

Структурно-динамическая модель составных сегментов сейсмотектонической зоны Черского (континентальная часть Арктико-Азиатского сейсмического пояса)

Л.П. Имаева, В.С. Имаев, Б.М. Козьмин*

Институт земной коры СО РАН, г.Иркутск,

**Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск*

Для создания модели современной геодинамики сейсмотектонической зоны Черского (континентальная часть Арктико-Азиатского сейсмического пояса) проанализированы: структурно-тектоническое положение, параметры глубинного строения, кинематические типы сейсмогенерирующих структур, морфотектонические особенности современного рельефа и соответствующие им поля тектонических напряжений, установленные на основе решений фокальных механизмов очагов местных землетрясений и типов позднекайнозойских складчатых и разрывных деформаций. Установлено, что в условиях транспрессии (сжатие со сдвигом) в пределах локальных сегментов центральной части зоны Черского (Яно-Индиго-Колымский и Индиго-Колымский) имеет место определенная динамическая обстановка, инициированная взаимодействием фронтальных структур зон контактного сопряжения Евразийской и Североамериканской литосферных плит. Подобные условия возможны, если при сближении этих плит Колымо-Омолонский блок во фронтальной части Североамериканской плиты выполнял роль активного индентора. Под его давлением ряд террейнов различной геодинамической природы подвергался горизонтальному сжатию, при котором отдельные блоки сегментов по системе сопряженных разнонаправленных сдвигов различного иерархического ряда выжимались по латерали вдоль орогенного пояса соответственно к северо-западу и юго-востоку, формируя в краевых и фронтальных частях зоны Черского главные сейсмогенерирующие структуры, обладающие максимальным сейсмическим потенциалом.

Ключевые слова: Арктико-Азиатский сейсмический пояс, сейсмотектоническая зона Черского, региональные сегменты, активные разломы, механизм очага землетрясений, типы позднекайнозойских деформаций, Колымо-Омолонский блок, индентор, динамика сейсмогенерирующих структур, структурно-динамическая модель.

To create a model of modern geodynamics of the seismotectonic Chersky zone (continental part of the Arctic-Asian seismic belt) we analyzed its structural-tectonic position, parameters of a deep structure, kinematic types of seismogenic structures, morphotectonic features of the modern relief and corresponding to them tectonic stress fields established on a basis of the solutions of focal mechanisms of local earthquakes centers, as well as the types of the Late Cenozoic fold and discontinuous deformations. It was found that under the transpressional conditions (compression with strike-slip) within the local segments of the central part of the Chersky zone (Yana-Indigirka and Indigirka-Kolyma) there is a certain dynamic situation, initiated by the interaction of the frontal structures of the contact zones of the Eurasian and North American lithospheric plates. Such conditions are possible if during the convergence of these plates the Kolyma-Omolon block in the frontal part of the North American plate as the indenter was active. Under the pressure of the indenter a series of terrains of different geodynamic nature was exposed to horizontal compression. As a result individual blocks of those segments on the system of differently directional strike-slips of different hierarchy were extruded in lateral direction along the orogenic belt respectively to the north-west and the south-east, forming on the edges and front parts of the Chersky zone the main seismogenic structures with a maximum seismic potential.

Key words: Arctic-Asian seismic belt, seismotectonic Chersky zone, regional segments, active faults, mechanism of earthquakes, types of Late Cenozoic deformations, Kolyma-Omolon block, indenter, dynamics of seismogenic structures, structural-dynamic model.

ИМАЕВА Людмила Петровна – к.г.-м.н., с.н.с., imaeva@crust.irk.ru; ИМАЕВ Валерий Сулейманович – д.г.-м.н., проф., акад. АН РС (Я), г.н.с.; *КОЗЬМИН Борис Михайлович – к.г.-м.н., в.н.с., b.m.kozmin@diamond.ysn.ru.

Введение

Комплексные геолого-геофизические и сейсмологические исследования выявили на территории северо-востока Азии протяженный Арктико-Азиатский сейсмический пояс (ААСП) [3, 11, 13], геодинамические процессы в котором являются индикаторами сейсмотектонических деформационных преобразований земной коры в зонах контактного взаимодействия крупных литосферных плит (Североамериканской и Евразийской). В структурно-тектоническом плане ААСП подразделяется на несколько крупных региональных сегментов (Лаптевоморский, Хараулахский, Черского и Охотоморский) с развитием в их пределах характерных структурных парагенезисов, связанных с определенным типом напряженного состояния земной коры [4, 5, 8]. Обобщение материалов инструментальных наблюдений, принадлежащих филиалам Геофизической службы РАН, СО РАН и Университета штата Мичиган (США), отображенных на карте сводной сейсмичности северо-востока России [12, 13], а также совместный анализ данных геолого-структурных [9] и морфотектонических [6] исследований позволили уточнить динамику сейсмогенерирующих структур, составляющих локальные сегменты сейсмотектонической зоны Черского (СЗЧ) и разработать региональную структурно-динамическую модель.

В процессе исследований решался комплекс следующих задач:

- анализ опубликованных структурно-тектонических, геолого-геофизических и сейсмологических данных, построение дополнительных схем, характеризующих общий морфотектонический план региона;
- выявление сейсмотектонической реактивации позднемезозойской тектонической структуры, установление её влияния на новейший структурный план и тип кайнозойских деформационных процессов;
- проведение структурно-динамического анализа эпицентральных зон сильных землетрясений и определение типов сейсмотектонической деструкции;
- уточнение кинематики движений и разработка региональной структурно-динамической модели главных сейсмогенерирующих структур составных сегментов сейсмотектонической зоны Черского.

По особенностям структурных парагенезисов, связанных с определенным типом напряженного состояния земной коры [2, 3, 9], строению геофизических полей [10, 12], а также общему морфотектоническому плану [4, 5] и динамике

главных сейсмогенерирующих структур [5, 6] в системе мезозойских сейсмотектонической зоны Черского выделяются Яно-Индиго-Колымский (Охотский) локальные сегменты, расположение которых нанесено на рис 1.

Яно-Индиго-Колымский сегмент СЗЧ в морфотектоническом плане представлен деформационными структурами северного и северо-западного флангов фронтальной зоны взаимодействия между Евразийской и Североамериканской плитами (рис. 2). Зона коллизии, обладающая специфическим от смежных деформационных зон глубинным строением [10, 12], включает коллаж тектонических структур (террейнов), возникших в определенных геодинамических условиях [9], и характеризуется комплексом морфотектонических и разрывных элементов (разломно-блоковых структур) [4, 5].

В структурно-тектоническом плане сегмент включает фронтальные зоны Колымо-Омолонского блока и ряд террейнов (Полуосно-Дебинский, Омудевский, Нагоджинский и др.) различной геодинамической природы, расположенных к северу и северо-западу от среднего течения р. Индиго. По серии северо-западных разломов, преимущественно левосдвиговой кинематики, террейны разобщены на серию разломно-блоковых структур [3, 4], наиболее крупные из которых – Чемагинский, Тас-Хаяхта-ский и Селенныхский.

В становлении современного рельефа Яно-Индиго-Колымского сегмента основную роль играют разломы позднемезозойского времени заложения, активизированные в кайнозое. Анализ кинематических типов активных разломов и деформаций в кайнозойских отложениях [3–6], установленных на северо-восточном фланге Яно-Индиго-Колымского сегмента, показал, что на этой территории развиты дизъюнктивы различного ранга и генезиса преимущественно надвиговой, взбросо-сдвиговой и сдвиговой динамики. Амплитуды горизонтальных перемещений по разломам оцениваются первыми десятками километров [2].

Для анализа динамики формирования сейсмогенерирующих структур сегмента наиболее показательна разломная система, трассируемая в Илин-Тасской складчатой зоне вдоль осевой части Момского хребта (рис. 2). В плане южные кулисы разнонаправленной системы Илин-Тасского (левый сдвиг) и Арга-Тасского (правый сдвиг) разломов сопряжены под косым углом примерно в центре Момского хребта, создавая к северо-западу и юго-востоку веерообразные зоны сжатия, представленные широким



Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений и механизмов очагов сильных землетрясений сейсмотектонической зоны Черского (континентальная часть ААСП). Составлена по материалам ГФ РАН и ГС СО РАН: 1–2 – активные разломы: 1 – сдвиги, 2 – надвиги и взбросы; 3 – механизм очагов сильных землетрясений с указанием их даты и магнитуды, белым цветом обозначены области сжатия; 4 – направление движения литосферных плит и блоков; 5 – вулкан Балаган-Тас; 6 – полюс вращения плит. В кружках цифрами обозначены составляющие сегменты сейсмотектонической зоны Черского: 1 – Яно-Инди-гирский; 2 – Индигиро-Кольский

спектром складчатых деформаций в кайнозойских отложениях Индиги́ро-Зырянского прогиба и Мо́мо-Селенныхских депрессий [3–6]. Перед фронтальной областью сопряжения закономерно расположена зона растяжения, морфологически представленная субширотной долиной среднего течения р. Мома, где расположен кайнозойский вулкан Балаган-Тас, крупнейшая в мире наледь Улахан-Тарын и наблюдаются многочисленные минерализованные термальные источники подземных вод [1].

Напряженное состояние земной коры исследовалось на основе решений механизмов очагов землетрясений в зоне взаимодействия Колымо-Омолонского блока и Евразийской плиты

(табл. 1). Совместный анализ элементов активной тектоники и проявлений сейсмичности выявил определенную закономерность в развитии типа фокальных механизмов сильных землетрясений и их распределения в пространстве (рис. 2). Так, для землетрясений СЗЧ характерно, что все они происходят в условиях устойчивого северо-восточного сжатия. При этом сжимающие усилия (σ_3) – близгоризонтальны (углы падения 3–44°) и действуют вкрест простирания структурных элементов территории. Напряжения растяжения (σ_1) часто действуют вдоль трасс разломов и ориентированы как горизонтально, так и близвертикально по отношению к земной поверхности (углы падения 2–85°). Оси

**Параметры фокальных механизмов землетрясений в зоне взаимодействия
Колымо-Омолонского блока и Евразийской плиты**

Дата, год- мес.- число	Время в очаге, час-мин	φ° , N, град	λ° , E, град	M	σ_1		σ_2		σ_3		Тип подвижки	Ис- точник
					Azm	P1	Azm	P1	Azm	P1		
1951-02-12	17-22	65.0	137.0	6.4								[12]
1959-10-30	04-00	66.0	137.5	5.2	-	90	320	00	230	00	B	[12]
1962-04-19	23-16	69.5	138.5	6.2	151	83	292	06	22	05	B	[12]
1968-09-09	02-20	66.2	142.1	5.0	130	43	300	46	38	07	B-C	[12]
1970-06-05	10-31	63.3	146.2	5.4	154	30	346	60	247	06	C	[12]
1971-05-18	22-44	64.0	146.1	6.6	172	09	334	80	82	03	C	[12]
1971-09-30	21-31	61.6	140.4	5.5	16	00	283	88	107	01	C	[12]
1972-01-13	17-24	61.9	147.0	5.3	309	02	44	60	219	29	C	[12]
1974-06-19	03-09	63.2	151.0	4.9	10	08	236	78	101	08	C	[12]
1976-01-21	06-02	67.7	140.2	5.0	313	27	163	58	50	14	C-B	[12]
1979-10-07	01-29	65.0	144.0	4.8	304	69	120	21	211	02	B	[12]
1981-08-29	22-24	65.5	136.4	4.7	101	28	245	57	03	17	C	[12]
1982-09-03	07-29	66.9	133.3	4.5	72	05	177	67	339	20	C	[12]
1983-03-25	10-37	63.6	149.9	4.7	144	69	298	18	32	09	B	[12]
1984-11-22	13-53	68.5	140.8	5.1	288	31	79	56	190	14	C-B	[12]
1985-06-24	03-55	65.3	144.7	4.6	148	44	304	44	46	12	C-B	[12]
1987-02-11	00-58	62.8	156.9	4.9	04	48	274	00	184	42	B	[12]
1999-01-07	18-14	67.6	140.9	5.2	309	06	59	74	218	15	C	[12]
2005-01-25	22-22	69.8	138.3	4.5	112	21	332	64	208	16	C-B	[12]
2006-10-19	07-16	64.1	148.9	5.2	356	31	139	53	254	18	C	[12]
2008-06-22	22-57	67.7	141.3	6.1	313	50	131	40	222	01	C-B	[12]
2013-01-20	10-48	64.9	146.7	5.7	355	30	150	57	258	12	C	[15]
2013-02-14	13-13	67.6	142.5	6.9	324	76	129	13	220	3	H	[15]
2013-05-10	08-38	67.5	139.3	5.4	37	74	127	0	217	14	H	[15]

Примечание. φ , N, λ , E – координаты эпицентра землетрясения: северная широта и восточная долгота соответственно; M – магнитуда землетрясения; σ_1 , σ_2 , σ_3 – напряжение растяжения, промежуточное и сжатия соответственно (Att – азимут оси напряжения, P1 – угол падения, град); тип подвижки: B – взброс, H – надвиг, C – сдвиг, B-C – взбросо- сдвиг, C-B – сдвиго- взброс.

промежуточного напряжения (σ_2) располагаются беспорядочно в пространстве и наклонены к горизонту под углами от 0 до 82°. Такая система напряжений в очагах землетрясений господствует на всем протяжении от Северного Верхоянья до Охотского моря (рис. 1).

Ориентация главных тектонических напряжений, выявленная по сейсмологическим данным, подтверждает, что большинство подвижек в очагах землетрясений СЗЧ соответствует взбросам, надвигам и сдвигам. Из 30 подобных определений 39% составляют взбросы, 30% – сдвиги, 17% – надвиги, остальные – сочетание сдвигов и сбросов (14%). Полученные материалы свидетельствуют, что сейсмический процесс в СЗЧ протекает в условиях господствующего сжатия в зоне активного развития взбросов, сдвигов и их комбинаций (рис. 1). Это отчетливо прослеживается в структурной организации главных сейсмогенных зон всей сейсмотектонической зоны Черского. Так, сгущение эпицентров, группирующееся вдоль линии разлома Улахан, продолжается на левобережье р. Инди-

гирка по трассе Чибгалахского разрывного нарушения, но затем вблизи 140–141° восточной долготы круто меняет своё северо-западное простирание на долготное. При этом полоса эпицентров землетрясений пересекает почти вкрест простирания систему Момо-Селенныхских впадин и вдоль западного склона кряжа Андрей-Тас следует к хр. Полоусный, тяготея к Селенныхскому разлому.

В Яно-Индибирском сегменте выделяется несколько максимумов сейсмической активности (рис. 2). Наибольший максимум располагается в пределах блока Андрей-Тас, где наряду с многочисленными слабыми сотрясениями ранее были отмечены 7-балльное Уядинское событие 1984 г. с $M_s=5.6$, 6–7-балльное землетрясение 1999 г. с $M_s=5.2$, 8-балльное Андрей-Тасское событие 2008 г. с $M_s=6.1$ и 9-балльный Илин-Тасский толчок 2013 г. с $M_s=6.9$. Для многих сильных землетрясений в пределах всей сейсмотектонической зоны Черского ранее были составлены схемы изосейст [3, 4, 7]. Для них обнаруживается четкая тенденция: все

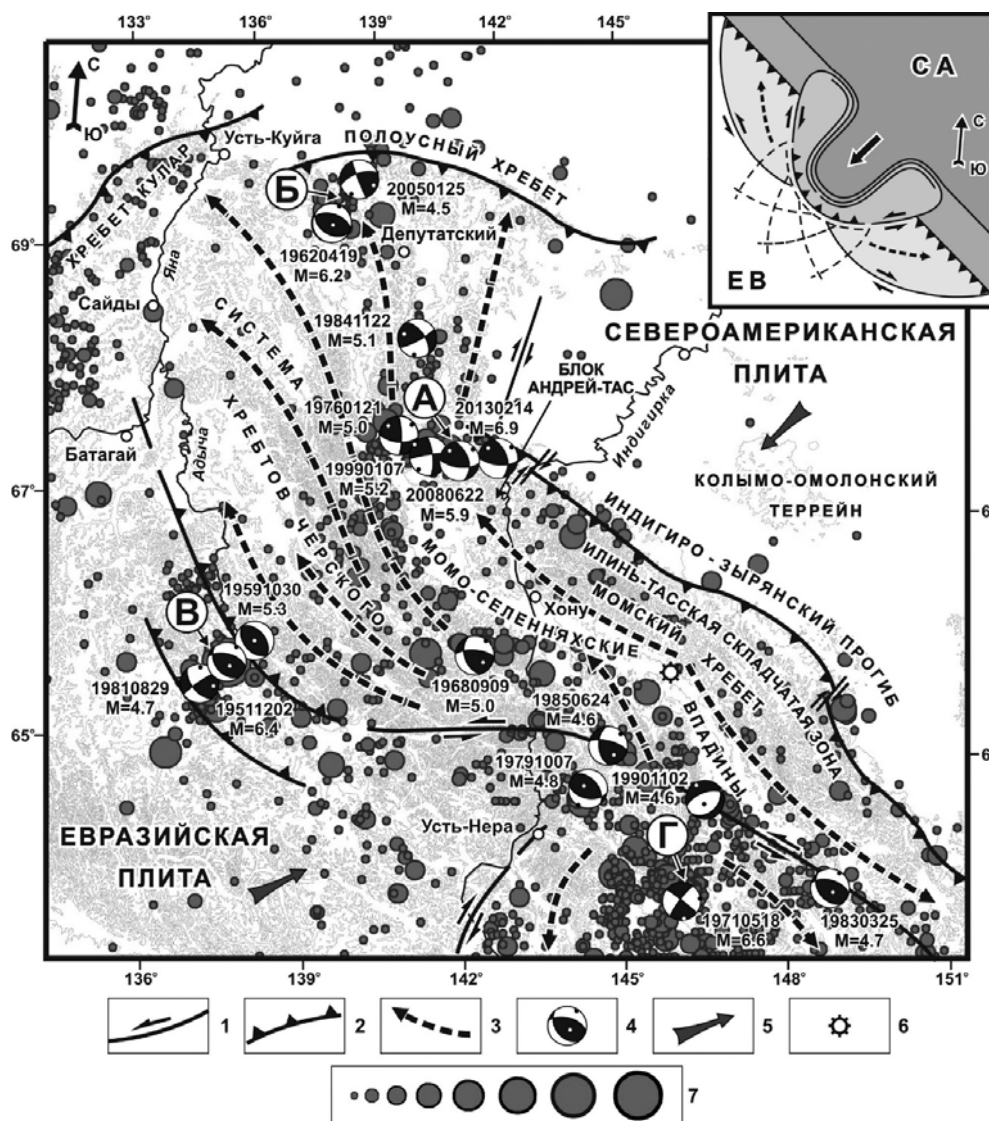


Рис. 2. Схема современной динамики и эпицентров землетрясений Яно-Инди́гирского сегмента сейсмотектонической зоны Черского (ААСП) (по [3, 6], с дополнениями): 1–2 – активные разломы: 1 – сдвиги, 2 – надвиги и взбросы; 3 – направления перемещения блоков; 4 – стереограммы механизмов очагов землетрясений, рядом проставлена дата их возникновения и магнитуда; 5 – направление движения литосферных плит; 6 – вулкан Балаган-Тас; 7 – энергетический класс землетрясений ($K = \lg E$ Дж), равный соответственно: ≤ 9 , 10, 11, 12, 13, 14, 15, ≥ 16 . Максимумы сейсмической активности (прописные буквы): А – Андрей-Тасский, В – Полоусненский, Б – Адычанский, Г – Верхненерский. Во вставке показана упрощенная модель пластической деформации земной коры сейсмотектонической зоны Черского по аналогии с альпийской складчатостью (по [14]), где обозначены литосферные плиты: СА – Североамериканская, ЕВ – Евразийская, а утолщенная стрелка указывает направление действия индентора

изосейсты, оконтуривающие территорию определенной балльности, представляли собой эллипсы, большая ось которых была вытянута в северо-западном направлении вдоль простирания трасс главных сейсмоактивных разломов (табл. 2). Исключение составили лишь землетрясения сейсмического максимума блока Андрей-Тас [3, 6].

Различие между «картиной» изосейст для землетрясений в пределах блока Андрей-Тас, которые перпендикулярно секут линии активных тектонических нарушений, и рисунком изосейст, вытянутых вдоль трасс разломов на северо-западном и юго-восточном флангах сейсмотектонической зоны хр. Черского, можно объяснить максимальным сжатием со стороны Колымо-Омолонского блока (рис. 2). В рассматриваемом районе в зоне контакта между Евразийской и Североамериканской плитами происходит накопление значительных тектонических

напряжений, что способствует активизации сейсмотектонических процессов. Генеральное направление воздействия индентора определяется пространственным положением изосейст, которые под его влиянием оказались расположены поперек структурных элементов в направлении северо-восток–юго-запад по азимуту $50\text{--}85^\circ$. Данная динамическая обстановка способствовала созданию к северу и северо-западу поперечных зон сжатия в виде системы взбросов и надвигов (Полоусно-Дебинский блок), а также широкого спектра складчатых деформаций в кайнозойских отложениях Инди́гиро-Зырянского прогиба.

Таким образом, в пределах Яно-Инди́гирского сегмента в условиях транспрессии (сжатие со сдвигом) имеет место определенная динамическая обстановка, инициированная взаимодействием фронтальных структур зон контактного сопряжения Евразийской и Северо-

Таблица 2

Макросейсмические особенности сильных землетрясений сейсмостектонической зоны Черского

Дата, год-мес.-число	φ° , N, град	λ° , E, град	M	I_0	Форма изосейст	Направление простирания большой оси изосейст	Площадь ощутимых сотрясений, тыс. км ²
1951-02-12	65.0	137.0	6.4	8-9	Круговая	—	~400
1962-04-19	69.5	138.5	6.2	7-8	Эллипс	с-запад-ю-восток	170
1970-06-05	63.3	146.2	5.4	7	—	—	~100
1971-05-18	64.0	146.1	7.0	9	Эллипс	с-запад-ю-восток	900
1971-09-30	61.6	140.4	5.5	7	Эллипс	субдолготное	200
1972-01-13	61.9	147.0	5.3	7	Эллипс	с-запад-ю-восток	200
1974-06-19	63.2	151.0	4.9	6-7	Эллипс	с-запад-ю-восток	160
1984-11-22	68.5	140.8	5.1	7	Эллипс	с-восток-ю-запад	~100
2005-01-25	69.8	138.3	4.5	6	Эллипс	с-запад-ю-восток	~50
2006-10-19	64.1	148.9	5.2	7	Эллипс	с-запад-ю-восток	220
2008-06-22	67.7	141.3	6.6	8	Эллипс	с-восток-ю-запад	300
2013-01-20	64.9	146.7	5.7	7-8	Эллипс	с-запад-ю-восток	160
2013-02-14	67.6	142.5	6.9	9	Эллипс	с-восток-ю-запад	500

Примечание. φ , N, λ , E – координаты эпицентра землетрясения: северная широта и восточная долгота соответственно; M – магнитуда землетрясения; I_0 – интенсивность сотрясений в эпицентре землетрясения в баллах.

американской литосферных плит. Подобные условия возможны, если при сближении литосферных плит роль активного индентора выполнял Колымо-Омолонский блок, находящийся во фронтальной части Североамериканской плиты. Результат такого воздействия проявился в формировании перед фронтальной частью индентора расходящихся северо-западных (левых) и юго-восточных (правых) сдвигов, формирующих на своих окончаниях сейсмогенерирующие системы взбросов и надвигов, обладающих максимальным сейсмическим потенциалом.

Индигово-Колымский (Охотский) сегмент является северным фрагментом Охотоморской коровой плиты и соответствует одноименному террейну. Он располагается к востоку от южного сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса и отделён от последнего Билякчанским разломом северо-восточного простирания. Фундамент Охотского террейна сложен архейскими и раннепротерозойскими кристаллическими сланцами и гнейсами гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма [2, 9]. Большая часть террейна перекрыта полого залегающими континентальными вулканитами Охотско-Чукотского пояса.

Пространственное распределение сейсмичности позволяет выделить в пределах этого сегмента зоны повышенной сейсмостектонической активности, где основную роль играют активные разломы и проявления землетрясений. Инструментальные сейсмологические данные и структурно-тектонические исследования позволяют локализовать здесь три активные зоны, где сейсмичность сгруппирована в протяженные диффузные полосы, приуроченные к зонам динамического влияния разломов, ограничиваю-

щих Охотский блок с запада, северо-востока и юга. В первой из них эпицентры землетрясений концентрируются вдоль Кетандино-Ульбейской системы сдвигов субдолготной ориентации. Фокальные механизмы землетрясений, возникших здесь в 1977, 1984 и 1986 гг., указывают на восток-северо-восточную ориентацию напряжений сжатия и правосдвиговые смещения в их очагах. Вторая полоса сейсмичности приурочена к Индигово-Колымской системе разломов северо-западного простирания. Большинство крупных сейсмических событий в 1974–1992 гг. произошло в зонах влияния Улахан и Чай-Юреинского разломов, где кинематика движений в очагах землетрясений по данным фокальных механизмов соответствовала левым сдвигам, а сжимающие усилия действовали в северо-восточном направлении [4, 8].

Третья полоса приурочена к зоне влияния близширотного Челомджа-Ямского левого сдвига с взбросовой компонентой. Механизм землетрясения 2001 г., эпицентр которого отмечен в плоскости сместителя названного разрыва, также соответствовал левобокowym перемещениям в его очаге. Восточный фланг этого разлома сечет Ланково-Омолонский правый сдвиг северо-восточного простирания, следящийся, как и Челомджа-Ямский дизъюнктив, параллельно береговой линии Охотского моря. С юга к ним примыкает субширотная Северо-Охотоморская система разломов, развитая в прибрежной части Охотского моря между полуостровами Лисянского и Пьягина. Названные системы разрывных нарушений отчетливо выделяются в геофизических полях. Наиболее мобильна северо-восточная граница этого блока, находящаяся в зоне контакта между Североамериканской и

Охотоморской плитой и принадлежащая юго-восточному флангу сеймотектонической зоны Черского.

Меньший уровень сейсмичности отмечен на западной границе блока в Кетандино-Ульбейской зоне. Повышенная плотность землетрясений фиксируется также на южной границе, где скопление эпицентров землетрясений наблюдается вдоль побережья Охотского моря от г. Охотска до п. Палана на западном берегу Камчатки и в прибрежной к нему северной части ложа Охотского моря, совпадая по простираению с древней сейсмофокальной зоной Беньофа. Все сейсмические события Охотского блока возникают на глубине до 30 км в пределах земной коры [4, 8].

Сопоставление параметров фокальных механизмов сильных землетрясений и морфокинематических характеристик активных разломов, развитых в пределах Индигиро-Колымского сегмента, указывает на широкое развитие здесь горизонтальных движений в виде крупных сдвиговых систем (табл. 1). При этом вертикальные подвижки (взбросы, надвиги и сбросы) имеют соподчиненное значение. Наиболее ярко горизонтальные смещения представлены эшелонированной системой левых сдвигов на северо-восточной границе блока, среди которых наиболее активен разлом Улахан.

Южная часть блока, охватывающая акваторию Охотского моря, представляет жесткое ядро Охотоморской плиты, которое фактически асейсмично. Краевые части этого блока являются зонами высокой тектонической и сейсмической активности (Камчатка, Курилы, Сахалин и др.). Исключение составляет «асейсмическое окно» между северным сектором Сахалина и Кетандино-Ульбейской зоной в Приохотье, где практически отсутствуют местные землетрясения.

Заключение

Таким образом, выявленная структурная организация главных сейсмогенерирующих зон и динамика очаговых областей сильных землетрясений Яно-Индигирского и Индигиро-Колымского (Охотского) сегментов позволяют предложить следующую региональную структурно-динамическую модель сеймотектонической зоны Черского. Активные тектонические структуры системы Черского развиваются в обстановке транспрессии (сжатия со сдвигом), обусловленной взаимодействием сближающихся Евразийской и Североамериканской литосферных плит, движущихся друг к другу с разными скоростями [1, 4, 8]. Результатом северо-восточного давления на Евразийскую плиту со сторо-

ны Североамериканской плиты стало формирование перед фронтальной частью Колымо-Омолонского блока (индентора) расходящихся северо-западных левых и юго-восточных правых сдвигов, способствующих появлению на их окончаниях поперечных взбросов и надвигов (рис. 2).

Указанные особенности современной геодинамики сеймотектонической зоны Черского отражаются в структуре эпицентральных полей местных землетрясений. На участке наибольшего горизонтального сжатия со стороны Колымо-Омолонского индентора-супертеррейна наблюдается максимум сейсмических проявлений в виде Андрей-Тасского сгущения эпицентров землетрясений (рис. 2, А) и продолжающейся от него к юго-западу полосы эпицентров вплоть до р. Адыча (рис. 2, В). Такие же скопления подземных толчков фиксируются по обе стороны от Андрей-Тасского максимума на периферии зоны Черского на участках выжимания горных масс к северу (максимум хр. Полоусного на рис. 2, Б) и юго-востоку (Верхненерский максимум) (рис. 2, Г). При этом наибольшим сейсмическим потенциалом обладает зона блока Андрей-Тас, куда направлены основные тектонические «усилия» со стороны Колымо-Омолонского супертеррейна, расположенного во фронтальной части Североамериканской плиты. Его генеральное северо-восточное направление (азимут 50–85°) совпадает с ориентацией большой оси эллипсов-изосейст, которые были установлены по данным наблюдений макросейсмических эффектов на земной поверхности при Уяндинском, Андрей-Тасском и Илин-Тасском землетрясениях [3].

Следует отметить, что закономерное развитие разломов противоположной кинематики, расходящихся в разные стороны от индентора (одновременное развитие правых и левых сдвигов), типично для многих коллизионных зон и было детально изучено на структурах, возникающих при деформации горизонтального (латерального) выжимания в Альпийско-Гималайском поясе [5–7]. При этом отмечалось, что на участках коллизии литосферных плит, подвергающихся горизонтальному сжатию, материал может выжиматься по латерали вдоль орогенного пояса в места с ослабленным сжатием. В результате сгруживания выжатых масс коры формируются раздувы орогенных поясов и поперечные складчатые зоны. Не исключено, что утонение земной коры, установленное под всей системой хребтов Черского, западнее местоположения системы Момо-Селенныхских впадин [10, 12], своим происхождением обязано процессам растяжения, происходящим в результате вертикального

выжимания вещества и дальнейшего перемещения отдельных пластин (блоков) в противоположном направлении друг от друга (рис. 3).

Подобная динамическая ситуация наблюдается в Яно-Индигирском сегменте сейсмотектонической зоны Черского на участке между реками Яна и Индигирка (рис. 2). Недостаток пространства в районе среднего течения р. Индигирка подчеркивается сужением зон влияния разрывных структур в этом месте, а к северу и югу от шейки разломы расходятся с заметным расширением деформируемого пространства. Отдельные пластины выдвинуты в направлении хр. Полоусный и кряжа Кулар на север и северо-запад, а их взаимоотношение со структурами субширотной ориентации хр. Полоусного выражается разнонаправленным типом смещения по ограничениям блоков (правые и левые сдвиги) и указывает на тенденцию выдавливания материала. На рис. 4 отчетливо дешифрируется первоначальное «выжимание» гранитоидов Буордахского массива и их направление дальнейшего перемещения в северном и северо-западном направлениях.

В результате конвергенции Североамериканской и Евразийской плит Охотоморская плита выталкивается к юго-востоку и востоку [12, 13] с развитием левосторонних движений по разломам в северо-западном сегменте зоны Черского и заливе Шелехова Охотского моря, а также правосторонних перемещений в бассейнах рек Кетанда, Ульбея и Охота в Северном Приохотье и на о. Сахалин. Полученные результаты детальных сейсмотектонических исследований и структурно-динамические модели главных сейсмогенерирующих зон ААСП могут являться базовой основой для проведения общего сейсмического районирования, палеогеодинамических реконструкций и поиска полезных ископаемых.

Данное исследование выполнено в рамках проекта НИР ИГАБМ СО РАН № VIII.66.1.4., а также проекта № 53 Программы РАН 44П «Арктика», интеграционного проекта СО РАН и гранта Министерства науки и образования РФ (Гос. задание № 5.1771.2014/К).

Литература

1. Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // Физика Земли. – 1996. – № 12. – С. 5–36.

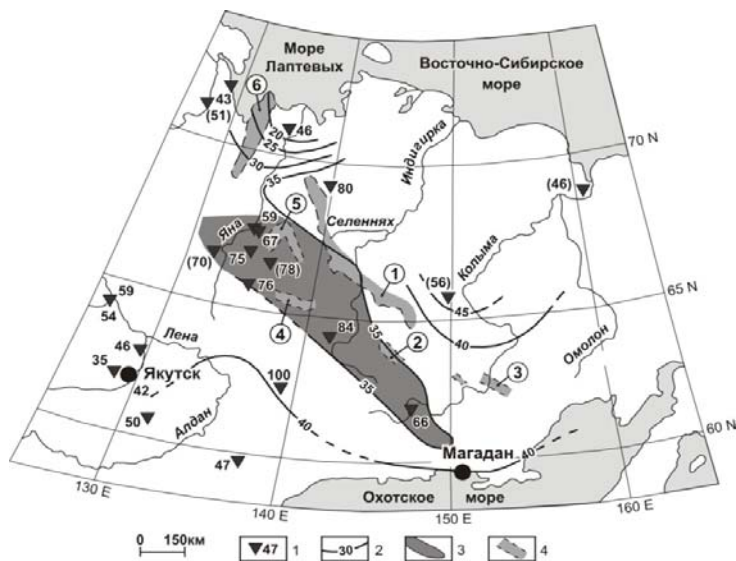


Рис. 3. Схема мощности земной коры Верхояно-Колымской системы мезозой (по [12, 13]): 1 – точечные определения теплового потока в мВт/м²; 2 – изолинии мощности земной коры в км; 3 – область утонения земной коры; 4 – кайнозойские впадины (названия в кружках): 1 – Момо-Селенняхские, 2 – Верхненерская, 3 – Сеймчано-Буюндинская, 4 – Верхнеадечанская, 5 – Туостяхская, 6 – Омолойская

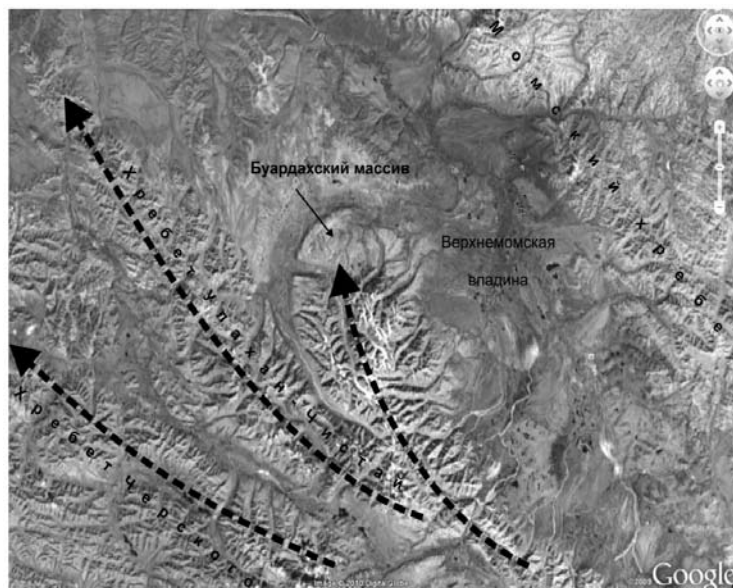


Рис. 4. Структурно-кинематический план и направления перемещения вещества массива Буордах (хребет Улахан-Чистай в системе хр. Черского). Космоснимок с сайта «Google»

2. Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозой. – М.: Наука, 1979. – 207 с.

3. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Динамика очаговых зон сильных землетрясений северо-восточного фланга Момо-Селенняхских впадин // Отечественная геология. – 2011. – № 5. – С. 113–119.

4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 226 с.

5. Имаев В.С., Имаева Л.П., Маккей К.Г. и др. Гео-

динамика отдельных сегментов литосферных плит на северо-востоке Азии // Геофизические исследования. – 2009. – Т. 10, № 1. – С. 5–17.

6. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Сейсмотектоника северо-восточного сегмента зоны Черского // Отечественная геология. – 2009. – № 5. – С. 56–62.

7. Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 125 с.

8. Козьмин Б.М., Имаев В.С., Имаева Л.П. Сейсмичность и современная геодинамика // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: Наука, 2001. – С. 33–67.

9. Парфенов Л.М. и др. Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука», 2001. – С. 199–254.

10. Суворов В.Д., Корнилова З.А. Мощность земной коры на юго-востоке Верхояно-Колымской складчатой области // Тихоокеанская геология. – 1986. № 4. – С. 32–35.

11. Chapman M.B., Solomon S.C. North American-Eurasian plate boundary in Northeast Asia // J. Geophys. Res. – 1976. – V. 81, № 5. – P. 921–930.

12. Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G. et al. Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia // Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. 2009. Stephan Mueller Spec. Publ. 2009. Ser., 4. – P. 117–145.

13. Mackey K., Fujita K., Hartse H.E. et al. Seismicity of Eastern Russia 1960–2007: map, 2007. LAUR–04–1381.

14. Moores E.M. and Twiss R.J. Tectonics. – New York: W.H. Freeman and Company, 1995. – 415 p.

Поступила в редакцию 25.11.2014

УДК 551.762(571.56)

Первые данные о проявлении верхнемелового вулканизма зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно-Колымская складчатая область»

А.В. Костин, В.С. Гриненко, О.Б. Олейников, М.С. Желонкина,
И.И. Кривошапкин, А.Е. Васильева

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

На основе анализа теневого рельефа, сопоставления результатов с космическими снимками высокого разрешения и заверки полевыми работами на Лено-Вилуйском водоразделе «зоны перехода» выявлены ранее неизвестная конусообразная вулканическая структура и ассоциирующие поля лав, лавобрекчий и вулканических шлаков. Вулканический конус расположен на нижне-верхнемеловых редуцированных отложениях (104–93,5 млн. лет) хатырыкской и аграфеновской свит, соответственно, возраст вулканизма не древнее верхнего мела. Предварительный химический и минералогический анализ вулканических пород позволил отнести их к дацитовому комплексу с крупными ксенолитами и блоками анортозитов.

Ключевые слова: ГИС, теневой рельеф, дациты, анортозиты, вулканизм, верхний мел, Лено-Вилуйский водораздел, Якутия.

On a base of the analysis of a shaded relief, comparison with the satellite images of high resolution and a certification field work on the Leno-Viluy watershed in the transition zone of the «Siberian platform – Verkhoyansk-Kolyma folded area» we revealed a previously unknown volcanic cone structure and associated fields of lava, lava breccia and volcanic slag. The volcanic cone is located on the Lower-Upper Cretaceous reduced sediments (104–93.5 million years) of Hatyrikskaya and Agrafenovskaya suites, respectively, the age of the volcanism is not older than the Upper Cretaceous. Preliminary chemical and mineralogical analysis of the volcanic rocks allowed to attribute them to a dacite complex with large xenoliths and blocks of anorthosites.

Key words: GIS, shaded relief, dacites, anorthosites, volcanism, Upper Cretaceous, Leno-Viluy watershed, Yakutia.

КОСТИН Алексей Валентинович – д.г.-м.н., зав. лаб., kostin@diamond.ysn.ru; ГРИНЕНКО Виталий Семенович – к.г.-м.н., с.н.с.; ОЛЕЙНИКОВ Олег Борисович – к.г.-м.н., зав. лаб., o.b.oleinikov@diamond.ysn.ru; ЖЕЛОНКИНА Мария Сергеевна – ст. лаб.-исследователь, 8(411)233-58-56 п.; КРИВОШАПКИН Иван Иванович – инженер 1-й категории, 8(411)233-58-56; ВАСИЛЬЕВА Александра Ефимовна – м.н.с., lexy_v@rambler.ru.