

УДК 550.348.43

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-216-223>

Оригинальная статья

Пространственно-статистический анализ распределения сейсмической энергии Олекмо-Становой сеймотектонической зоны (Южная Якутия)

А. А. Макаров✉, Б. М. Козьмин

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

✉Makarov.2A@yandex.ru

Аннотация

Сейсмичность Республики (Саха) Якутия фиксируется на обширной территории 1,5 млн км² и проявлена в двух крупных сейсмических таксонах различного ранга: в Олекмо-Становой сеймотектонической зоне на юге и Арктико-Азиатском сейсмическом поясе – на севере. В данной статье рассматривается территория Олекмо-Становой сеймотектонической зоны, которая является восточным флангом Байкало-Станового сейсмического пояса. Для статистического анализа использована геолого-геофизическая модель территории Южной Якутии, согласно которой Олекмо-Становая сеймотектоническая зона подразделяется на пять структурно-тектонических блоков. Для территории исследования нами был создан региональный каталог землетрясений, дополненный данными Международного сейсмологического бюллетеня (ISC). На его базе и с учетом сеймотектонических особенностей и геодинамической позиции региона был проведен пространственно-статистический анализ сейсмической энергии, выделившейся при землетрясениях за 58-летний инструментальный период региональных сейсмологических наблюдений. Основным параметром для расчетов выбран наиболее часто используемый при общей количественной оценке уровня сейсмичности территории параметр ΣE (суммарная выделившаяся сейсмическая энергия). Анализ сейсмостатистических данных, полученных в пределах пяти структурно-тектонических блоков, выявил следующую корреляционную зависимость: в Олекмо-Становой сеймотектонической зоне в направлении с запада на восток при удалении от Байкальской рифтовой зоны сейсмическая активность снижается в 10^4 раз. Этот факт позволяет предполагать также замедление в этом же направлении интенсивности сеймотектонических и геодинамических процессов. Полученные результаты могут быть актуальны при проведении мелкомасштабных исследовательских работ по оценке потенциальной сейсмической активности малоизученных территорий и при среднесрочном прогнозе землетрясений как отдельный признак предстоящих сейсмических событий.

Ключевые слова: сейсмичность, структурно-тектонические блоки, активные разломы, Олекмо-Становая сеймотектоническая зона, Байкало-Становый сейсмический пояс, Алданский щит, сейсмическая энергия

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН (№ FUEM-2019-0001/FUFG-2024-0005).

Благодарности. Авторы благодарны рецензенту за сделанные конструктивные замечания.

Для цитирования: Макаров А.А., Козьмин Б.М. Пространственно-статистический анализ распределения сейсмической энергии Олекмо-Становой сеймотектонической зоны (Южная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(2):216–223. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-216-223>

Original article

Spatial and statistical analysis of seismic energy distribution in the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone (South Yakutia)

Alexander A. Makarov✉, Boris M. Kozmin

Diamond and Precious Metal Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

✉Makarov.2A@yandex.ru

Abstract

The seismic activity in the Republic of Sakha (Yakutia) is monitored across a vast territory of 1.5 million km² and is characterized by two major seismic zones of varying rank: the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone in the south and

the Arctic-Asian seismic belt in the north. This article explores the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone, which forms the eastern flank of the Baikal-Stanovoy seismic belt. For statistical analysis, we used a geological and geophysical model of the Southern Yakutia territory. According to this model, the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone is segmented into five structural-tectonic blocks. For the study area, we compiled a regional catalog of earthquakes, supplemented by data from the International Seismological Bulletin (ISC). Based on the seismotectonic features and geodynamic position of the region, a spatial-statistical analysis of seismic energy released during earthquakes over a 58-year instrumental period of regional seismological observations was conducted. The main parameter for calculations was the parameter ΣE (total released seismic energy), which is most often used in the comprehensive quantitative assessment of seismic activity in a region. This study examines the major earthquakes that made the largest contribution to the calculations of the total energy released in each of the five blocks. Analysis of seismic-statistical data collected in the aisles of large structural-tectonic blocks of the first rank revealed the following correlation: in the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone in the direction from west to east, with distance from the Baikal rift zone, seismic activity decreases by 10^4 times. This thesis also suggests a slowdown in the intensity of seismotectonic and geodynamic processes in the same direction. The results of spatial-statistical analysis of the distribution of seismic energy in large regional blocks of the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone can be relevant for conducting small-scale research to assess the potential seismic activity of poorly studied areas and for medium-term earthquake forecasting as an independent indicator of impending seismic events.

Keywords: seismicity, tectonic blocks, active faults, Olekmo-Stanovaya Seismic Zone, Baikal-Stanovoy seismic belt, Aldan shield, seismic energy

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for the DPMGI SB RAS (No. FUEM-2019-0001/ FUEG-2024-0001).

Acknowledgements. The authors are grateful to the reviewer for the valuable feedback provided.

For citation: Makarov A.A., Kozmin B.M. Spatial and statistical analysis of seismic energy distribution in the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone (South Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):216–223. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-216-223>

Введение

Цель проведенных исследований заключалась в статистическом анализе выделившейся при землетрясениях сейсмической энергии и выявлении взаимосвязей сейсмичности с зонами активных разломов, разграничивающих территорию Южной Якутии на ряд структурно-тектонических блоков, взаимодействующих между собой в условиях регионального сжатия под влиянием перемещения Евразийской и Амурской литосферных плит. Выбор параметра суммарной выделившейся энергии ΣE обосновывается тем, что он ведет себя гораздо более устойчиво относительно числа N , активности (A_{10} в частности) и наклона графика повторяемости, так как практически вся выделившаяся энергия определяется наиболее сильными землетрясениями [1]. Это дает преимущество при анализе данных за продолжительный интервал времени, несмотря на то что количество сейсмостанций не было постоянным.

Вдоль юго-восточной окраины Сибирской платформы от оз. Байкал к Охотскому морю протягивается крупный Байкало-Становой сейсмический пояс (БСП), отделяющий Евразийскую литосферную плиту (ЕА) на севере от Амурской (АМ) на юго-востоке (рис. 1). Пояс включает Байкальскую рифтовую зону (БРЗ) на западе и Олекмо-Становую сеismотектоническую зону (ОСЗ) на

востоке [2]. На юге Якутии землетрясения ОСЗ прослеживаются в субширотном направлении широкой (до 200 км) полосой на протяжении до 1 тыс. км от среднего течения р. Олекма до Удской губы Охотского моря.

Эти зоны различаются по своему сейсмическому режиму. Так, в БРЗ ежегодно регистрируется более 2 тыс. подземных толчков с энергетическим классом $M > 2,2$ ($K > 8$), в то время как в ОСЗ в среднем таких случаев не более 500 [4]. Максимальная магнитуда M_s землетрясений в Байкальском рифте может составлять 7,5–7,8 (Цаганское землетрясение 1862 г., $M_s \approx 7,5$; Муйское событие 1957 г., $M_s = 7,6$; Моготское землетрясение 1967 г., $M_s = 7,8$). В Олекмо-Становой зоне наибольшая магнитуда не превышает 6,5–7,0 (Тас-Юряхское землетрясение 1967 г., $M_s = 7,0$; Южно-Якутское 1989 г., $M_s = 6,6$).

Материалы исследования

Исследования проявлений южно-якутских землетрясений, их воздействий и сейсмической опасности более 60 лет проводит Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН и Якутский филиал Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (ФИЦ ЕГС РАН). В составе последнего в настоящее время действует сеть из семи цифро-

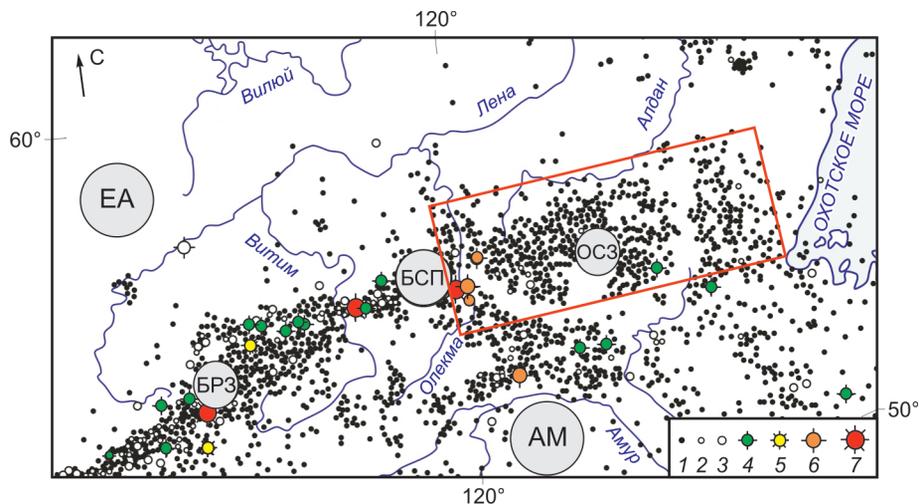


Рис. 1. Локация эпицентров землетрясений Байкало-Станового сейсмического пояса в Южной Якутии за XX–начало XXI вв. [4, с изменениями].

Магнитуда землетрясений M_s : 1 – 3–4, 2 – 5, 3 – 6, 4 – 7, 5 – 8, 6 – 9, 7 – 10. Плиты, пояса и зоны см. в тексте [2, 3]. Красным прямоугольником показана исследованная территория.

Fig. 1. Location of earthquake epicenters in the Baikal-Stanovoy seismic belt in the South Yakutia during the 20th and early 21st centuries [4 modified].

Magnitude of earthquakes: 1 – $M_s = 3-4$; 2 – $M_s = 5$; 3 – $M_s = 6$; 4 – $M_s = 7$; 5 – $M_s = 8$; 6 – $M_s = 9$; 7 – $M_s = 10$. Plates: EA – Eurasian, AM – Amurian. Belts and zones: БСП – Baikalo-Stanovoy belt; БРЗ – the Baikal rift zone; ОСЗ – the Olekma-Stanovoy seismotectonic zone [2, 3]. The study area is shown as a red rectangle.

вых стационарных региональных сейсмостанций Южной Якутии, а при привлечении сведений с цифровых станций соседних Байкальского и Сахалинского филиалов ФИЦ ЕГС РАН общее число пунктов наблюдений, используемых для определения параметров эпицентров, достигает 20 [5]. Это позволяет без пропусков фиксировать местные землетрясения, начиная с $M_s \geq 3-4$. В целом, общее число подземных толчков в Южной Якутии за 60 лет инструментальных наблюдений составляет более 40 тыс. Помимо этого, созданный нами каталог землетрясений Южной Якутии был дополнен данными международного сейсмологического центра (International Seismological Centre) [6]. Эти материалы легли в основу проведенного исследования.

Сеймотектонические особенности

Южная Якутия – наиболее сейсмоактивная часть территории Якутии. В структурно-тектоническом плане здесь выделяются Алданский щит Сибирской платформы и граничащая с ним с юга Становая складчатая область. Эти структуры контактируют между собой по субширотной зоне Станового разлома, в пределах которой фиксируются как сильные и катастрофические землетрясения, так и многочисленные подземные толчки

меньшей интенсивности. На протяжении всей геологической истории здесь проявлялись тектонические движения, вызывающие активизацию ранее существовавших тектонических нарушений и возникновение новых разломов, подвижки по которым способствовали образованию современного рельефа, появлению многочисленных блоков земной коры различного ранга и др. [4, 7].

На Алданском щите наряду с реактивацией древних деструктивных зон архейского и протерозойского возраста сформировались более молодые структуры, связанные с мезозойской активизацией, заложением и развитием БРЗ и современными геодинамическими процессами на окраине и в пределах Евразийской литосферной плиты.

Установлено, что большинство разломов мезозойского времени заложения являются «живыми» и в кайнозойе [2, 4]. Как видно на рис. 2, эпицентры сильных землетрясений тяготеют к зонам влияния крупных разломов и к вулканическим полям кайнозойского возраста. При этом на левобережье р. Олекма под влиянием Байкальского рифта наблюдается тектонический режим растяжения земной коры, проявленный преимущественно сбросовыми механизмами очагов местных сейсмических толчков, который на пра-

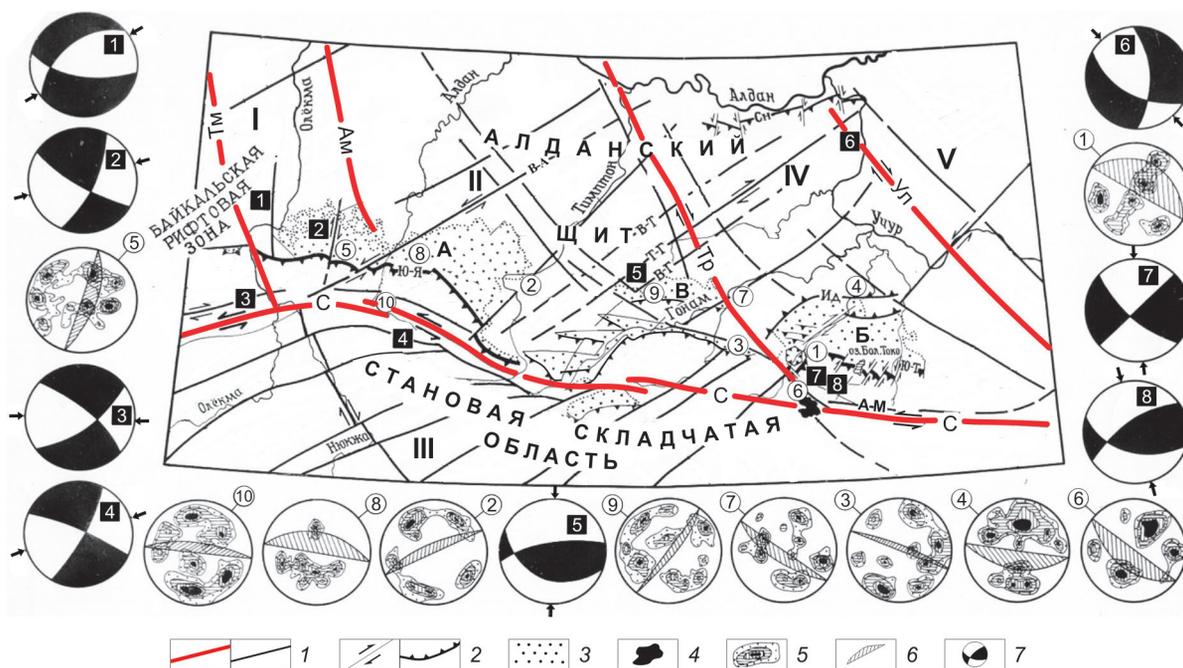


Рис. 2. Схема активных разломов [4, 7] и тектонических блоков [8].

1 – межблоковые зоны разломов 1-го порядка: Темулякитская (Тм), Амгинская (Ам), Тыркандинская (Тр), Улканская (Ул), Становая (С); 2 – разломы 2-го и меньших порядков (сдвиги, надвиги и неизвестной кинематики): В-А – Верхнеалданский, 3-А – Западно-Алданский, В-Т – Верхнетимптонский, Т-Г – Тимптомо-Гонамский, В-Г – Верхнегонамский, А-М – Августуро-Майский сдвиги; Ю-Я – Южно-Якутский, Ю-Т – Южно-Токинский, Сн – Суннагинский, Ид – Идюмский надвиги; 3 – мезозойско-кайнозойские впадины: А – Чульманская, Б – Токинская, В – Ытымджинская; 4 – поле кайнозойских базальтов; 5 – изолинии плотности трещиноватости в зонах разрывов, 6 – простирание главной плоскости сместителя (цифры рядом с диаграммами трещиноватости в кружках соответствуют их расположению на схеме); 7 – фокальные механизмы землетрясений (стрелками показано положение векторов сжатия в их очаге, цифры в квадрате – расположение очагов землетрясений на схеме).

Структурно-тектонические блоки: I – Чаро-Олекминский, II – Центрально-Алданский, III – Становой, IV – Тимптоно-Учурский, V – Батомгский

Fig. 2. Scheme of active faults [4,7] and tectonic blocks [8] in the South Yakutia.

1 – interblock fault systems of the 1st order: Temulyakitskaya (TM), Amginskaya (Am), Tyrkandinskaya (Tr), Ulkanskaya (Ul), Stanovaya (C); 2 – faults of the II-nd and smaller orders (strike-slip, thrusts and faults of unknown kinematics): B-A – Verkhnealdansky, 3-A – Zapadno-Aldansky, B-T – Verkhnetimptonsky, T-G – Tiptomo-Gonamsky, B-G – Verkhnegonamsky, A-M – Augenkuro-Maysky strike-slip faults; Ю-Я – Yuzhno-Yakutsky, Ю-Т – Yuzhno-Tokinsky, СН – Sunnaginsky, Ид – Idyumsky thrusts; 3 – Mesozoic-Cenozoic depressions: A – Chulmanskaya, Б – Tokinskaya, В – Itymdzhinskaya; 4 – field of Cenozoic basalts; 5 – isolines of fracture density in fracture zones; 6 – trend of main fault surface (numbers of fracture diagrams in circles correspond to their location on the scheme); 7 – focal mechanisms of earthquakes (arrows show position of compression vectors in their origin, numbers in square – location of earthquake epicenters on the scheme).

Structural-tectonic blocks: I – Chara-Olekminsk, II – Central Aldan, III – Stanovoy, IV – Timpton-Uchur, V – Batomga

вобережье р. Олекма сменяется на поле тектонических напряжений сжатие с реконструкцией подвижек в очагах землетрясений типа взброса, надвига и сдвига [4].

По современным тектоническим представлениям Алданский щит состоит из разноранговых террейнов, соединившихся в результате аккреции и коллизии отдельных структурных блоков [2]. Для статистического анализа нами была использована геолого-геофизическая блоковая модель [8], которая не противоречит известным тектоническим схемам исследуемой территории. Границами

блоков служат зоны сближенных тектонических нарушений, представленных раздробленными породами, диафоритами, катаклазитами, милонитами (зоны тектонического меланжа) [2]. Темулякитская, Тыркандинская, Верхнеамгинская и Улканская разломные зоны северо-западного простирания причленяются с севера к Становой складчатой области и оконтуривают на территории Алданского щита пять крупных блоков первого порядка – Чаро-Олекминский, Центрально-Алданский, Тимптоно-Учурский, Батомгский и Становой [8]. В составе каждого из этих блоков выде-

ляются структуры второго, третьего и меньших порядков, но в плане проявления сейсмичности основная роль принадлежит блокам первого и второго порядков и разделяющих их дизъюнктивам. Зоны крупных межблоковых разломов наиболее потенциально опасны в плане возникновения катастроф природного и техногенного характера [2, 8]. При этом эпицентры землетрясений регистрируются как в пределах Становой области, так и в примыкающих к ней блоках Алданского щита.

Самым активным на юге Якутии является Чаро-Олекминский блок (I), локализованный на западном фланге ОСЗ в среднем течении р. Олекма, где в XX столетии произошли три крупные сейсмические катастрофы с интенсивностью в эпицентре (шкала MSK-64) до 9 баллов: Нюкжинское (1958 г.), Олекминское (1958 г.) и Тас-Юряхское (1967 г.) землетрясения с магнитудой $M_s = 6,5-7,0$. Позднее, в начале XXI в., здесь же были зафиксированы три 7–8-балльных Чародинских землетрясения (два в 2005 г. и одно в 2009 г.) с $M_s = 5,4-5,8$ [2, 10].

В расположенном восточнее Центрально-Алданском блоке (II) в междуречье Олекмы и Тимптона (среднее течение р. Тунгурча) отмечено сильное Южно-Якутское землетрясение с $M_s = 6,6$ (см. рис. 2). Оно произошло 20 апреля 1989 г. и является одним из сильнейших сейсмических событий, зафиксированных на территории Южной Якутии за последние 50 лет. Интенсивность землетрясения в его эпицентральной зоне была близка к 8 баллам. Глубина очага составила 27 км, что существенно больше среднего значения глубины очагов (10–15 км) для землетрясений Южной Якутии в целом. Эпицентр землетрясения расположен в южной окраине мезозойской Чульманской впадины. В его эпицентральной области обнаружены многочисленные сейсмообвалы и осыпи, выколы каменных монолитов и камнепады. На р. Тунгурча произошли ранние местные ледоходы. Землетрясение вследствие значительной глубины очага ощущалось на территории более 1,5 млн км² в Якутии, Бурятии, Иркутской, Читинской и Амурской областях, а также в Китайской Народной Республике [11].

Самым интенсивным событием в Становом блоке (III) являлось 7–8-балльное Ларбинское землетрясение 1971 г. с $M_s = 5,9$ с его афтершоками, произошедшими в бассейне р. Ларба, правом притоке р. Олекма [4].

В Тимптоно-Учурском блоке (IV) наиболее известными были 6-балльное Усмунское землетрясение 1972 г. с $M_s = 4,9$ и 7-балльное Гонамское сотрясение 2004 г. с $M_s = 5,4$. Самый восточный Батомгский блок (V) малоактивен, но и здесь имело место 6-балльное Суннагинское землетрясение 1976 г. с $M_s = 4,7$ [4].

Геодинамика

Рассматриваемая зона деформаций земной коры между оз. Байкал и Охотским морем вызвана смещением Амурской плиты относительно Евразийской в восток-юго-восточном направлении. Причиной такого движения может являться столкновение Индийского субконтинента с окраинными структурами Евразии, в результате чего произошло образование отдельных микроплит и блоков разной конфигурации на территории Китая и Монголии, а также в пределах Забайкалья и Приамурья [12–14].

Становой блок, зажатый между структурами БРЗ, Евразийской и Амурской плитами, испытывает давление в связи с раскрытием впадин Байкальского рифта на юго-восток со скоростью 0,5–0,7 мм/год [15] и сопутствующего движения Амурской плиты на восток со скоростью 1–1,3 см/год [16]. В результате этого Становой блок также смещается в восточном направлении. При этом скорость современных горизонтальных движений вдоль северной границы блока (зона Станового шва), по данным триангуляционных замеров на полигонах Южной Якутии, составляет ~ 0,3 см/год [17], а на его южной границе в Тукурингра-Джагдинской разломной зоне, по расчетам величин смещений гидросети, ~ 0,5–0,6 см/год [18, 19].

Сейсмическая энергия

Для анализа распределения сейсмической энергии (E), выделяющейся при землетрясениях, был обработан массив инструментальных данных за последние 58 лет (1958–2016 гг.) в каждом из перечисленных блоков 1-го порядка. Предварительно рассчитывалось количество произошедших землетрясений разных магнитуд (M_s), затем их суммарная энергия (ΣE) в джоулях. Эти сведения обрабатывались с помощью экспоненциального цифрового формата. Далее определялась общая сумма (ΣE) для отдельных участков и районов, входящих в рассматриваемый блок. В итоге была оценена вся суммарная сейсмическая энер-

гия, высвободившаяся при землетрясениях, произошедших в данном блоке.

Расчеты показали, что наибольшая величина ΣE установлена в Чаро-Олекминском блоке ($5 \cdot 10^{16}$ Дж, 59 % общей ΣE); значительно меньшая – в Становом блоке ($2 \cdot 10^{16}$ Дж, 23 %) и Центрально-Алданском блоке ($1,5 \cdot 10^{16}$ Дж, 18 %). В Тимптоно-Учурском и Батомгском блоках сейсмическая энергия едва достигала величины в $1,2 \cdot 10^{14}$ Дж (0,001 %) и $2,4 \cdot 10^{12}$ Дж (0,0003 %) соответственно. Общая величина высвободившейся в Южной Якутии сейсмической энергии составила $\Sigma E = 8,5 \cdot 10^{16}$ Дж.

Выводы

Расчет сейсмической энергии, выделившейся при южно-якутских землетрясениях, показал, что в зависимости от их пространственной локализации в блоках ОСЗ прослеживается тенденция к понижению ее суммарных величин с запада на восток. К самым активным относятся западные структурно-тектонические блоки: Чаро-Олекминский (59 % от всей ΣE), Центрально-Алданский (23 %) и Становой (18 %). Наиболее инертным является Батомгский блок (0,0003 %). Таким образом, в направлении с запада на восток уровень ΣE снижается в 10^4 раз. Эти результаты косвенно свидетельствуют, что в восточном направлении при удалении от БРЗ сейсмоструктурные процессы в ОСЗ существенно замедляются и, по видимому, также снижаются скорости современных тектонических движений. Более точная корреляционная связь между сейсмической энергией и рядом значимых сейсмоструктурных показателей территории Южной Якутии может быть получена при проведении аналогичных работ в структурно-тектонических блоках второго и более рангов, а также в зонах динамического влияния региональных активных разломов.

Список литературы / References

1. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г., Воропаев П.В. Оценка уровня сейсмической активности регионов России. В кн.: Маловичко А.А. (ред.). *Землетрясения России в 2012 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»; 2014. С. 63–69.
2. Saltykov V.A., Kravchenko N.M., Poigina S.G., Voropaev P.V. Assessment of the level of seismic activity in Russian regions. In: Malovichko (ed.). *The earthquakes of Russia in 2012*. Obninsk: Geophysical Survey of RAS; 2014, pp. 63–69. (In Russ.)
3. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. (ред.). *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Респуб-*

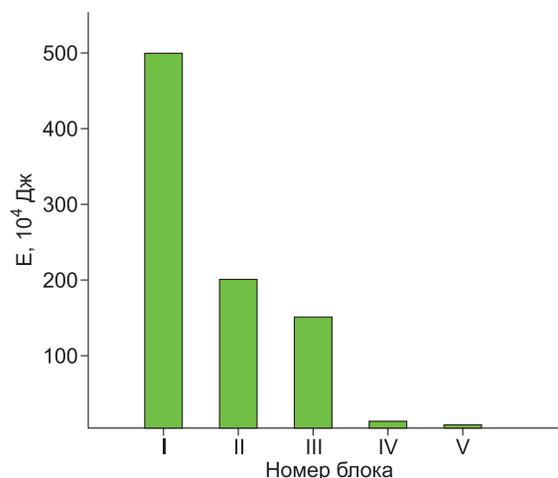


Рис. 3. Распределение выделившейся при южно-якутских землетрясениях сейсмической энергии ΣE .

Структурно-тектонические блоки: I – Чаро-Олекминский, II – Становой, III – Центрально-Алданский, IV – Тимптоно-Учурский, V – Батомгский

Fig. 3. Distribution of seismic energy ΣE released during the South Yakutia earthquakes (in J)

Blocks: I – Chara-Olekminsk, II – Central Aldan, III – Stanovoy, IV – Timpton-Uchur, V – Batomga

лики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика»; 2001. 571 с.

Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia)*. Moscow: MAIK “Nauka/Interperiodica”; 2001. 571 p. (In Russ.)

3. Козьмин Б.М. *Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений*. М.: Наука; 1984. 125 с.

Koz'min B.M. *Seismic belts of Yakutia and focal mechanisms of their earthquakes*. Moscow: Nauka; 1984. 125 p. (In Russ.)

4. Имаева Л.П. *Сейсмоструктурная активизация новейших структур восточного сектора Сибирского кратона*. Пенза: Научно-издательский центр «Социосфера»; 2022. 371 с.

Imaeva L.P. *Seismotectonic Activity of Recent Structures in the Eastern Sector of the Siberian Craton: monograph*. Penza: Science Publishing Center Sociosphere; 2022. 371 p.

5. Шибаев С.В., Козьмин Б.М., Куляндина А.С. и др. Якутия. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. В кн.: Маловичко А.А. (ред.). *Землетрясения России в 2020 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»; 2022. С. 62–67.

Shibaev S.V., Kozmin B.M., Kulyandina A.S., et al. Yakutia. Results of seismic monitoring of various regions of Russia In: Malovichko A.A. (ed.). *The earthquakes of Russia in 2020*. Obninsk: Geophysical Survey of RAS; 2022, pp. 62–67. (In Russ.)

6. ISC Bulletin. [http://www.isc.ac.uk]. International Seismological Centre [обновлено 27 июля 2023; процитировано 27 июля 2023] Доступно: <https://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
7. Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Гриненко О.В. и др. *Геодинамика Олекмо-Становой сейсмической зоны*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1985. 134 с.
- Parfenov L.M., Kozmin B.M., Grinenko O.V., et al. *Geodynamics of the Oliokma-Stanovoi seismic zone*. Yakutsk: Yakutian Branch of the Siberian Section of the USSR Academy of Sciences Publication; 1985. 134 p. (In Russ.)
8. Стогний Г.А., Стогний В.В. *Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона*. Якутск: Сахаполиграфиздат; 2005. 173 с.
- Stognii G.A., Stognii V.V. *Geophysical fields of the Eastern North Asian craton*. Yakutsk: Sakhapoligraphizdat; 2005. 173 p. (In Russ.)
9. Петров А. Ф., Боровиков А. М. Изучение очагов сильных землетрясений и сейсмоопасных зон по космическим снимкам в Байкало-Алданском регионе. *Исследование Земли из космоса*. 1978;(6):34–41.
- Petrov A.F., Borovikov A.M. Study of sources of strong earthquakes and seismic zones based on satellite images in the Baikal-Aldan region. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 1978;(6):34–41. (In Russ.)
10. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности. В кн.: Медведев С.В. (ред.). *Сейсмическое районирование СССР*. М.: Наука. 1968. С. 151–162.
- Medvedev S.V. International Seismic Intensity Scale. In: Medvedev S.V. (ed.). *Seismic zoning of the USSR*. Moscow: Nauka; 1968, pp. 151–162. (In Russ.)
11. Козьмин Б.М., Голенецкий С.И., Николаев В.В. и др. Южно-Якутское землетрясение 20(21).04.1989 г. и его афтершоки. В кн.: Кондорская Н.В. (ред.). *Землетрясения в СССР в 1989 г.* М.: Наука; 1993. С. 172–193.
- Kozmin B.M., Golenetsky S.I., Nikolaev V.V., et al. South Yakut earthquake of 04/20/21/1989 and its aftershocks. In: Kondorskaya N.V. (ed.). *Zemletryaseniya v SSSR v 1989 godu (Earthquakes in the USSR in 1989)*. Moscow: Nauka; 1993, pp. 172–193. (In Russ.)
12. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. *Введение в геодинамику*. М.: Недра; 1979. 311 с.
- Zonenshain L.P., Savostin L.A. *Introduction to geodynamics*. Moscow: Nedra; 1979. 311 p. (In Russ.)
13. Tappanier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien-Shan, Mongolia and Baikal Regions. *Journal of Geophysical Research*. 1979;84(B7):3425–3459. <https://doi.org/10.1029/JB084iB07p03425>
14. Гусев Г.С., Хаин В.Е. О взаимоотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг Средней России). *Геотектоника*. 1995;(5):68–82.
- Gusev G.S., Khain V.E. About the relationships between the Baikal-Vitim, Aldan-Stanovoy and Mongol-Okhotsk terranes (southern Central Russia). *Geotectonics*. 1995;(5):68–82. (In Russ.)
15. Calais E., Lesne O., Deverchere J., et al. Crustal deformation in the Baikal Rift from GPS measurements. *Geophysical Research Letters*. 1998;25(21):4003–4006. <https://doi.org/10.1029/1998GL900067>
16. Apel E.V., Burgmann R., Steblou G., et al. Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling. *Geophysical Research Letters*. 2006;33(11):1–5. <https://doi.org/10.1029/2006GL026077>
17. Бочаров Г.В., Замараев Н.Н. Геодезические измерения на геодезических полигонах Южной Якутии. *Геодезия и картография*. 1991;(3):30–34.
- Bocharov G.V., Zamaraev N.N. Geodetic measurements at geodetic sites in Southern Yakutia. *Geodezia i Kartografiya*. 1991;(3):30–34. (In Russ.)
18. Николаев В.В., Семенов Р.М., Солоненко В.П. *Сейсмогеология Монголо-Охотского линеймента (Восточный фланг)*. Новосибирск: Наука; 1979. 113 с.
- Nikolaev V.V., Semenov R.M., Solonenko V.P. *Seismogeology of the Mongol-Okhotsk lineament (Eastern flank)*. Novosibirsk: Nauka; 1979. 113 p. (In Russ.)
19. Жижерин В.С., Серов М.А. Современная тектоника области сочленения Евразийской и Амурской плит. В кн.: Скляр Е.В. (ред.). *Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции, г. Иркутск, 8–14 апреля 2019 г.* Иркутск: Институт земной коры СО РАН; 2019. С. 68–69.
- Zhizherin V.S., Serov M.A. Modern tectonics of the junction of the Eurasian and Amur plates. In: Sklyarov E.V. (ed.). *Structure of the lithosphere and geodynamics: Proceedings of the 28th All-Russian Youth Conference, Irkutsk, April 8–14, 2019*. Irkutsk: Institute of the Earth's crust SB RAS; 2019, pp. 68–69. (In Russ.)

Об авторах

МАКАРОВ Александр Александрович, инженер, <https://orcid.org/0000-0001-6527-5863>, ResearcherID: HKD-9633-2023, SPIN: 6462-8845, e-mail: Makarov.2A@yandex.ru

КОЗЬМИН Борис Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, ResearcherID: HKD-9774-2023, Scopus Author ID: 6506595969, SPIN: 9218-1530, e-mail: kozmin@diamond.ysn.ru

Вклад авторов

Макаров А.А. – проведение исследования

Козьмин Б.М. – руководство исследованием

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

MAKAROV, Alexander Alexandrovich, Engineer, <https://orcid.org/0000-0001-6527-5863>, ResearcherID: HKD-9633-2023, SPIN: 6462-8845, e-mail: Makarov.2A@yandex.

KOZMIN, Boris Mikhailovich, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4270-1318>, ResearcherID: HKD-9774-2023, Scopus Author ID: 6506595969, SPIN: 9218-1530, e-mail: kozmin@diamond.ysn.ru

Authors' contribution

Makarov A.A. – investigation

Kozmin B.M. – supervision

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 21.11.2023

Поступила после рецензирования / Revised 18.02.2024

Принята к публикации / Accepted 14.03.2024