

УДК 550.348.098.64(571.5)

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛДАНО-СТАНОВОГО ЩИТА (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

Стогний В.В.¹, Стогний Г.А.²

SEISMOTECTONIC MODEL OF THE ALDAN-STANOVY SHIELD (EASTEN SIBERIA)

Stogny V.V.*, Stogny G.A.*

* *Kuban State University, Krasnodar, Russia, e-mail: stogny@newmail.ru*

Abstract: The Aldan-Stanovoy Shield is located in the south-eastern Siberian platform. The territory is marked by a high seismic activity. The earthquake epicenters are mainly clustered at the Aldan and Stanovoy megablock boundary forming the Olekma-Stanovoy zone of the Baikal-Okhotsk seismic belt. Seismicity of the Olekma-Stanovoy zone is considered in the context of a block structure and a three-layer model for the crustal structure of the Aldan-Stanovoy Shield. The main geodynamic factor of seismicity is the interaction between the Euro-Asia and Amur lithospheric plates and density domains of the Earth's crust upper part such as large massifs of granite, anorthosite and granite-gneiss domes. The hypocenters are mostly concentrated in the intermediate crustal layer at the depth of 12 to 30 km. Strong earthquakes ($M > 5$) usual are clustered to the south part of the Chara-Olekma, Central-Aldan, Timplon-Uchur and Batomga blocks in the upper part of the granite-gneiss domes.

Keywords: Aldan-Stanovoy shield, tectonic block, geological-geophysical cross-section, earthquake, Olekma-Stanovoy seismic zone.

Введение

В пределах Алдано-Станового щита — юго-восточного сегмента Сибирской платформы зафиксировано более 12 тысяч землетрясений. Данный регион относится к Олекмо-Становой зоне Байкало-Станового сейсмического пояса, представляющего собой субширотную полосу рассеянной сейсмичности от оз. Байкал до Охотского моря шириной до 400 км [1,2]. Связь очагов землетрясений Байкало-Станового сейсмического пояса с разломами, выявленными по геологическим признакам, сложна и неоднозначна [3]. Сейсмичность Олекмо-Становой зоны часто связывают с продолжением Байкальской рифтовой системы в пределы Алдано-Станового щита [2,3]. По данным В.С. Имаева с соавторами [4] в Олекмо-Становой зоне сейсмотектонические процессы происходят в геодинамической обстановке сжатия, при этом сейсмогенными являются сдвиги, надрывы и взбросы. Согласно [5] Байкальская и Олекмо-Становые зоны Байкало-Станового сейсмического пояса разделены Западноалданским разломом, являющимся также гра-

ницей между Алдано-Становым щитом и Байкальским геоблоком. В рамках такой тектонической схемы Западноалданский межгеоблоковый разлом контролировал Муйское землетрясение 1957 г. ($M = 7,6$).

Для Олекмо-Становой зоны характерны сильные коровые землетрясения (Нюкжинское, Тас-Юряхское, Олёкминское, Южно-Якутское и др.), в связи с этим актуальна проблема прогноза землетрясений Алдано-Станового щита [6]. Составной частью долгосрочного прогноза землетрясений является исследование особенностей строения земной коры сейсмоактивных районов, включающее три направления: 1) выявление блокового строения земной коры; 2) изучение внутриблоковых неоднородностей земной коры; 3) изучение геологического строения непосредственно очаговых зон землетрясений [7].

1. Блоковое строение и сейсмичность Алдано-Станового щита

Делимость земной коры Алдано-Станового щита на уровне мегаблоков определяется Алданским и Становым мегаблока-

¹Стогний Валерий Васильевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизических методов поисков и разведки Кубанского государственного университета; e-mail stogny_vv@mail.ru.

²Стогний Галина Александровна, д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры региональной морской геологии Кубанского государственного университета; e-mail: stogny@newmail.ru.

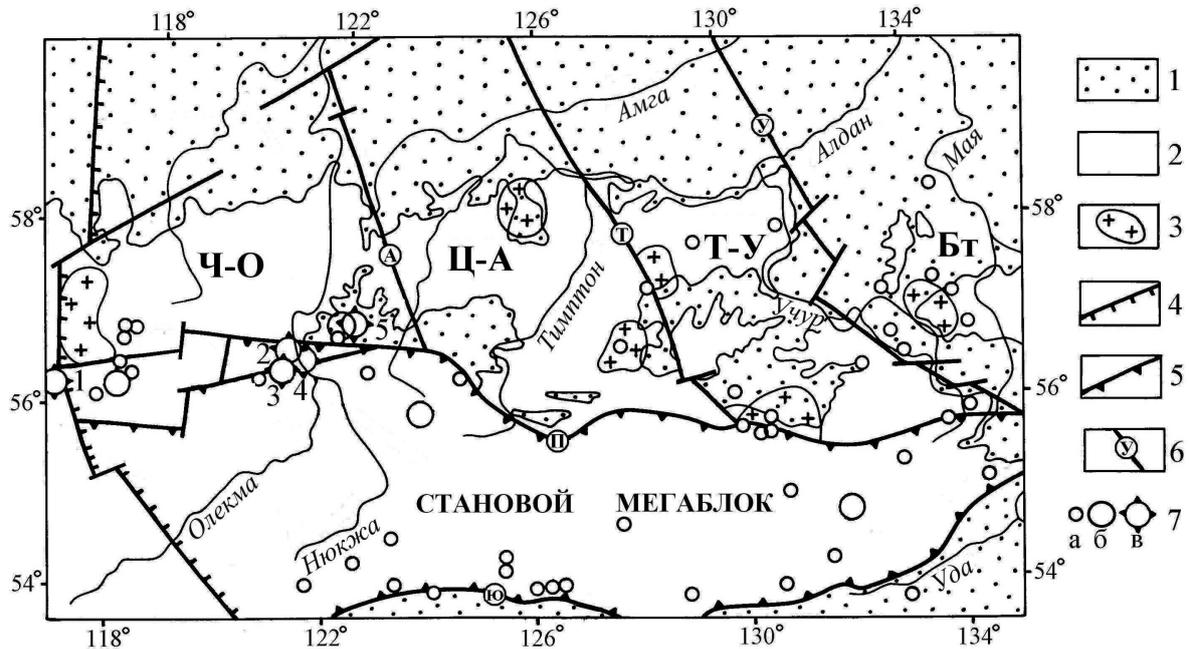


Рис. 1. Схема землетрясений с магнитудой $M > 4,5$ Алдано-Станового щита: 1 — протерозой-фанерозойские терригенно-карбонатные отложения; 2 — раннекембрийские метаморфические образования; 3 — гранито-гнейсовые купола по данным интерпретации геофизических материалов; 4 — Западноалданский межблоковый разлом; 5 — системы надвигов (П — Предстановая, Ю — Южностановая); 7 — межблоковые разломы (А — Амгинский, Т — Тыркандинский, У — Учурский); 8 — эпицентры землетрясений с магнитудой M : а — 4,5–5,0, б — 5,0–6,0, в — $> 6,0$ (1 — Муйское, 2 — Нюкжинское, 3 — Тас-Юряхское, 4 — Олёкминское, 5 — Южно-Якутское). Блоки I порядка Алданского мегаблока: Ч-О — Чаро-Олёкминский, Ц-А — Центрально-Алданский, Т-У — Тимптоно-Учурский, Бт — Батомгский

ми, границей которых является Предстановая система надвигов. Алданский мегаблок включает Чаро-Олёкминский, Центрально-Алданский, Тимптоно-Учурский и Батомгский блоки I порядка, которые в свою очередь состоят из блоков более высокого порядка (рис. 1).

Становой мегаблок сложен породами раннекембрийского возраста, метаморфизованными в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций. Мегаблок сформирован в условиях мезозойской коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов и в тектоническом плане представляет собой совокупность блоков, выведенных с разных уровней земной коры [8].

Блоковое строение Алдано-Станового щита во многом определило закономерности размещения землетрясений. Крупные землетрясения Алдано-Станового щита приурочены к Предстановой и Южностановой системам надвигов, ограничивающих Становой мегаблок, а также к южным частям Чаро-Олёкминского, Тимптоно-Учурского и

Батомгского блоков, в пределах которых они чаще всего группируются во внешних контурах гранито-гнейсовых куполов (рис. 1).

Землетрясения Олёкмо-Становой зоны являются коровыми с глубиной очага 4–52 км. Анализ распределения глубин гипоцентров землетрясений Олёкмо-Становой сейсмической зоны в разрезе земной коры за период 1970–1995 гг. выполнен с учётом разработанной авторами трёхслойной модели глубинного строения Алдано-Станового щита: верхний слой имеет мощность до 15 км, нижняя кромка среднего слоя находится на глубине 27–35 км, а граница Мохоровичича расположена на 42–56 км [9].

В 1970–1975 гг. интервал глубин гипоцентров землетрясений составлял 8–26 км, с их наиболее вероятными значениями 12–18 км (рис. 2А). Такой характер распределения гипоцентров в целом сохраняется и в 1975–1980 гг. (рис. 2Б). Увеличение интервала глубин гипоцентров до 4–36 км (рис. 2В) произошло в 1981–1985 гг. Перед Южно-Якутским землетрясением (20.04.1989 г.) в

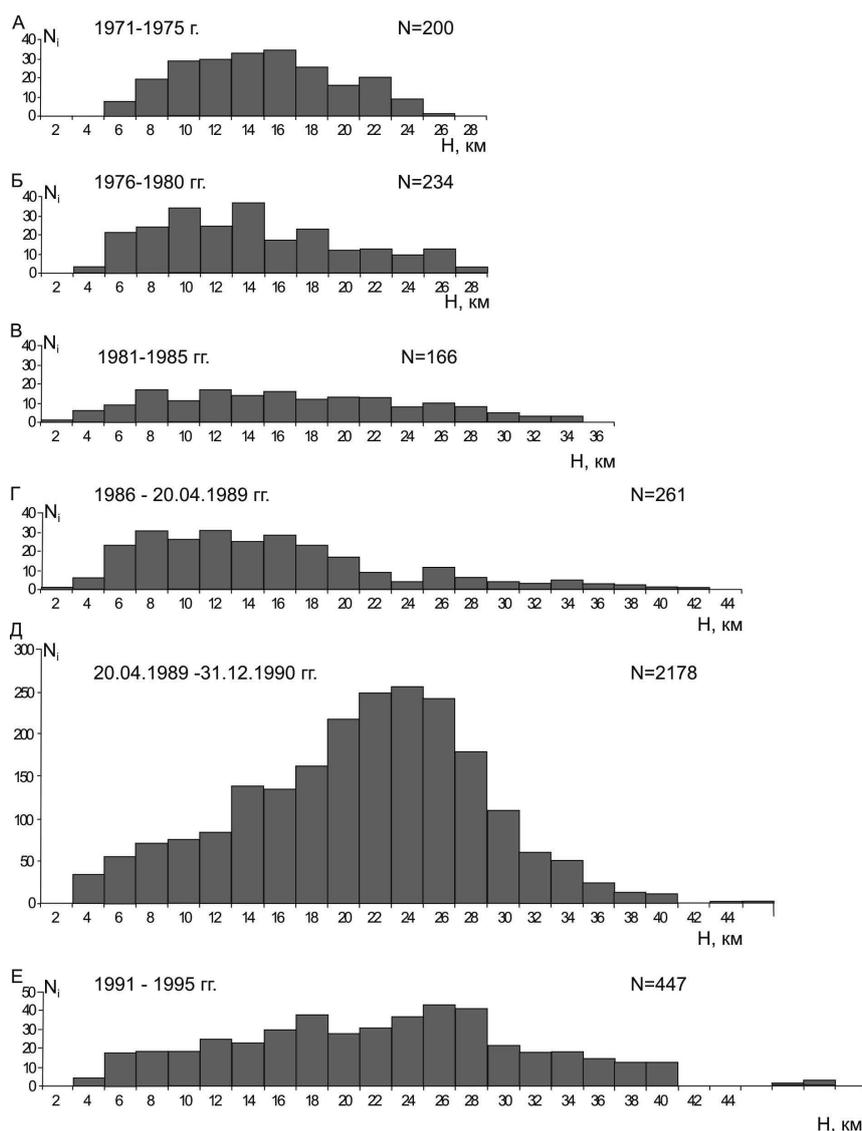


Рис. 2. Гистограммы глубин гипоцентров землетрясений Олёкмо-Становой сейсмической зоны по периодам наблюдений: А — 1970–1975 гг.; Б — 1976–1980 гг.; В — 1981–1985 гг.; Г — 1986–20.04.1989 г.; Д — 20.04.1989–1990 гг.; Е — 1991–1995 гг. N — общее количество землетрясений

период 1986 – 20.04.1989 г. вариационная кривая гипоцентров выполаживается, а их глубины увеличиваются до 40–44 км (рис. 2Г). В период 1991–1995 гг. (рис. 2Е) после сейсмического события происходит дальнейшее увеличение глубины гипоцентров землетрясений до 48–52 км.

Отмеченное увеличение глубины гипоцентров перед Южно-Якутским землетрясением позволяет предположить, что при подготовке сильного землетрясения активизируется земная кора на всю ее мощность, что может быть использовано в качестве фактора среднесрочного прогноза.

2. Геодинамика Южно-Якутского землетрясения

Эпицентр Южно-Якутского землетрясения (20.04.1989 г., $M = 6,6$) расположен в 160 км к западу от г. Нерюнгри. Тектоническим нарушением первого порядка района Южно-Якутского землетрясения является субширотный Южно-Якутский надвиг, ограничивающий Чульманскую впадину с юга (рис. 1). Серия субмеридиональных тектонических нарушений — Усмунский, Агьтинский, Сыллахский, Тунгурчинский разломы, имеющие сдвиговую кинематику, по отношению к Южно-Якутскому надвику яв-

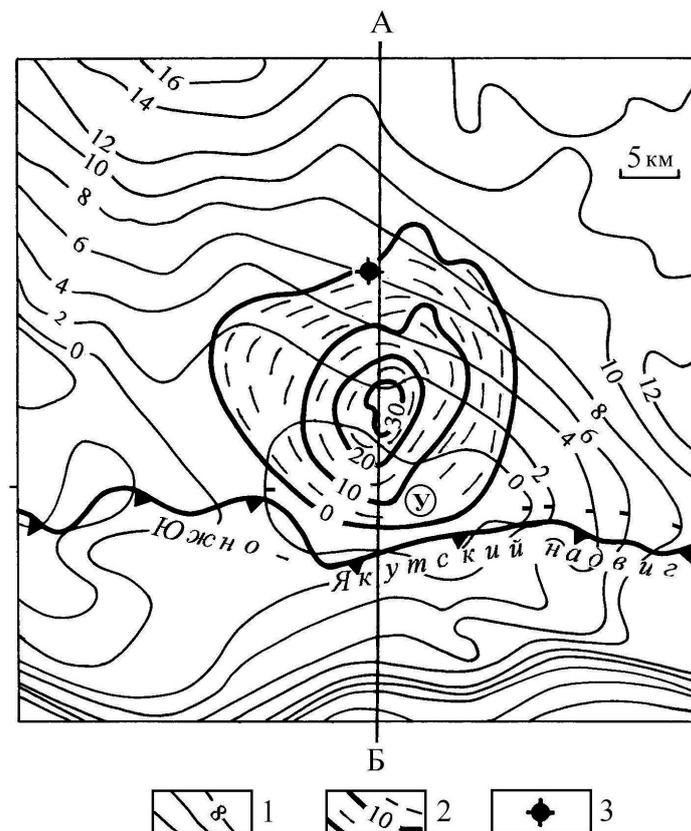


Рис. 3. Распределение эпицентров афтершоков Южно-Якутского землетрясения за апрель-декабрь 1989 г. по [11] на схеме гравитационного поля: 1 — изоаномалы гравитационного поля в условных единицах (У — Усмунский минимум); 2 — изолинии плотности афтершоков (число повторных толчков на единицу площади); 3 — эпицентр Южно-Якутского землетрясения. АБ — линия геолого-геофизического разреза рис. 4

ляются разломами второго порядка и локализованы, очевидно, в осадочной толще.

Эпицентр Южно-Якутского землетрясения расположен в западной (Усмунской) части Чульманской впадины (рис. 1), в плане соответствующей северной градиентной зоне Усмунского гравитационного минимума, к центру которого смещен эллипс афтершоков площадью около 500 км^2 (рис. 3). Усмунский гравитационный минимум вызван суммарным влиянием осадочных отложений Чульманской впадины и области разуплотнения кристаллического фундамента Алданского мегаблока. Эпицентры афтершоков за апрель-декабрь 1989 г. локализованы в области, расположенной к югу от эпицентра основного толчка (рис. 3), в этом же направлении смещен максимум плотности их распределения.

Южно-Якутское землетрясение произошло на глубине 27 км и сопровождалось се-

рий (более 3-х тысяч) афтершоков [10], основная часть которых реализовывалась на глубинах 10–36 км (рис. 2Д). При этом непосредственно после землетрясения (20.04 – 31.05.1989 г.) афтершоки были сконцентрированы в узком диапазоне 18–30 км, далее с течением времени (июнь 1989 г. – декабрь 1990 г.) интервал реализации землетрясений расширяется как в сторону малых, так и в сторону больших глубин (рис. 4), а вариационная кривая глубин землетрясений выполаживается. То есть со временем увеличивается объем геологического пространства, в пределах которого происходит релаксация напряжений посредством афтершоков. В 1991–1995 гг. эта область расширяется и к северу от эпицентра основного толчка Южно-Якутского землетрясения (рис. 4).

На геолого-геофизическом разрезе земной коры через очаговую область Южно-Якутского землетрясения (рис. 4) вынесены



Рис. 4. Геолого-геофизический разрез через очаговую область Южно-Якутского землетрясения: 1–3 — раннедокембрийские метаморфические образования: 1 — станового комплекса, 2 — зверевско-чогарского комплекса, 3 — иенгрского комплекса; 4 — изолинии плотности афтершоков Южно-Якутского землетрясения за 1989 г. по [11]; 5 — плотность структурно-вещественных комплексов в $\text{г}/\text{см}^3$; 6 — надвиги. АБ — линия разреза, местоположение которой дано на рис. 3

известные глубины сейсмических событий за 1970 – апрель 1989 гг., эллипс плотности афтершоков за период май–декабрь 1989 г. и глубины землетрясений 1991–1995 гг. Сейсмические события за 1970 – апрель 1989 гг. сосредоточены главным образом в среднем слое земной коры непосредственно под фронтальной частью Станового мегаблока и под северной частью Чульманской впадины, где впоследствии произошло Южно-Якутское землетрясение. В период с 20 апреля по начало июля 1989 г. около 70% афтершоков возникло на глубинах 19–28 км, в июле наряду с землетрясениями на отмеченных глубинах возросла сейсмическая активность на меньших (5–12 км) глубинах. Спустя 4 месяца после основного события активизировалась верхняя часть земной коры очаговой области, при этом зона сейсмичности сместилась на 8–10 км к западу от ее первоначального положения [10], а максимум плотности распределения гипоцентров афтершоков приходится на глубины 22–28 км (рис. 4).

Характер распределения землетрясений в 1991–1995 гг. по линии разреза практически не изменился, но глубина гипоцентров в области Южно-Якутского землетрясения увеличилась до 40–50 км, то есть тектонически активизировалась нижняя часть земной коры.

В формировании структуры Чульманской впадины определяющую роль играли горизонтальные тектонические напряжения, обусловленные надвиганием Станового мегаблока на Алданский (рис. 4) в условиях коллизии Евразийской и Амурской литосферных плит, при этом происходило «задавливание» последнего. По-видимому, существенное значение это имело и при подготовке Южно-Якутского землетрясения, косвенным подтверждением чему является активизация сейсмической активности (в среднем на 1 балл) к югу. В пределах Станового мегаблока, как правило, изосейсты 4, 5 и 6 баллов имели форму эллипса [11], большая ось которого параллельна Предстановой системе надвигов.

3. Геодинамика Олёкминского, Нюкжинского и Тас-Юряхского землетрясений

Олёкминское, Нюкжинское и Тас-Юряхское землетрясения составляют Олёкминский максимум сейсмичности западной части Олёкмо-Становой зоны (рис. 1), в пределах которого регистрируется до 100 сейсмических событий в год [4]. Сейсмичность данного района часто связывают с продолжением Байкальской рифтовой системы [2, 3]. По данным [12] среди активных сейсмотек-

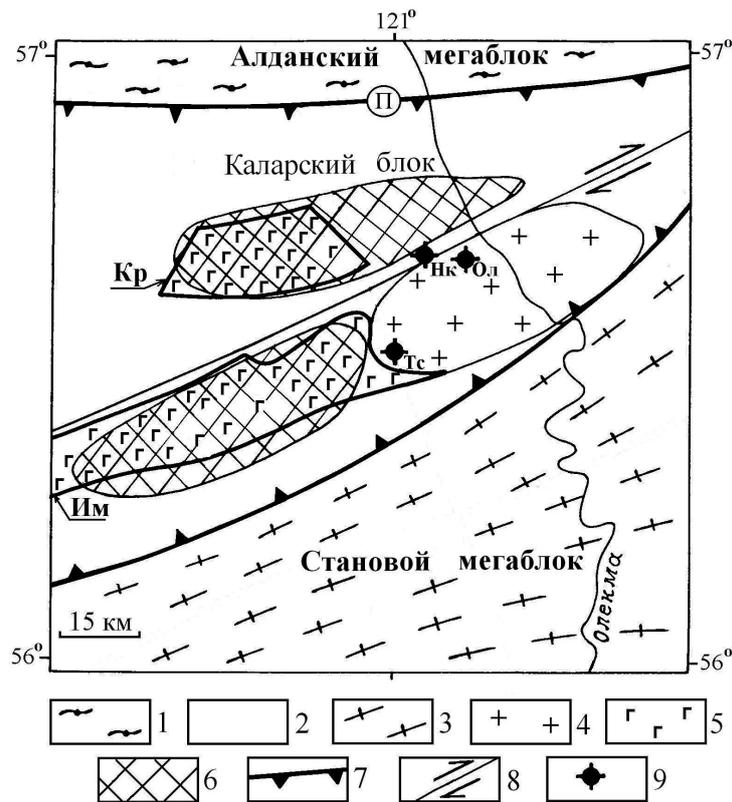


Рис. 5. Эпицентры Олёкминской группы землетрясений на схеме интерпретации геолого-геофизических материалов: 1 — раннедокембрийские метаморфические породы Алданского мегаблока; 2–3 — раннедокембрийские метаморфические породы Станового мегаблока: 2 — курультинский комплекс, 3 — становой комплекс; 4 — граниты Тас-Юряхского массива; 5 — анортозиты, габбро-анортозиты Имангакитского (Им) и Куранахского (Км) массивов; 6 — контуры анортозитовых массивов по гравиметрическим данным; 7 — надвиги (П — Предстановая система); 8 — сдвиги; 9 — эпицентры землетрясений (Ол — Олекминского, Нк — Нюкжинского, Тс — Тас-Юряхского)

тонических нарушений Олёкминского максимума сейсмичности преобладают субширотные сдвиги, взбросы и надвиги, а сбросы и раздвиги распространены локально, что не соответствует обстановке рифтогенеза.

Эпицентры Олёкминской группы землетрясений локализованы в контурах Каларского блока высокобарических гранулитов Станового мегаблока и приурочены в большинстве случаев к Тас-Юряхскому массиву гранитоидов, а также к его границам с массивами анортозитов (рис. 5). Каларский блок является одним из «тяжёлых» (в гравитационном поле отражается максимумом) объектов Станового мегаблока и состоит из крупных массивов анортозитов и гранитов, подчинённых субширотному сдвигу. Роль плотностных неоднородностей земной коры в формировании сейсмичности пока слабо изучена. Так, С.В. Крылов и Е.Н. Тен [13] на примере Муйского земле-

трясения (1957 г.) пришли к выводу, что в вертикальном разрезе земной коры в интервале глубин 12–25 км имеет место максимум мгновенной прочности на сдвиг, а гипоцентр землетрясения приурочен к краевой части базит-ультрабазитовой интрузии.

Исходя из особенностей глубинного строения земной коры, природа Олёкминского максимума сейсмичности обусловлена рядом факторов. Каларский блок высокобарических гранулитов имеет мощность до 10 км и надвинут на Алданский мегаблок по Предстановой зоне. Предстановая зона надвигов в настоящее время является тектонически активной за счёт продолжающегося с мезозоя взаимодействия Евразийской и Амурской литосферных плит. Очаги Олёкминского, Нюкжинского и Тас-Юряхского землетрясений расположены на глубинах 9–14 км, то есть непосредственно под Каларским блоком высокобарических гранулитов и в области его

тектонических напряжений, создаваемых современным надвиганием блока на Алданский мегаблок.

Выводы

Природа землетрясений Алдано-Станового щита обусловлена главным образом разрядкой напряжений, вызванных взаимодействием Евразийской и Амурской литосферных плит, фронтальные части которых (на расстоянии до 200 км) представляют собой области максимального сдвига- и надвигообразования, причем наиболее активно подвижным является промежуточный слой земной коры на глубинах 15–30 км. В данных условиях дифференцированные по вертика-

ли и горизонтали движения блоков III–IV порядков способствуют широкому развитию сейсмоактивных нарушений, контролируемых слабые землетрясения верхней части земной коры (до глубины 10 км).

Сейсмогенерирующими структурами Алдано-Станового щита также являются плотностные неоднородности верхней части земной коры (гранито-гнейсовые купола, массивы анортозитов и гранитов). Так, очаги Олёкминского, Нюкжинского и Тас-Юряхского землетрясений на глубинах 9–14 км приурочены к подошве Каларского блока высокобарических гранулитов и вызваны разрядкой тектонических напряжений, создаваемых надвиганием блока на Алданский мегаблок.

Литература

1. Рундквист Д.В., Гатинский Ю.Г., Буш В.А., Кособоков В.Г. Территория России в современной структуре Евразии: геодинамика и сейсмичность // Вестник ОГГГГН РАН. 2001. № 3(18). С. 1–11.
2. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / Под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1977. 304 с.
3. Голенецкий С.И. Землетрясения районов трассы БАМ на участке от северной оконечности оз. Байкал до р. Олёкмы // В сб. Геологические и сейсмические условия района БАМ. Новосибирск: Наука, 1978. С. 126–138.
4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 227 с.
5. Стогний В.В., Стогний Г.А. Тектонические условия сейсмичности Алдано-Станового геоблока // Геология и разведка. 1997. № 6. С. 27–33.
6. Стогний В.В., Статива А.С. Прогноз землетрясений в зоне БАМ-АЯМ и Южно-Якутского ТПК // ВУЗ и наука в Южной Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ. 1996. С. 23–28.
7. Кондратьев О.К. Прогноз землетрясений: причины неудач и пути решения проблемы // Геофизика. 2003. № 1. С. 3–14.
8. Стогний В.В., Стогний Г.А. Тектоническая расслоенность Алдано-Станового геоблока. Новосибирск: Наука, 1997. 151 с.
9. Стогний В.В., Смелов А.П., Стогний Г.А. Глубинное строение Алданского щита // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 10. С. 88–97.
10. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В. и др. Южно-Якутское землетрясение 20 апреля 1989 года. Южно-Сахалинск. 1992. 45 с. (Препр. Ин-та Морской геологии и геофизики ДВО РАН).
11. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В. и др. Афтершоки Южно-Якутского землетрясения 20 апреля 1989 года. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1993. 66 с.
12. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Слепцов С.В. Сейсмотектоника западной части Олёкмо-Становой области // Отечественная геология. 2004. № 4. С. 57–60.
13. Крылов С.В., Тен Е.Н. Прочностные и упругие свойства очаговых зон сильных землетрясений на участках Байкальского и Северо-Тянь-Шаньского районов // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. №2. С. 137–150.
14. districts of Eastern Siberia and its geological and geophysical basis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 304 p. (In Russian)
15. Goleneckij S.I. Zemletrjasenija rajonov trassy BAM na uchastke ot severnoj okonechnosti oz. Bajkal do r. Oljokmy [Hit areas BAM tracks in the area from the northern end of Baikal lake to Olekma river]. In *Geologicheskie i sejsmicheskie uslovija rajona BAM Novosibirsk* [Geological and seismic conditions of the area BAM]. Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 126–138. (In Russian)

4. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. *Sejsmotektonika Jakutii* [Seismotectonics Of Yakutia]. Moscow, GEOS Publ., 2000, 227 p. (In Russian)
5. Stognij V.V., Stognij G.A. Tektonicheskie uslovija sejsmichnosti Aldano-Stanovogo geobloka [Tectonic conditions of seismicity of the Aldan-Stanovoy geoblock]. *Geologija i razvedka* [Geology and Exploration], 1997, no. 6, pp. 27–33. (In Russian)
6. Stognij V.V., Stativa A.S. Prognoz zemletrjasenij v zone BAM-AJaM i Juzhno-Jakutskogo TPK [The forecast of earthquakes in the area of BAM-AYM and South-Yakut TPC]. *VUZ i nauka v Juzhnoj Jakutii* [University and science in South Yakutia], Yakutsk, YSU Publ., 1966, pp. 23–28. (In Russian)
7. Kondrat'ev O.K. Prognoz zemletrjasenij: prichiny neudach i puti reshenija problemy [Earthquake prediction: reasons and ways of solving problems]. *Geofizika* [Geophysics], 2003, no. 1, pp. 3–4. (In Russian)
8. Stognij V.V., Stognij G.A. *Tektonicheskaja rassloennost' Aldano-Stanovogo geobloka* [Tectonic layering of the Aldan-Stanovoy geoblock]. Novosibirsk, Nauka, 1977, 151 p. (In Russian)
9. Stognij V.V., Smelov A.P., Stognij G.A. Glubinnoe stroenie Aldanskogo shhita [Deep structure of Aldan shield]. *Geologija i geofizika* [Geology and Exploration], 1996, vol. 37, no. 10, pp. 88–97. (In Russian)
10. Koz'min B.M., Golenetskiy S.I., Nikolaev V.V. *Juzhno-Jakutskoe zemletrjasenie 20 aprelja 1989 goda* [South Yakutian earthquake April 20, 1989]. Yuzhno-Sakhalinsk, Institut Morskoj geologii i geofiziki DVO RAN Publ., 1992. 45 p. (In Russian)
11. Koz'min B.M., Golenetskiy S.I., Nikolaev V.V. *Aftershoki Juzhno-Jakutskogo zemletrjasenija 20 aprelja 1989 goda* [Aftershocks South Yakutian earthquake April 20, 1989]. Yuzhno-Sakhalinsk, Institut Morskoj geologii i geofiziki DVO RAN Publ., 1993. 66 p. (In Russian)
12. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M., Slepcev S.V. *Sejsmotektonika zapadnoj chasti Oljokmo-Stanovoj oblasti* [Seismotectonics of the Western part Olekma-Stanovoy region]. *Otechestvennaja geologija* [Russian Geology], 2004, no. 4, pp. 57–60. (In Russian)
13. Krylov S.V., Ten E.N. Prochnostnye i uprugie svojstva ochagovyh zon sil'nyh zemletrjasenij na uchastkah Bajkal'skogo i Severo-Tjan'-Shan'skogo rajonov [Strength and elastic properties of the source zones of strong earthquakes on land plots of Baikal and North Tien Shan regions]. *Geologija i geofizika* [Geology and Exploration], 1995, vol. 36, no. 2, pp. 137–150. (In Russian)

Статья поступила 15 января 2014 г.

© Стогний В.В., Стогний Г.А., 2014