяется до 200 км между Таймыром, Новосибирскими островами и прибрежной зоной), где имеет место смешанное поле тектонических напряжений (растяжение–сжатие). В зоне Черского фиксируются, в основном, условия сжатия, а сейсмичность занимает широкую (более 400 км) полосу территории, вытянутую к юго-востоку до Охотского моря [5, 6].

Задача проведенных исследований состояла в выявлении общих тенденций сейсмотектонического развития территории на основе взаимоотношения крупных внутриконтинентальных впадин северо-востока России (система Момо-Селенняхских впадин) с региональной Верхояно-Колымской системой разломов, развитой в сейсмотектонической зоне Черского. На примере одного из главных разломов этой системы Улахан рассмотрены признаки геодинамической активности, характерные для современного тектонического режима.

Методы исследований

Геодинамическая обстановка центральной части территории сейсмотектонической зоны Черского (СЗЧ) изучалась на основе комплекса геолого-геофизических данных, позволяющих выявить проявления современной тектонической активности во взаимосвязи с местной сейсмичностью. Так, для анализа структуры эпицентральных полей землетрясений были построены разномасштабные карты эпицентров. При их создании использовались каталоги и базы данных, полученные по наблюдениям сети региональных цифровых сейсмических станций Якутского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (ЯФ ФИЦ ЕГС РАН). Сеть цифровых станций была оборудована американской (IRIS-STS-1, PAR-4CH-KS-2000) и российской (SDAS-CM3-OC, Байкал-CM3-KB) аппаратурой, позволяющей без пропусков регистрировать в пределах континентальной

части ААСП и соседних районов суши все сейсмические события с $M_s \geq 3$. При определении параметров эпицентров землетрясений привлекались специальные компьютерные программы, в их числе программа HYP2DT (Michigan University, USA); WSG (Россия) и др. [9, 10]. База данных пополнялась сведениями из Международных бюллетеней «ISC», «NEIC» (<http://www/isc/ac/uk/iscbulletin/search/bulletin/>) и каталогов землетрясений ФИЦ ЕГС РАН. Данные по аномалиям геофизических полей были заимствованы из публикаций [5, 6, 8].

Напряженное состояние земной коры определялось с помощью стереограмм фокальных механизмов землетрясений (метод А.В. Введенской по данным первых вступлений сейсмических волн), а также на основе параметров механизмов очагов, заимствованных из других источников [5, 6, 8] и Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog Search (<http://www.globalcmt.org/>). При сопоставлении на разных фазах единого цикла деформаций в мезозое, мезозое–кайнозое были реконструированы тектонические напряжения по геолого-структурным наблюдениям (элементы залегания трещиноватости, слоистости и ориентации плоскостей сместителей надвигов [11], а в современное время – по параметрам механизма очагов сильных землетрясений [5, 6, 8].

Момо-Селенняхские рифтовые впадины

В середине XX в. исследуемая территория рассматривалась как Момский континентальный рифт. Анализ тектонических структур, проявления сейсмичности в срединноарктической рифтовой зоне хр. Гаккеля и его характер сочленения с материковыми структурами дали основание А.Ф. Грачеву [3] считать, что арктическая зона хребта Гаккеля имеет свое материковое продолжение, которое трассируется эпицентрами землетрясений через дельту р. Лена к системе Момо-Селенняхских впадин. Позже А.Ф. Грачев с соавторами [12], проанализировав особенности новейшей структуры и вулканизм этого района, а также существование возможных геологических и сейсмологических признаков проявления там поперечного к простиранию впадин растяжения, сформулировал представление о Момском новейшем континентальном рифте, включающем осевую Момо-Селенняхскую систему впадин и прилегающие к ней горные сооружения Черского и Момского хребтов.

На следующем этапе исследований А.Ф. Грачев [13], а затем Я. Кристофферсон [14] обратили внимание на постепенное вырождение спредингового хр. Гаккеля при приближении его к шельфу моря Лаптевых. В этом направлении уменьшается выраженность хребта в рельефе дна океана, сокращаются расстояния между разновозрастными магнитными аномалиями, которые вовсе исчезают в его крайней южной части. Скорость спрединга изменяется от 0,6–0,7 см/год в центральной части хребта до 0,3 см/год в его южной части. Тем не менее, А.Ф. Грачев полагал, что зона растяжения не заканчивается у континентального склона, а продолжается далее к югу на шельф моря Лаптевых и его побережье,

где растяжение литосферы еще не привело к формированию океанической коры. Продолжение рифтовых структур Евразийского бассейна на шельф и побережье моря Лаптевых и далее в глубь континента вслед за А.Ф. Грачевым предполагали еще ряд исследователей [1, 4, 15–17].

Для выяснения природы местных сейсмотектонических процессов рассмотрим их особенности. Цепь позднекайнозойских впадин северо-западного простирания (Селенняхская, Кыринская, Нижнемомская, Верхнемомская) обозначим как Момский рифт (рис. 2), к которому примыкают поднятия хребтов Черского (до 3100 м) и Момского (до 2400 м). Рифт обрамляется с северо-востока предгорным Индигиро-Зырянским про-

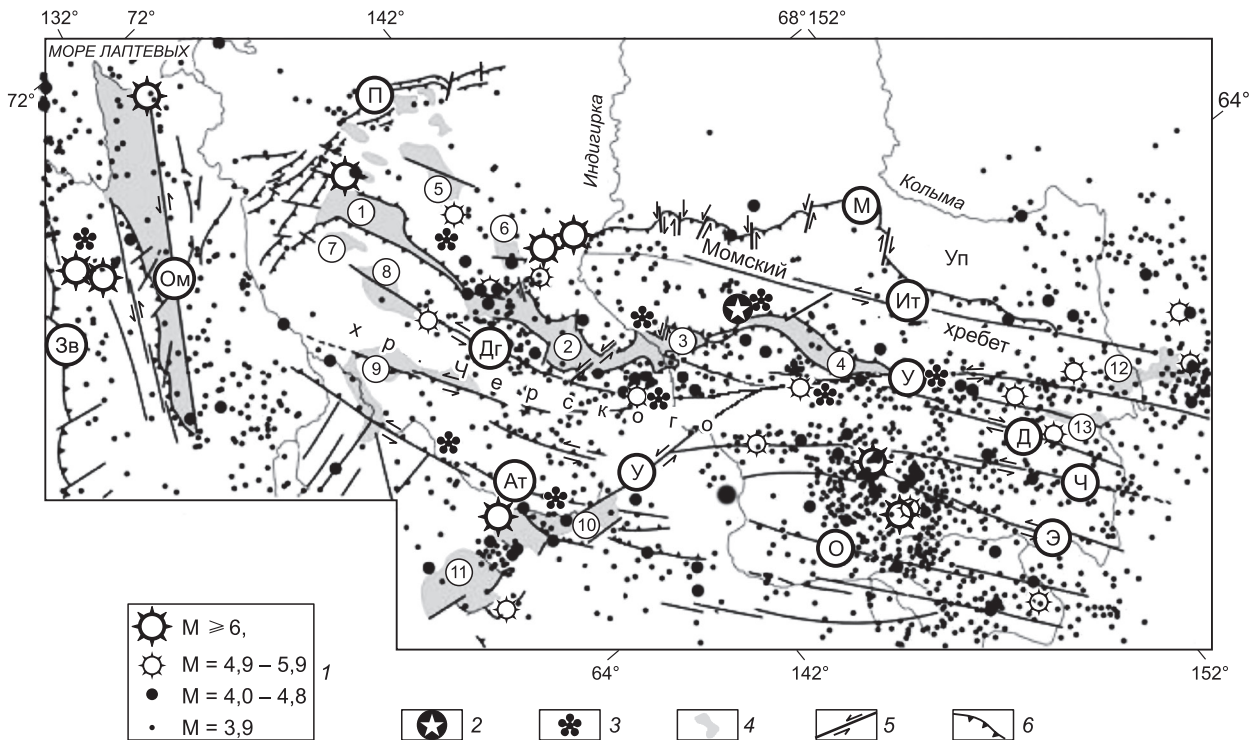


Рис. 2. Землетрясения сейсмотектонической зоны Черского и система внутриконтинентальных Момо-Селенняхских впадин, обрамляющих их горных хребтов и активных разломов [5, 6, 8].

1 – эпицентры с магнитудой $M: \geq 6, 4,9-5,9, 4,0-4,8, \leq 3,9$; 2 – вулкан Балаган-Тас; 3 – сейсмодислокации; 4 – кайнозойские впадины (цифры в кружках: 1 – Селенняхская, 2 – Кыринская, 3 – Нижнемомская, 4 – Верхнемомская, 5 – Уяндинская, 6 – Томмотская, 7 – Ольджойская, 8 – Неннелинская, 9 – Туостакская, 10 – Верхнеадычанская, 11 – Дербекинская, 12 – Сеймчано-Буондинская, 13 – Тасканская); 5, 6 – активные разломы (5) и взбросы и надвиги (6) (буквы в кружках: Д – Дарпир, Дг – Догдинский, Ит – Илин-Тасский, О – Оймяконский, Ом – Омолойский, У – Улахан, Ч – Чай-Юреинский, Э – Эльгинский, Ат – Адыча-Тарынский, Зв – Западно-Верхоянский, М – Мятисский, П – Полоусный).

Fig. 2. Earthquakes of the Chersky seismotectonic zone and the system of intracontinental Moma-Selennyakh basins encircling their mountain Ranges and active faults [5, 6, 8].

1 – Epicenters with $M: \geq 6, 4.9-5.9, 4.0-4.8, \leq 3.9$; 2 – Balagan-Tas volcano; 3 - seismodislocations; 4 – Cenozoic basins (number in circles: 1 – Selennyakh, 2 – Kyra, 3 – Lower Moma, 4 – Upper Moma, 5 – Uyandina, 6 – Tommot, 7 – Oljoy, 8 – Nennely, 9 – Tuostakh, 10 – Upper Adycha, 11 – Derbeke, 12 – Seymchan – Buyunda, 13 – Taskan); 5–6 – active faults (letters in circles): 5 – strike-slips (D – Darpir, Dg – Dogdo, It – Ilin-Tass, O – Oymyakon, Om – Omoloy, U – Ulakhan, H – Chay-Yureya, E – Elga, 6 – reverse faults and thrusts (At – Adycha-Taryn, Sv – Western Verkhoyansk, M – Myatis, P – Polousny).

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР

гибом с мощным (до 2,5 км) разрезом угленосных отложений эоцена, олигоцена и миоцена, а на юго-западе – рядом предгорных впадин (Туостаская, Верхнеадычанская, Дербекинская и др.) с угленосными миоценовыми и местами олигоценными отложениями [5, 6].

Существует ряд геолого-геофизических признаков, свидетельствующих о рифтовой природе указанных впадин. В частности, характерным признаком рифта является наличие на его северо-западном окончании системы веерообразно расходящихся впадин, представленных Ненелинской, Ольджойской, Селеняхской, Уяндинской, Томмотской и другими депрессиями с угленосными отложениями миоцена и плиоцена (см. рис. 2). На юго-восточном окончании рассматриваемой зоны располагаются Сеймчано-Буондинская, Тасканская и другие небольшие

впадины, выполненные также угленосными отложениями олигоцена и неогена. Анализ возраста кайнозойских отложений названных впадин указывает на закономерное омоложение этих осадков при движении с северо-запада (губа Буор-Хая) на юго-восток (бассейн р. Колыма), исключение составляет лишь Сеймчано-Буондинская впадина [15].

В поле силы тяжести (рис. 3) указанная зона приурочена к крупному гравитационному уступу, отделяющему тяжелые породы Колымского блока от более легких масс Верхояно-Колымской складчатой области [5, 8]. Ось уступа примерно совпадает с трассами генеральных разломов Улахан и Дарпир.

Выявленная коровая неоднородность в поле силы тяжести прослеживается в верхах мантии. На это указывают результаты изучения поверх-

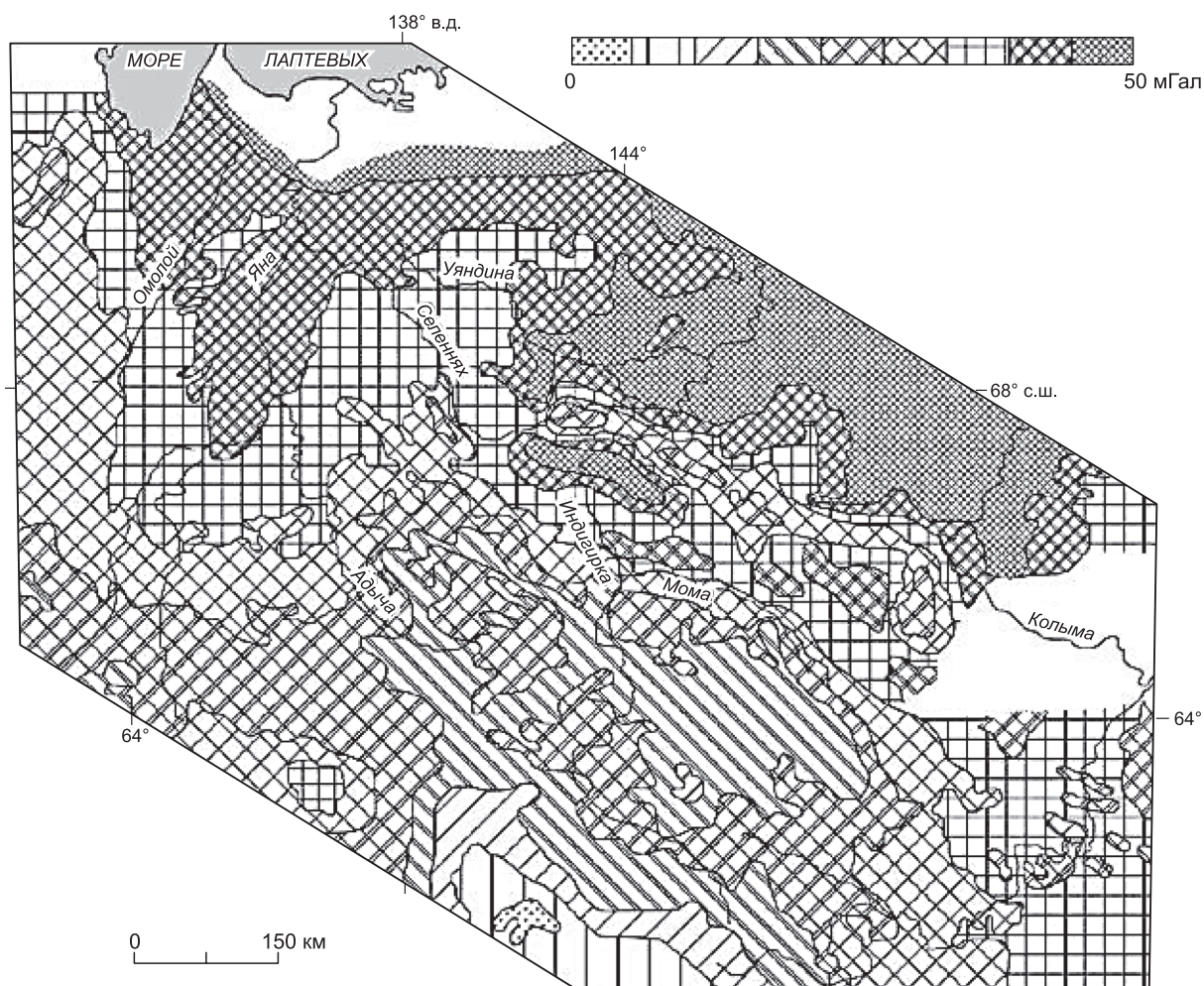


Рис. 3. Аномалии поля силы тяжести на континентальной части Арктико-Азиатского сейсмического пояса [5, 8].

Fig. 3. Anomalies of the field of gravity on the continental part of the Arctic-Asian seismic belt [5, 8].

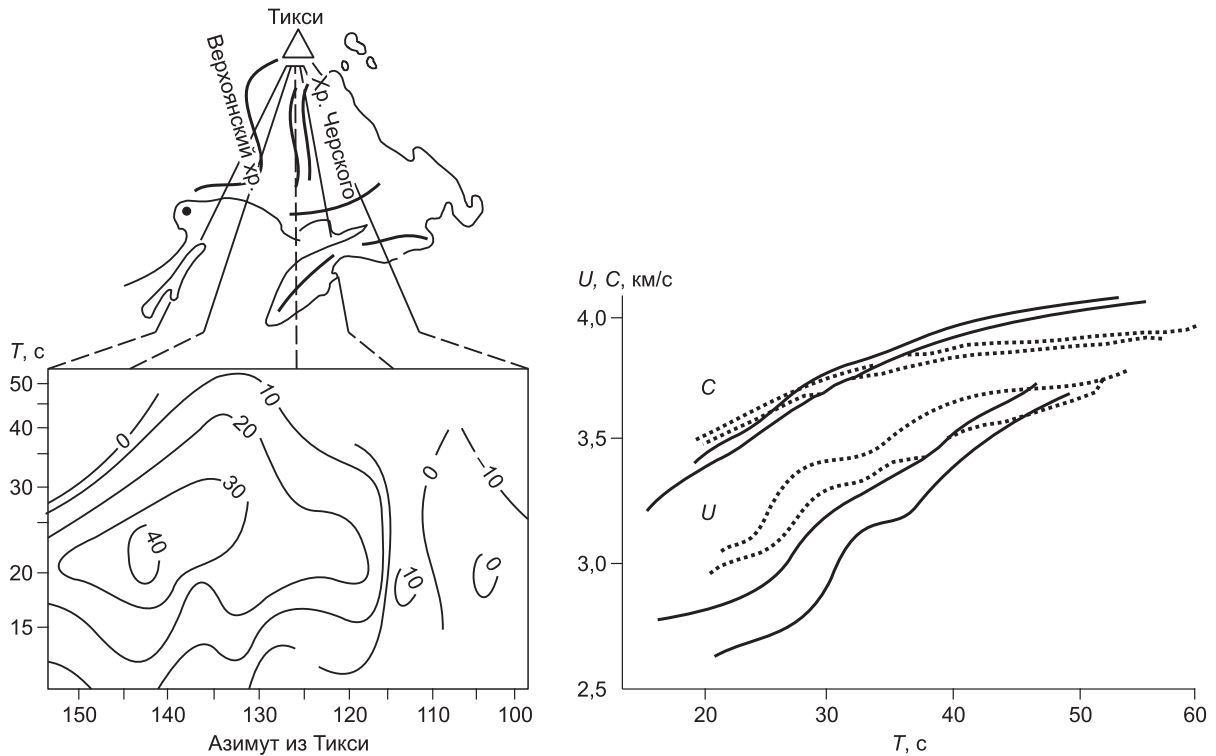


Рис. 4. Искажение поляризационных свойств поверхностных волн Релея на сейсмограммах станции «Тикси» от Курило–Камчатских землетрясений. Слева – аномалии углов поляризации волн Релея, наблюдаемые в «Тикси» для трасс: хребтов Верхоянского и Черского (вверху – схема трасс, внизу – изолинии поляризационных аномалий в градусах на плоскости период–азимут подхода волны). Справа – границы областей наблюдаемой дисперсии фазовых (*C*) и групповых (*U*) скоростей волн Релея в направлении районов Верхоянского хребта (сплошные линии) и хр. Черского (пунктир) [18].

Fig. 4. Distortion of the polarization’s properties of Rayleigh surface waves on seismograms of the Tiksi station from the Kuril – Kamchatka earthquakes. On the left, the anomalies of the polarization’s angles of the Rayleigh waves observed in Tiksi for the trails: the Verkhoyansk and Chersky ridges (at the top is the route map, at the bottom are the isolines of the polarization’s anomalies in degrees on the plane of the period-azimuth of the arrivals of wave). On the right are the boundaries of the regions of observed dispersion for phase (*C*) and group (*U*) velocities of Rayleigh wave in the direction the Verkhoyansk Ridge (solid lines) and Chersky Ridge (dotted line) [18].

ностных волн Релея, записанные от удаленных землетрясений местной наблюдательной сетью. При пересечении данного района поверхностными сейсмическими волнами обнаруживается существенное искажение поляризационных свойств волн Релея (поворот азимута поляризации до 40°) [18] (рис. 4). Возможно, что эти коровая и мантийная неоднородности и предопределили местоположение рифта в пространстве [19].

Земная коры в районе Момского рифта утонена до 24–26 км по сравнению с расположенными юго-западнее районами, где ее мощность составляет 40–44 км [22]. По мнению американских сейсмологов, утонение земной коры до 30–35 км в пределах Момского рифта, по сравнению с 40–45 км в окружающих районах, хорошо устанавливается на основе анализа скоростей P_n и P_g сейсмических волн от местных землетря-

сений и следится в виде «языка», вытянутого от среднего течения р. Яна до верховьев р. Колыма [20] (рис.5).

Это позволяет предположить наличие здесь в недавнем геологическом прошлом близко расположенного к земной поверхности мантийного диапира [21, 23]. Он, вероятно, и обусловил высокий тепловой поток, фиксируемый в настоящее время прямыми измерениями в скважинах (хр. Черского – 88 мВт/м², хр. Сунтар-Хаята – 100 мВт/м²). На существование рифта могут также указывать проявления позднекайнозойского вулканизма (вулканы Балаган-Тас (рис. 6) и Урага-Хая), петрохимический состав родственного базальтам других рифтовых зон Земли [3, 6], а также наличие минерализованных источников подземных вод с температурой до +20 °С, известных в системе Момо-Селенныхских впадин [6].

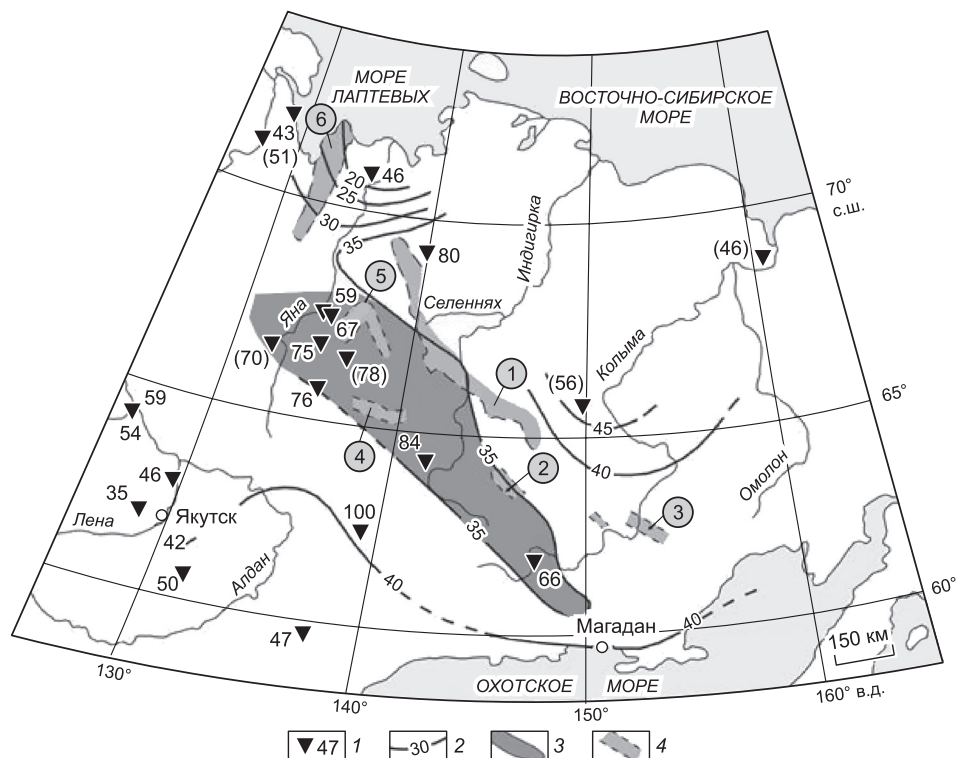


Рис. 5. Толщина земной коры [20] и тепловой поток [21] на юго-восточном фланге Арктико-Азиатского сейсмического пояса. 1 – точечные определения теплового потока, мВт/м²; 2 – изолинии мощности земной коры, км; 3 – область утонения земной коры; 4 – кайнозойские впадины (номера в кружках: 1 – Момо-Селенняхская система, 2 – Верхнерерская, 3 – Сеймчано-Буюндинская, 4 – Верхнеадычанская, 5 – Туостакская, 6 – Омолойская).

Fig. 5. Earth's crust thickness [20] and heat flow [21] in the central part of Chersky seismotectonic zone. 1 – point definitions of heat flow in mW / m²; 2 – earth's crust thickness isolines in km; 3 – crust thinning area; 4 – Cenozoic basins (numbers in circles: 1 – Moma – Selennyakh system, 2 – Upper Nera, 3 – Seymchan-Buyunda, 4 – Upper Adycha, 5 – Tuostakh, 6 – Omoloy).

В то же время, выявлен ряд фактов, отрицающих современное существование Момского рифта. Прежде всего, не находит своего морфологического выражения в рельефе окончание рифтовой зоны. На северо-западе она «заперта» хребтом Кулар и западным окончанием кряжа Полоусного, а на юго-востоке – структурами Колымского нагорья.

Поэтому наблюдаемый сейчас ряд рифтовых признаков может быть отнесен к реликтам Момского рифта, сохранившимся до наших дней [6]. Именно поэтому некогда обширная территория, занимаемая единой впадиной Момского рифта в период его расцвета (нижний миоцен–средний плейстоцен), под воздействием сжатия, вызванного сближением Североамериканской и Евразийской литосферных плит (режим транспрессии), превратилась в цепочку небольших вытянутых в северо-западном направлении впадин,



Рис. 6. Общий вид позднекайнозойского влк. Балаган-Тас вблизи северо-восточной окраины Верхнемомской впадины [6].

Fig. 6. General view of the Late Cenozoic Balagan-Tas volcano near the northeast margin of the Upper Moma basin [6].

связанных между собой узкими перешейками (см. рис. 2). По этой же причине хребты, составляющие горную цепь Черского, изменили в плане прежнюю линейную форму на современную изогнутую S-образную [5, 6].

В связи с этим трудно представить, что Момский рифт мог быть продолжением срединно-океанического хребта Гаккеля на континент. Возможное существование рифтовой зоны, скорее всего, ограничивалось локальной территорией, занимаемой системой Момо-Селенныхских впадин и обрамляющих ее горных поднятий [5, 6, 24, 25]. К такому же выводу недавно пришли американские исследователи [7], которые предполагают обособленность Момской рифтовой зоны от рифтовой системы, развитой в хр. Гаккеля и на шельфе моря Лаптевых. Другим контраргументом против современного присутствия рифта является установление и картирование нами в пределах сеймотектонической зоны Черского, куда пространственно тяготеет система впадин Момского рифта, значительного числа складчатых дислокаций, а также надвигов и взбросов в кайнозойских образованиях, в том числе внутри самих Момо-Селенныхских впадинах. Деформации кайнозойских отложений большей частью молодые, возникли в условиях сжатия и прослеживаются на всем протяжении сеймотектонической зоны Черского [5, 6, 24]. Их появление, вероятно, вызвано изменением геодинамического режима, начавшимся примерно в среднем плиоцене, когда, по мнению ряда геоморфологов, была заложена сеть водотоков этой территории и условия растяжения сменились сжатием [8].

Система разлома Улахан

Рассмотрим особенности современного тектонического режима и его влияние на региональную систему разломов, господствующих в сеймотектонической зоне Черского. Следует отметить, что большинство рассматриваемых разломов находятся и их современная активизация происходит в обстановке сжатия, существующей на границе между крупными Евразийской и Североамериканской литосферными плитами (см. рис. 1), которые взаимодействуют на Северо-Востоке Азии [5, 6, 24–28]. Остановимся на характеристике генеральных разломов, которые в зоне Черского играют основную структурообразующую роль в формировании современного рельефа и являются главными сейсмогенерирующими структурами.

К таким прежде всего относится зона влияния разлома Улахан (см. рис. 2, 7), который следует более чем на 1500 км от Сеймчано-Буюндинской впадины на юго-востоке до субширотного отрезка р. Индигирка в ее среднем течении [6]. По длине и кинематике данный дизъюнктив можно сопоставить с известным разломом Сан-Андреас в Калифорнии. Продолжение разлома Улахан в направлении Охотского побережья проблематично, хотя по ряду признаков (геоморфологическим и дешифровочным) разлом может быть прослежен до побережья Охотского моря. Его северо-западным окончанием на левобережье р. Индигирка служит разветвление на Догдинский (Чемалгинский) разлом, который затухает в бассейне р. Яна, и другую широтную ветвь в долине рек Ирегенья–Иньяли, протягивающуюся к Верхнеадычанской впадине [6, 8] (см. рис. 2, 7).

Впервые Улахан был выделен А.С. Симаковым в 1949 г. и в дальнейшем изучался многими магаданскими и якутскими геологами [29–31]. При дешифрировании космоснимков (см. рис. 7) линия разлома отчетливо выделяется в виде эшелона левых кулис, в полостях которых в позднекайнозойское время возникла цепочка молодых минивпадин «pull-apart» (Переправа, Верхнеэрикетская, Бугчанская, Верхнесударская, Верхнелыглыхтахская и др.) [5, 6]. Они отчетливо диагностируются на космоснимках, следятся на топокартах и выражены в рельефе. Наиболее крупными из них являются впадины Бугчанская и Переправа.

Пространственное соотношение зоны влияния Улахана со складчатостью и поясом гранитоидных интрузий, наличием выходов крупных блоков палеозойских пород (поднятия: Омuleвское – на юго-восточном окончании упомянутого разлома и Тас-Хаяхтахское – на противоположном северо-западном фланге), расположенных между расщепляющимися концами осевой зоны разлома Улахан, позволяют прийти к выводу, что он представляет собой крупнейшую сдвиговую систему на северо-востоке России [6, 8, 29].

Величины горизонтальных перемещений в плоскости разлома Улахан оценивались в районе западного обрамления Омuleвского блока (см. рис. 7). Для этого выявлялись горизонтальные смещения, которые считывались с крупномасштабных топографических карт (М.: 1:100 и 1:300 тыс.) по однотипным смещениям небольших притоков, пересекавших плоскость разлома перпендикулярно его простиранию. Следует от-



Рис. 7. Главные разломы юго-восточной части сейсмотектонической зоны Черского на космоснимке «Метеор».

1 – сдвиги, 2 – надвиги и взбросы; 3 – эпицентры сильных землетрясений; 4 – вулкан Балаган-Тас; 5 – фокальные механизмы землетрясений (P – положение оси сжатия, T – оси растяжения). Блок-диаграмма показывает характер смещения Омулевского блока при движении разломов Улахан и Дарпир под влиянием коллизии Евразийской (EA) и Североамериканской (CA) литосферных плит (врезка).

Fig. 7. The main faults of the southeastern part of the Chersky seismotectonic zone in the Meteor satellite image.

1 – strike-slips, 2 – reverses and thrusts; 3 – epicenters of strong earthquakes; 4 – Balagan-Tas volcano; 5 – focal mechanisms of earthquakes (P – the position of the axis of compression, T – axis of tension). The block diagram shows the displacement pattern of the Omulevsky block during the movements of Ulakhan and Darpir faults under the influence of a collision between the Eurasian (EA) and North American (CA) lithospheric plates (upper on the right).

метить, что суммарная величина горизонтального смещения в 23–24 км в зоне Улахана была получена магаданскими геологами при построении ими геологической карты Омулевского блока [29–31]. Примерно такое же смещение в 24 км рассчитано по ширине понижения в рельефе, которому соответствует молодая впадина «pull-apart» между р. Сумун и р. Улахан-Нагаин. Время начала горизонтальных сдвиговых смещений может быть определено в первом приближении как среднеплиоценовое, когда, по мнению большинства геоморфологов, была заложена сеть водотоков этого района, т. е. около 3,4 млн лет назад. В таком случае скорость горизонтальных движения по разлому составляет около 0,7–0,8 см/год [8].

Результаты повторного нивелирования по линии реперов вдоль р. Индигирка вкрест простираня структур СЗЧ выявили слабые восходящие

вертикальные движения (0–4 мм/год) в системе Момо-Селенняхских впадин вместе с обрамляющими их горными хребтами Момский и Черского. В то же время на этой же карте (рис. 8), составленной Якутским геодезическим предприятием ГУГК СССР [32], отчетливо видно, что разлом Улахан повсеместно трассируется в районе, ограниченном изолинией с нулевым значением скорости вертикальных движений, что указывает на преобладание в его пределах современных горизонтальных перемещений.

Анализ морфокинематических характеристик разлома Улахан по данным геолого-структурных (трещиноватость, зеркала скольжения) и сейсмологических (фокальные механизмы землетрясений) наблюдений показывает, что плоскость его сместителя субвертикальна (75–90°), он имеет северо-западное простирание (280–320°) [5]. Разлом

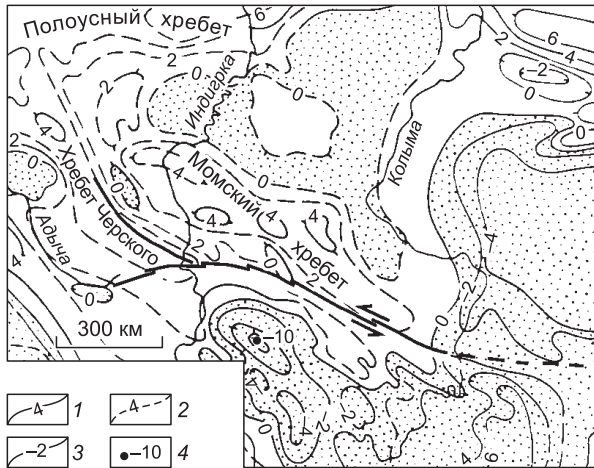


Рис. 8. Изолинии скоростей современных вертикальных тектонических движений (мм/год) [32]: 1 – поднятие, 2 – предполагаемые; 3 – опускание; 4 – максимальные значения скоростей [32]. Утолщенной линией показана трасса левого сдвига Улахан .

Fig. 8. Isolines of speeds of modern vertical tectonic movements (mm/year) [32]: 1 – uplift, 2 – estimated; 3 – lowering; 4 – maximum of speeds. The thickened line shows the route of the left Ulakhan strike slip .

обладает высоким сейсмическим потенциалом. Главные тектонические напряжения, действующие в очагах зарегистрированных здесь землетрясений, имели следующие параметры: сжимающие усилия близгоризонтальны (угол наклона 7–15°) и ориентированы в северо-восточном направлении по азимуту 32–80°, растягивающие – близвертикальны (угол наклона 44–69°) и действовали в субдолготном и северо-западном направлениях по азимуту 320–340°. Тип подвижки в очаге – левый сдвиг [8]. Это подтверждается характером современного рельефа, когда при пересечении разломом Улахан верховьев рек Рассоха и Омuleвка (бассейн р. Ясачная, притока р. Колыма) выявлено систематическое смещение их русел влево с амплитудой от 4 до 24 км в течение среднего плейстоцена–голоцена. Это позволяет оценить среднюю скорость горизонтальных тектонических движений по в 0,5–0,7 см/год [28, 34]. Ярким примером таких левобокowych смещений может служить современная тектоническая обстановка, наблюдаемая на отрезке рассматриваемого разлома вблизи присдвиговой впадины «Переправа» (рис. 9).

Разлом Дарпир (см. рис. 2, 7) составляет сопряженную динамопару с разломом Улахан и



Рис. 9. Фрагмент топокарты верхнего течения р. Омuleвка (левого притока р. Ясачная, бассейн р. Колыма). М 1:300000. Штриховой линией показана трасса разлома Улахан. В левой кулисе показана современная присдвиговая впадина «pull-apart» Переправа. Стрелки указывают на систематическое смещение влево русел верхних притоков р. Омuleвка (Быстрый, Харкиндя и др.) вдоль трассы названного разлома.

Fig. 9. Fragment of topographic map of the upper stream of the Omulevka River (left tributary of the Yasachnaya River, the basin of the Kolyma R.). Scale 1: 300000. The dotted line shows the Ulakhan fault. There is a modern pull-apart basin «Pereprava» in the left echelon's fold. Arrows indicate a systematic leftward displacement of the upper tributaries of the Omulevka River (Bystryy, Harkindya and et al.) along the route of the named fault.

впервые был выделен А.А. Николаевым в 1958 г. Он следует на юго-востоке региона на расстоянии более 400 км и отделяет Омuleвское поднятие от Иньяли-Дебинского синклинария. Геологическим строением этого разлома занимались многие исследователи [29–31], благодаря которым была установлена его взбрососдвиговая кинематика. Горные породы в зоне разрыва подвержены интенсивной складчатости, сильному дроблению, расланцеванию и милонитизации. На многих своих участках разлом подчеркивается линейными магнитными аномалиями и резкой гравитационной ступенью. Амплитуда горизонтальных перемещений по нему сравнительно невелика и варьируется в интерпретации разных авторов от 2 до 10 км [27–29].

Дарпир, как и разлом Улахан, надежно дешифрируется на средне- и крупномасштабных космо- и аэрофотоснимках (см. рис. 7), выделяется на топокартах в виде протяженных лине-

аментов северо-западного простирания, которые сочленяются под острым углом в 20–25°, ограничивая поднятый с амплитудой в 450–550 м Омудевский блок палеозойских пород, развитых среди мезозойских образований крупного Охотского блока и Североамериканской плиты (см. рис. 7, врезка справа вверху). Согласно современным тектоническим представлениям, Омудевское поднятие является отдельным блоком, впаиваемым в мезозойскую структурную раму в процессе коллизионных и послеколлизионных преобразований структуры Верхояно-Колымских мезозоид [5, 6, 8]. На рис. 7 отражено пространственное положение главных осей (Р и Т) тектонических напряжений в фокусе Сеймчан-

ского 1974 г. и Улахан-Чистайского 2013 г. землетрясений, подтверждающие левосдвиговые подвижки в их очагах. Следует отметить, что сопряженная разрывная система Улахан–Дарпир представляет собой наиболее яркую динамопару, отражающую стиль тектонических деформаций в юго-восточной части границы между Североамериканской плитой и Охотоморским блоком. На врезке (см. рис. 7) предлагается структурно-динамическая модель Омудевского блока, подтверждающую экструзию (выдавливание) этого блока к юго-востоку при сближении названных плит.

В настоящее время местную сейсмичность в районе Улахана контролирует сеть цифровых

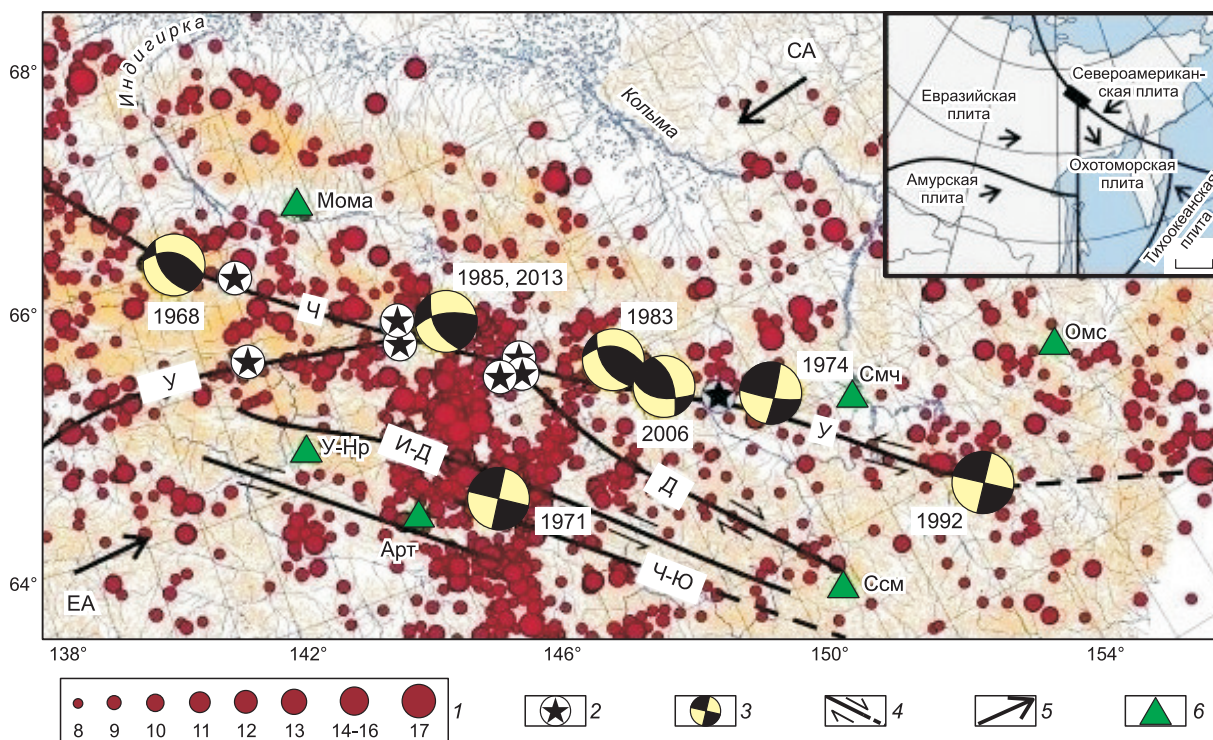


Рис. 10. Распределение эпицентров землетрясений в зоне разлома Улахан.

1 – энергетический класс землетрясений $K = \lg E$, Дж; 2 – сейсмодислокации; 3 – фокальные механизмы землетрясений (черные квадранты – области первых вступлений волн сжатия, желтые – волн разряжения), рядом проставлен год возникновения события; 4 – активные сдвиги: У – Улахан, Д – Дарпир, И-Д – Иньяли-Дебинский, Ч-Ю – Чималгинский, Ч-Ю – Чай-Юреинский; 5 – направление движения плит: EA – Евразийская, SA – Североамериканская; 6 – региональные сейсмические станции ФИЦ ЕГС РАН (Мома, У-Нр – Усть-Нера, Арт – Артык, Ссм – Сеймчан, Ссм – Сусуман, Омс – Омсукчан). На врезке приведена упрощенная карта взаимодействия литосферных плит на северо-востоке Азии. Район исследований помечен прямоугольником.

Fig. 10. Distribution of earthquakes epicenters of in the zone of the Ulakhan Fault.

1 – energy class of earthquakes $K = \lg E$, Joule; 2 – seismodislocation; 3 – focal mechanisms of earthquakes (black quadrants – areas of the first arrivals of compression waves, yellow ones – tension waves), the year of occurrence of the event is indicated beside; 4 – active strike-slip: У – Ulakhan, Д – Darpir, И-Д – In'yali-Debin, Ч-Ю – Chai-Yureya; 5 – direction of movement of plates: EA – Eurasian, SA – North American; 6 – regional seismic stations FITS EGS RAS (Moma, U-Nr – Ust-Nera, Art – Artyk, Smch – Seymchan, Sms – Susuman, Oms – Omsukchan). Upper in set shows simphlized the map of interaction of lithospheric plates in northeast Asia. The study area is marked with a rectangle.

сейсмических станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (Усть-Нера, Мома, Артык) и Магаданского филиала ФИЦ ЕГС РАН (Сеймчан, Сусуман, Омсукчан, Омчак), что позволяет без пропусков регистрировать все землетрясения, начиная с магнитуды $M_s \geq 2,5$ (энергетический класс $K \geq 8$).

За XX – начало XXI вв. в зоне влияния Улаха на отмечено более 14 тыс. подземных толчков, которые произошли на глубине 7–30 км в пределах земной коры (ее мощность здесь ~ 35 км [20]). Интенсивность больше десятка из них достигала в эпицентре 6–7 баллов. На рис. 10 приведена карта эпицентров землетрясений вдоль трассы Улаха на. Легко заметить, что он сейсмоактивен на всем своем протяжении. Все подвижки в очагах землетрясений (по данным фокальных механизмов) имеют идентичный тип, соответствующий левым сдвигам.

Повышенная мобильность Улаха на подтверждается также наличием в его системе следов современных землетрясений в виде обвалов, осыпей, камнепадов и др., а также крупных сейсмических событий прошлого (~20 палеосейсмодислокаций и сейсмопроявлений с возрастом от 4 тыс. лет и моложе). К наиболее крупным из них относятся сейсмодислокации «Чибагалах», «Тирехтях», «Урультун» и «Купкинская» [5, 6, 8]. Из хорошо сохранившихся древних дислокаций в зоне Улаха на хорошо известна обвальная плотина «Тирехтях» (Ерюн-Тас-Тух) высотой до 50 м, возникшая в момент землетрясения примерно 1 тыс. лет назад и перекрывшая один из водотоков в долине р. Тирехтях, левого притока р. Мома [5, 33]. Именно сюда тяготеет очаг одного из самых сильных современных сейсмических событий, приуроченных к разлому Улаха на, подтверждающих общий сдвиговой характер смещения по его плоскости, каким является Улахан-Чистайское землетрясение 20 января 2013 г., которое случилось в центральной части СЗЧ в хр. Улахан-Чистай, вблизи восточного окончания кайнозойской Бугчанской впадины. Оно произошло 20.01.2013 г. в 8 ч. 38 мин. Гринвича с $m_b = 5,7$ на глубине 23 км. Его координаты соответствовали $64,76^\circ$ с.ш. и $146,66^\circ$ в.д. Сила сотрясений в эпицентральной области могла достигать 7–8 баллов.

Согласно опросам местного населения, землетрясение ощущалось в трех северо-восточных районах Республики Саха (Якутия) (Оймяконском, Момском и Верхнеколымском), а также на юге Магаданской области на площади почти 300 тыс. км². Его воздействия почувствовали жи-

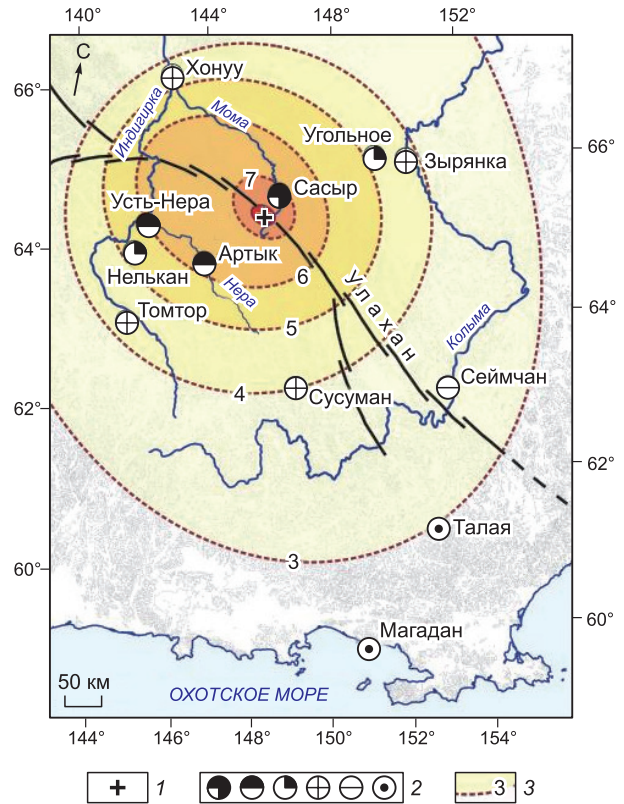


Рис.11. Схема изосейст Улахан-Чистайского землетрясения 20.01.2013 г.

1 – эпицентр главного толчка по инструментальным данным; 2 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 соответственно: 7, 6, 5, 4, 3, 2; 3 – изосейсты (линии бальности). Утолщенная сплошная линия – трасса разлома Улаха на.

Fig. 11. The Isoseists of Ulakhan-Chistai earthquake dated January 20, 2013.

1 – the epicenter of the main shock according to instrumental data; 2 – intensity of shocks in points on the MSK-64 scale, respectively: 7, 6, 5, 4, 3, 2; 3 – The thickened solid line is the Ulakhan fault line.

тели 12 населенных пунктов. По этим данным была построена карта изосейст (рис. 11). Движения в очаге Улахан-Чистайского толчка по данным параметров фокального механизма, приведенного в бюллетене ISC [<http://www.isc.uk/>], произошли по типу левого сдвига, что совпадает с левобокowymi перемещениями по разлому Улаха на, установленными по геолого-структурным данным [6].

Полученные материалы свидетельствуют, что сеймотектонические процессы в зоне влияния разлома Улаха на протекают в условиях сжатия, способствующих развитию в современную эпоху систем левых сдвигов в сочетании с надвигами и взбросами.

Заключение

Исследования в центральной части сейсмо-тектонической зоны Черского (СЗЧ) показали, что современная природа сейсмичности обусловлена здесь обстановкой сжатия, способствовавшей развитию региональной Верхояно-Колымской системы сдвигов, взбрососдвигов, надвигов и интенсивной дислоцированности кайнозойских осадков. Эта характеристика геологической среды устанавливалась на основе изучения трещиноватости горных пород и зеркал скольжения в зонах активных разломов, при изучении отложений кайнозойских впадин и прогибов, а также анализа многочисленных проявлений сейсмичности и параметров фокальных механизмов землетрясений [5–8].

На примере одного из главных разломов этой системы Улахан были рассмотрены присущие для него признаки геодинамической активности, характерные при современном тектоническом режиме сжатия.

Прежде всего названный разлом формирует-ся и развивается как левый сдвиг со скоростью движения до 0,5–0,7 см/год., что вызвало образование в его структуре серии познекайнозойских минивпадин «pull-apart». Для разлома характерен высокий сейсмический потенциал с генерацией землетрясений с $M_s = 5,5–6$. Параметры фокальных механизмов сильных землетрясений с подвижками в очаге типа сдвига, взбрососдвига и надвига уверенно согласуются с кинематикой Улахана, определенной по геологическим данным. Зона разлома сопровождается многочисленными сейсмопроявлениями (обвалы, оползни, камнепады и др.) и палеосейсмодислокациями. Для этой территории присуща повышенная плотность теплового потока (до 70 мВт/м²) и широкое развитие наледных процессов [7, 8]. Пространственное совпадение этих явлений, по-видимому, неслучайно, так как все они тяготеют к зоне влияния разлома, современные подвижки по которому нарушают целостность земной коры и способствуют, вероятно, подтоку внутриземного тепла к поверхности, вызывая формирование таликов и появление наледей. Кроме того, реликты Момского рифта (утонение земной коры, наличие неоднородности в коре и верхах мантии и др.) также способствуют реактивации здесь сейсмо-тектонических процессов.

Предложенная блок-диаграмма модели происходящих сейсмо-тектонических движений в райо-

не динамического влияния разломов Улахан и Дарпир подтверждается произошедшими здесь в последнее время землетрясениями и кинематикой активных разломов (см. рис. 7) и доказывает определяющую роль разлома Улахан в сейсмической жизни региона.

Установленный кинематический план развития системы разлома Улахан, образующего центральную, стволую трассу и ее разветвления по краям, связан с тем, что сейсмогенерирующие структуры развиваются в условиях коллизии Евразийской (скорость движения 0,2 см/год) и Североамериканской (1 см/год) литосферных плит, движущихся навстречу друг другу [34], что, несомненно, изменяет облик современного рельефа, в том числе, например, конфигурацию Момо-Селенныхских впадин.

Полученные результаты детальных сейсмо-тектонических исследований могут являться базовой основой анализа геодинамических режимов, а также сейсмогеодинамических построений для отдельных сегментов сейсмических поясов северо-востока Азии.

Литература

1. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
2. Plate-tectonic map of Circum-Pacific region. Circum-Pacific map series. U.S. Geological Survey, 1984.
3. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1987. 258 с.
4. Rowley D.B., Lottes A.L. Plate-kinematic reconstructions of the North Atlantic and Arctic: Late Jurassic to Present // Tectonophysics. 1988. V. 155. P. 73–120.
5. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Активные разломы и сейсмо-тектоника Северо-Восточной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 138 с.
6. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмо-тектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 227 с.
7. Fujita K., Cambray F.W., Velbel M.A. Tectonics of the Laptev Sea and Moma rift systems, Northeastern USSR // Marine Geology. 1990. V. 93. P. 95–118.
8. Сейсмо-тектоника северо-восточного сектора Российской Арктики / отв. ред. Л.П. Имаева, И.И. Коллодезников. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 136 с.
9. Mackey K.G., Fujita K., Hartse H.E., Stead R.J., Steck L.K., Gunbina L.V., Leyshuk N., Shibaev S.V., Koz'min B.M., Imaev V.S., Gordeev E.I., Chebrov V.N., Masal'ski, Gileva N.A., Bormatov V.A., Voitenok A.A., Levin Y.N., Fokina T.A. Seismicity map of Eastern Russia, 1960–2010 // Seismological Research Letters. 2010. V. 81, N 5. P. 761–768.
10. Землетрясения России в 2003 году. Обнинск: ГС РАН, 2006. 112 с.

11. Николаев П.Н. Системный анализ тектонических напряжений и деформаций // Изв. вузов. Геол. и разв. 1979. № 5. С. 35–42.
12. 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.
13. Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // Физика Земли. 1996. № 12. С. 5–36.
14. Kristoffersen Y. Eurasia Basin // The Geology of North America. Vol. L. The Arctic ocean region / ed. A. Grantz, G.L. Johnson, J.F.Sweeney / Geological Society of America, Boulder, CO, 1990. P. 365–378.
15. Артемов А.В., Иванов И.Ю. Геологическое строение Момского континентального рифта // Геотектоника. 1988. № 2. С. 102–107.
16. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. 185 с.
17. 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. Т. 311, № 3. С. 689–694.
18. Ландер А.В., Левшин А.Л., Ратникова А.И., Якобсон А.Н. Особенности глубинного строения севера Евразии по данным поверхностных сейсмических волн // Докл. АН СССР. 1985. Т. 286, № 4. С. 845–848.
19. Franke D., Kruger F., Klinge K. Tectonics of the Laptev Sea – Moma “Rift” Region: Investigation with Seismologic Broadband Data // J. of Seismology. 2000. N 4. P. 99–116.
20. Mackey G.K., Fujita K., Ruff L.J. Crustal thickness of Northeast Russia // Tectonophysics. 1998. V. 284. P. 283–297.
21. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы Севера Азии. Новосибирск: Наука, 1991. 194 с.
22. Суворов В.Д., Корнилова З.А. Мощность земной коры на юго-востоке Верхояно-Колымской складчатой области // Тихоокеанская геология. 1986. № 4. С. 32–35.
23. Смирнов Я.Б. Новые принципы анализа данных теплового потока на территории СССР и некоторые аспекты изучения тектонической активности // Современная тектоническая активность территории СССР. М.: Наука, 1984. С. 56–65.
24. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic-Asian seismic belt) // Journal of Asian Earth Sciences. 2016. V. 116. P. 59–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.010>
25. Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I. Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // Journal of Asian Earth Sciences, 2017. V.148. P. 254–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.007>.
26. Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S., Mackey K.C. Structure of dynamic analysis of the epicentral zone of the Slin-Tas earthquake (14.02.2013. Ms 6. 9 // J. of Seismology. 2015. V. 19. P. 341–353. DOI: 10.1007/15110950-014-9469-5)
27. Imaeva L.P., Imaev V.S., Smekalin O.P., Grib N.N. A seismotectonic zonation map of Eastern Siberia: new principles and methods of mapping // Open Journal of Earthquake Research, 2015. V. 4. P. 115–125. <http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.44011>
28. Mclean M.S., Fujita K., Mackey K.G., Kleber E., Koz'min B.M., Imaev V.S. The Ulakhan Fault System, Northeast Russia. // 2000 Fall Meeting AGU. Abstracts. San-Fransisco, USA, 2000. P. F1164.
29. Шахтыров В.Г. Разломные и сдвиговые морфоструктуры Северо-Востока СССР // Морфоструктурные исследования. Теория и практика. М.: Наука, 1985. С. 190–194.
30. Мальков Б.И. Схема развития юго-восточной части Яно-Колымской геосинклинали системы // Мезозойский тектогенез: материалы 7-й сессии научного совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока / ИТиГ ДВО АН СССР. Хабаровск, 1971. С. 35–41.
31. Мерзляков В.М. Стратиграфия и тектоника Омурского поднятия (Северо-Восток СССР). М.: Наука, 1971. 152 с.
32. Бочаров Г.В., Гусев Г.С., Есипова Л.В. Карта современных движений территории Якутской АССР // Геотектоника. 1982. № 3. С. 60–63.
33. Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации в сейсмическом поясе Черского // Сейсмологические и петрофизические исследования на северо-востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. С. 79–102.
34. Стеблов Г.М. Взаимодействие тектонических плит в Северо-Восточной Азии // Докл. РАН. 2004. Т. 394, № 5. С. 689–692.

References

1. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Vvedenie v geodinamiku [Introduction to geodynamics]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 311 p.
2. Plate-tectonic map of Circum-Pacific region. Circum-Pacific map series. U.S. Geological Survey, 1984.
3. Grachev A.F. Riftovye zony Zemli [Rift zones of the Earth]. Leningrad, Nedra Publ., 1987. 258 p.
4. Rowley D.B., Lottes A.L. Plate-kinematic reconstructions of the North Atlantic and Arctic: Late Jurassic to Present // Tectonophysics. 1988. V. 155. P. 73–120.
5. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Aktivnyye razlomy i seismotektonika Severo-Vostochnoi Yakutii [Active faults and seismotectonics of Northeastern Yakutia]. Yakutsk, YaNTs SO AN SSSR Publ., 1990. 138 p.
6. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Seismotektonika Yakutii [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, GEOS Publ., 2000. 227 p.
7. Fujita K., Cambray F.W., Velbel M.A. Tectonics of the Laptev Sea and Moma rift systems, Northeastern USSR // Marine Geology. 1990. V. 93. P. 95–118.

8. *Imaev L.P., Kolodeznikov I.I., eds.* Seismotektonika severo-vostochnogo sektora Rossiiskoi Arktiki [Seismotectonics of the north-eastern sector of the Russian Arctic], Rus. Acad. Of Sciences, Sib. Branch, Institute of the Earth's crust, Institute of Geol. diamond and precious metals. Novosibirsk, Publishing House of the SB RAS, 2017. 136 p.
9. *Mackey K.G., Fujita K., Hartse H.E., Stead R.J., Steck L.K., Gunbina L.V., Leyshuk N., Shibaev S.V., Koz'min B.M., Imaev V.S., Gordeev E.I., Chebrov V.N., Masal'ski, Gileva N.A., Bormatov V.A., Voitenok A.A., Levin Y.N., Fokina T.A.* Seismicity map of Eastern Russia, 1960–2010 // Seismological Research Letters. 2010. V. 81, N 5. P. 761–768.
10. *Zemletryaseniya Rossii v 2003 godu* [Earthquakes of Russia in 2003], Obninsk, GS RAN Publ., 2006. 112 p.
11. *Nikolaev P.N.* Sistemnyi analiz tektonicheskikh napryazhenii i deformatsii [System analysis of tectonic stresses and strains], *Izv. Vuzov. Geol. i razv.* 1979. N 5. p. 35–42.
12. *Grachev A.F., Demenitskaya R.M., Karasik A.M.* Problemy svyazi Momskogo kontinental'nogo rifta so strukturoi sredinno-okeanicheskogo khrebta Gakkelya [Problems connections of the Momsky continental rift with the structure of the mid-oceanic ridge Gakkel]. *Geofizicheskie metody razvedki v Arktike.* Leningrad, NIIGA Publ. 1973. Issue 8. P. 56–75.
13. *Grachev A.F.* Osnovnye problemy noveishei tektoniki i geodinamiki Severnoi Evrazii [The main problems of modern tectonics and geodynamics of Northern Eurasia] // *Fizika Zemli* Publ. 1996. N 12. P. 5–36.
14. *Kristoffersen Y.* Eurasia Basin. The Geology of North America vol. L. The Arctic ocean region (edited A. Grantz, G.L. Johnson, J.F. Sweeney). Geological Society of America, Boulder, CO, 1990, P. 365–378.
15. *Artemov A.V., Ivanov I.Yu.* Geologicheskoe stroenie Momskogo kontinental'nogo rifta [Geological structure of the Momsky continental rift] // *Geotektonika.* 1988. N 2. P. 102–107.
16. *Avetisov G.P.* Seismoaktivnye zony Arktiki [Seismically active zones of the Arctic]. Saint-Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publ., 1996. 185 p.
17. *Gramberg I.S., Demenitskaya R.M., Sekretov S.B.* Sistema riftogennykh grabenov shel'fa morya Laptevykh kak nedostayushchego zvena riftovogo poyasa khrebta Gakkelya - Momskogo khrebta [The system of rift grabens of the Laptev Sea shelf as a missing link in the rift belt of the Gakkel – Mom range] // *Dokl. AN SSSR.* 1990, Issue 311, N 3. P. 689–694.
18. *Lander A.V., Levshin A.L., Ratnikova A.I., Yakobson A.N.* Osobennosti glubinnogo stroeniya severa Evrazii po dannym poverkhnostnykh seismicheskikh voln [Features of the deep structure of the north of Eurasia according to surface seismic waves] // *Dokl. AN SSSR.* 1985. V. 286, N 4. P. 845–848.
19. *Franke D., Kruger F., Klinge K.* Tectonics of the Laptev Sea – Moma “Rift” Region: Investigation with Seismologic Broadband Data // *J. of Seismology.* 2000. N 4. P. 99–116.
20. *Mackey G.K., Fujita K., Ruff L.J.* Crustal thickness of Northeast Russia // *Tectonophysics.* 1998. V. 284. P. 283–297.
21. *Balobaev V.T.* Geotermya merzloi zony litosfery Severa Azii [Geothermy of the frozen zone of the lithosphere of the North of Asia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 194 p.
22. *Suvorov V.D., Kornilova Z.A.* Moshchnost' zemnoi kory na yugo-vostoke Verkhoyano-Kolymskoi skladchatoi oblasti [The crustal thickness in the southeast of the Verkhoyansk-Kolyma folded region] // *Tikhookeanskaya geologiya.* 1986. N 4. P. 32–35.
23. *Smirnov Ya.B.* Novye printsipy analiza dannykh teplovogo potoka na territorii SSSR i nekotorye aspekty izucheniya tektonicheskoi aktivnosti [New principles for analyzing heat flow data on the territory of the USSR and some aspects of the study of tectonic activity] // *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' territorii SSSR.* M.: Nauka, 1984. P. 56–65.
24. *Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M.* Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // *Journal of Asian Earth Sciences.* 2016. V. 116. P. 59–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.010>
25. *Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I.* Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // *Journal of Asian Earth Sciences,* 2017. V. 148. P. 254–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.007>.
26. *Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S., Mackey K.C.* Structure of dynamic analysis of the epicentral zone of the Slin-Tas earthquake (14.02.2013. Ms 6. 9 // *J. of Seismology.* 2015. V. 19. P. 341–353. DOI: 10.1007/15110950-014-9469-5)
27. *Imaeva L.P., Imaev V.S., Smekalin O.P., Grib N.N.* A seismotectonic zonation map of Eastern Siberia: new principles and methods of mapping // *Open Journal of Earthquake Research,* 2015. V. 4. P. 115– 125. <http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.44011>
28. *McLean M.S., Fujita K., Mackey K.G., Kleber E., Koz'min B.M., Imaev V.S.* The Ulakhan Fault System, Northeast Russia // 2000 Fall Meeting AGU. Abstracts. San-Fransisco: USA, 2000. P. F1164.
29. *Shakhtyrov V.G.* Razlomnye i sdvigovye morfostruktury Severo-Vostoka SSSR // *Morfostrukturnye issledovaniya. Teoriya i praktika* [Fault and shear morphostructures of the North-East of the USSR. Morphostructural studies. Theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 1985. P. 190–194.
30. *Mal'kov B.I.* Skhema razvitiya yugo-vostochnoi chasti Yano-Kolymskoi geosinklinal'noi sistemy // *Mezozoiskii tektogenez: materialy 7-i sessii nauchnogo soveta po tektonike Sibiri i Dal'nego Vostoka.* Khabarovsk, ITiG DVO AN SSSR, 1971. P. 35–41.
31. *Merzlyakov V.M.* Stratigrafiya i tektonika Omulevskogo podnyatiya (Severo-Vostok SSSR) [Stratigraphy

and tectonics of the Omulevsky uplift (Northeastern USSR)]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 152 p.

32. *Bocharov G.V., Gusev G.S., Esipova L.V.* Karta sovremennykh dvizhenii territorii Yakutskoi ASSR // *Geotektonika*. 1982. N 3. P. 60–63.

33. *Vazhenin B.P.* Paleoseismodislokatsii v seismicheskom poiyase Cherskogo // *Seismologicheskie i petrofi-*

zicheskie issledovaniya na severo-vostoke Rossii. Magadan: SVKNII DVO RAN, 1992. P. 79–102.

34. *Steblov G.M.* Vzaimodeistvie tektonicheskikh plit v Severo-Vostochnoi Azii // *Dokl. RAN*. 2004. V. 394, N 5. P. 689–692.

Поступила в редакцию 08.04.2019

Принята к публикации 28.06.2019

Об авторах

ИМАЕВ Валерий Сулейманович, доктор геолого-минералогических наук, академик Академии наук Республики Саха (Якутия), главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6510-0526>, imaev@crust.irk.ru;

ИМАЕВА Людмила Петровна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8235-7112>, imaeva@crust.irk.ru;

КОЗЬМИН Борис Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru.

About authors

ИМАЕВ Valeriy Suleimanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Principal Researcher, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 128 Lermontova str., Irkutsk, 664033 Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6510-0526>, imaev@crust.irk.ru;

ИМАЕВА Lyudmila Petrovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 128 Lermontova str., Irkutsk, 664033, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8235-7112>, imaeva@crust.irk.ru;

KOZMIN Boris Mikhailovich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru.

Информация для цитирования

В.С. Имаев, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин. Геодинамические особенности сейсмоструктур центральной части зоны Черского (Северо-Восток России) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019, том 24, № 2. С. 5–20. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-1>

Citation

V.S. Imaev, L.P. Imaeva, B.V. Koz'min. Geodynamic features of seismotectonic structures on central part of the Chersky Zone (North-East of Russia) // *Arctic and Subarctic natural resources*. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 5–20. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-1>