



## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ТУВИНО-МОНГОЛЬСКОГО БЛОКА

Алексей Александрович Еманов<sup>1,✉</sup>, Александр Федорович Еманов<sup>2</sup>, Егор Андреевич Гладышев<sup>3</sup>, Ирина Федоровна Ешкунова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»,  
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

<sup>1</sup>alex@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9410-8167>

<sup>2</sup>emanov@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0585-9012>

<sup>3</sup>gladyshev@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4600-6383>

<sup>4</sup>eshkunova@gs.sbras.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3521-3608>

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности сейсмического режима Тувино-Монгольского блока, расположенного в узле сочленения Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны. Проанализировано распределение очагов землетрясений в пределах блока и прилегающих территорий (Восточно-Тувинское нагорье, массив Хангай). Обсуждаются различия в типах сейсмичности соседних структур и влияние плюмовых процессов на современную сейсмическую активность региона.

**Ключевые слова:** землетрясения, сейсмология, геодинамика, Тувино-Монгольский блок, Алтае-Саянская горная область

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00609-26) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

**Для цитирования:** Еманов А.А., Еманов А.Ф., Гладышев Е.А., Ешкунова И.Ф. Пространственно-временная динамика сейсмичности Тувино-Монгольского блока // Геофизические технологии. 2026. № 1. С. 39–47. doi:10.18303/2619-1563-2026-1-39.

## SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF SEISMICITY IN THE TUVA-MONGOLIAN BLOCK

Alexey A. Emanov<sup>1,✉</sup>, Alexandr F. Emanov<sup>2</sup>, Egor A. Gladyshev<sup>3</sup>, Irina F. Eshkunova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal Research Center, Unified Geophysical Survey, RAS,  
Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

<sup>1</sup>alex@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9410-8167>

<sup>2</sup>emanov@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0585-9012>

<sup>3</sup>gladyshev@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4600-6383>

<sup>4</sup>eshkunova@gs.sbras.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3521-3608>

**Abstract.** This study examines the features of the seismic regime of the Tuva-Mongolian block, located at the junction of the Altai-Sayan mountain region and the Baikal Rift Zone. The distribution of earthquake hypocenters within the block and adjacent territories (East Tuva Upland, Hangai Massif) is analyzed. Differences in seismicity types of neighboring structures and the influence of plume processes on the modern seismic activity of the region are discussed.

**Keywords:** earthquakes, seismology, geodynamics, Tuva-Mongolian block, Altai-Sayan mountain region

**Funding:** the study was carried out within the framework of the state assignment (project No. 075-00609-26) and using data obtained at unique scientific facility “Seismic infrasound complex for monitoring the Arctic cryolithozone and complex for continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent territories and the world”.

**For citation:** Emanov A.A., Emanov A.F., Gladyshev E.A., Eshkunova I.F. Spatiotemporal dynamics of seismicity in the Tuva-Mongolian block // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2026. No. 1. P. 39–47. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2026-1-39.

## ВВЕДЕНИЕ

Зона стыка Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой системы характеризуется уникальными особенностями распределения сейсмичности. В данном исследовании проводится анализ сейсмического режима территории, включающей Тувино-Монгольский блок, а также смежные структуры: Восточно-Тувинское нагорье (в составе Саяно-Тувинского блока) и массив Хангай [Дэмберэл, 2017] (в структуре Монгольского блока). Блочное строение региона рассматривается в соответствии с данными работы [Парфеевец, Саньков, 2006].

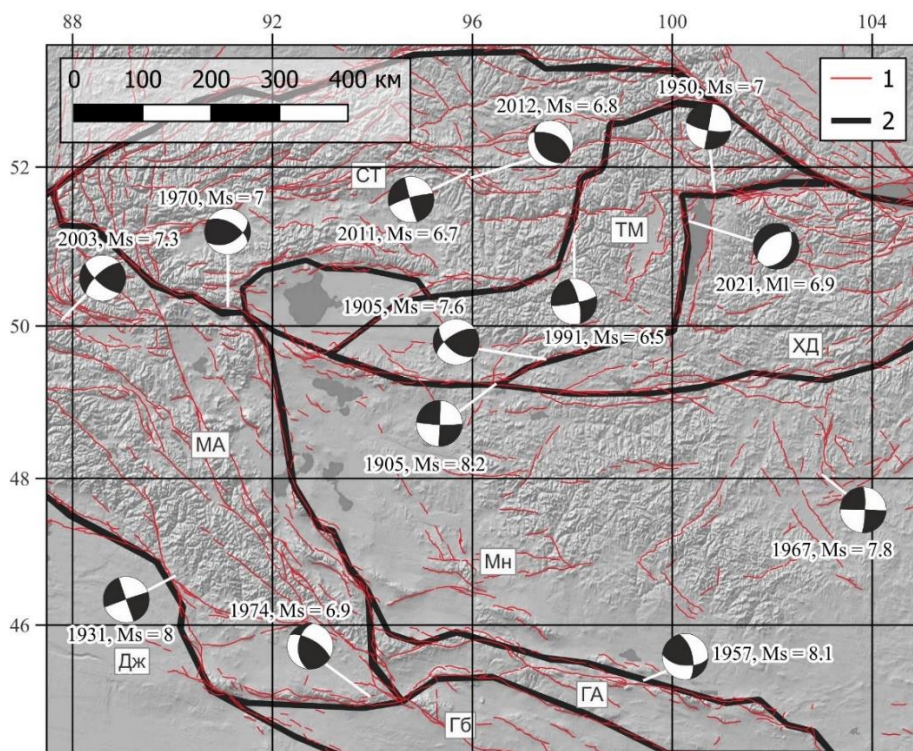
## ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

Тувино-Монгольский массив контрастно выделяется на фоне окружающих его более молодых палеозойских комплексов. Геодинамически он занимает пограничное положение между Байкальской рифтовой зоной и Алтае-Саянской горной областью. Принципиальное различие заключается в закономерностях сейсмичности: для Алтае-Саянской области характерно приурочивание землетрясений к горному обрамлению впадин, тогда как в Байкальской рифтовой зоне очаги локализуются преимущественно внутри впадин. Граница раздела этих разнотипных сейсмических режимов проходит по Тувино-Монгольскому блоку. В пределах данного блока локализована группа рифтовых впадин, включая Хубсугульскую, Дархатскую, Бусингольскую, Белинскую и Терехольскую.

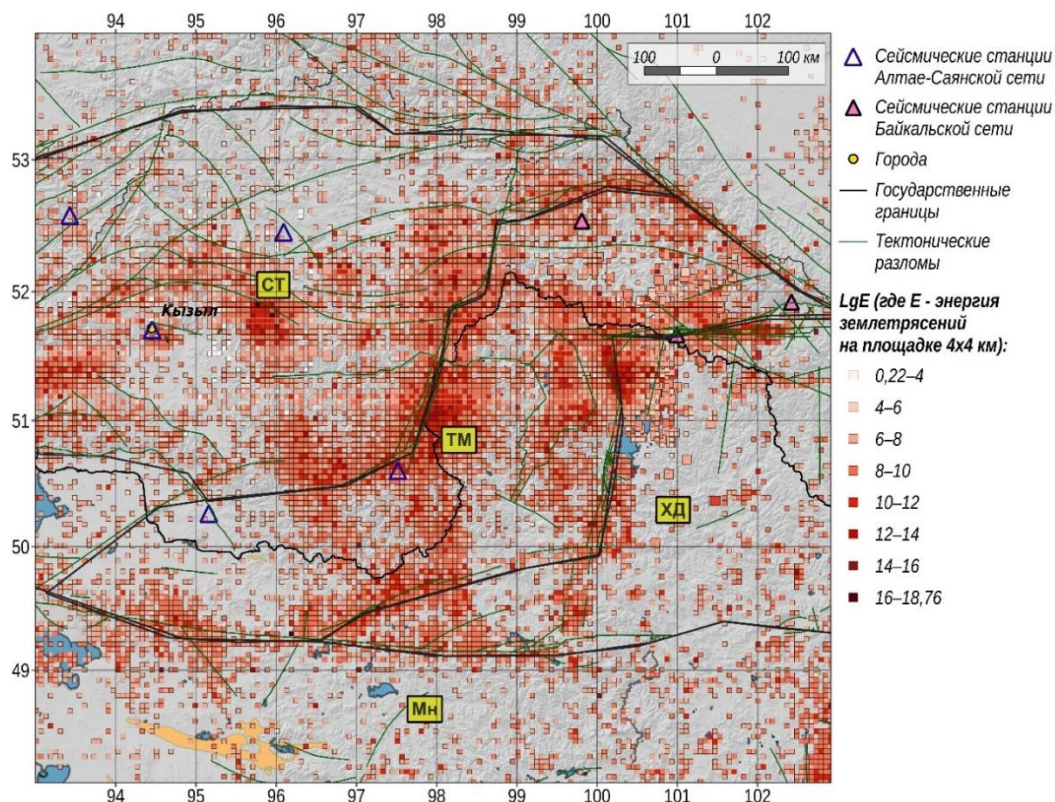
## ИСТОРИЧЕСКАЯ И СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

На карте наиболее крупных сейсмических событий (рис. 1) видно, что многие эпицентры приурочены к границам Тувино-Монгольского блока. Наиболее значимые события прошлого столетия – Цэцэрлэгское (1905 г.,  $M = 7.6$ ) и Болнайское (1905 г.,  $M = 8.2$ ) – произошли на разломных зонах, ограничивающих блок с южной стороны [Молнар и др., 1995].

Карта суммарной сейсмической энергии за период 1905–2023 гг. (рис. 2) демонстрирует структуру с активными границами блоков. Хубсугульское землетрясение 2021 г. [Еманов и др., 2022–2024] спровоцировало рост сейсмичности на восточной границе Тувино-Монгольского блока. Ранее этот участок не выделялся высокой активностью, однако вероятность проявления сейсмичности в данной зоне прогнозировалась ранее [Кочетков и др., 1993].

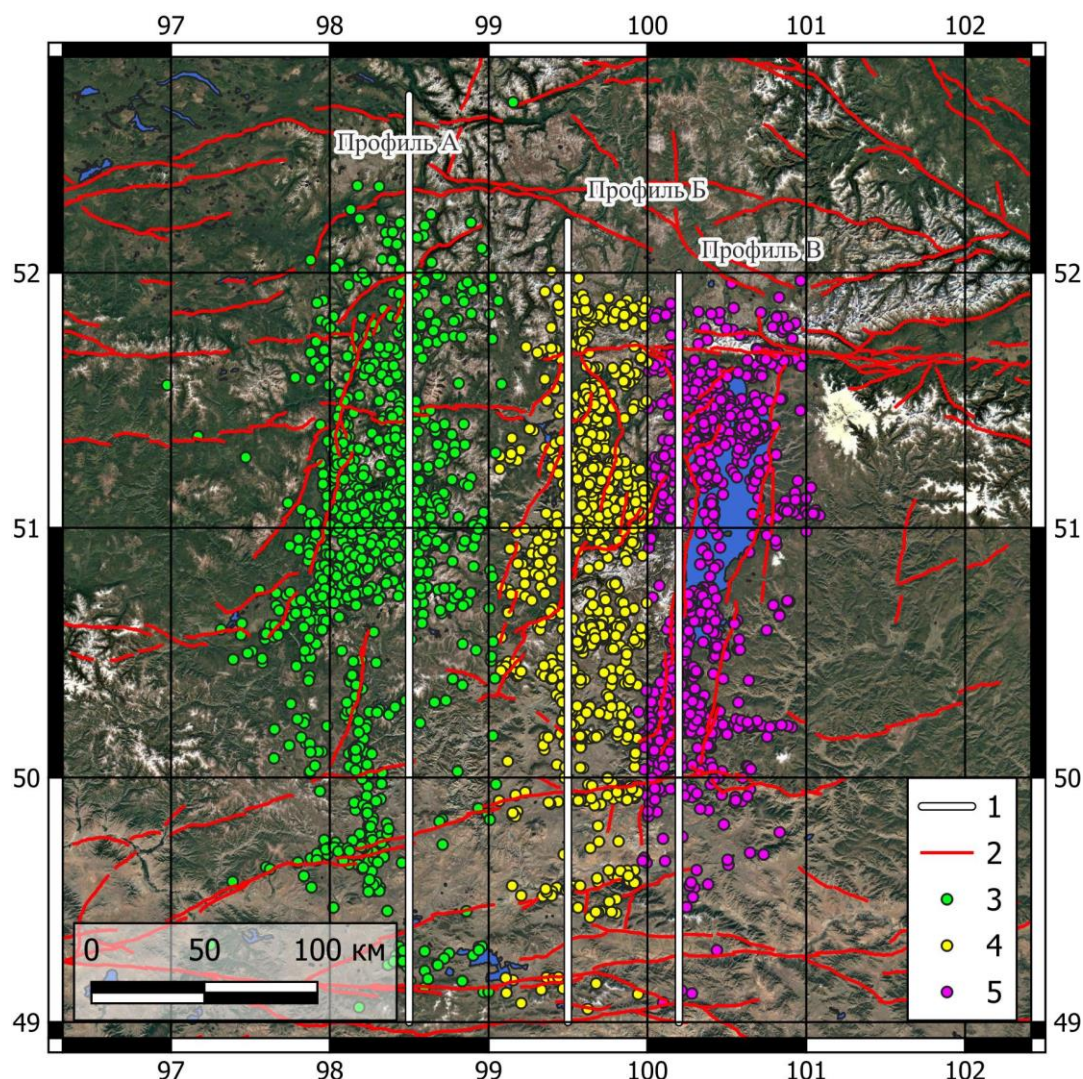


**Рис. 1.** Механизмы наиболее крупных землетрясений Алтае-Саянской горной области и Монголии. 1 – разломы согласно ГИН РАН [Zelenin et al., 2022], 2 – границы блоков согласно [Саньков и др., 2003]: СТ – Саяно-Тувинский, ТМ – Тувино-Монгольский, ХД – Хамар-Дабанский, МА – Монголо-Алтайский, МН – Монгольский, Дж – Джунгарский, Гб – Гобийский, ГА – Гоби-Алтайский.



**Рис. 2.** Карта суммарной сейсмической энергии землетрясений Тувино-Монгольского блока и сопредельных территорий за 1905–2023 гг. Усл. обозн. см. рис. 1.

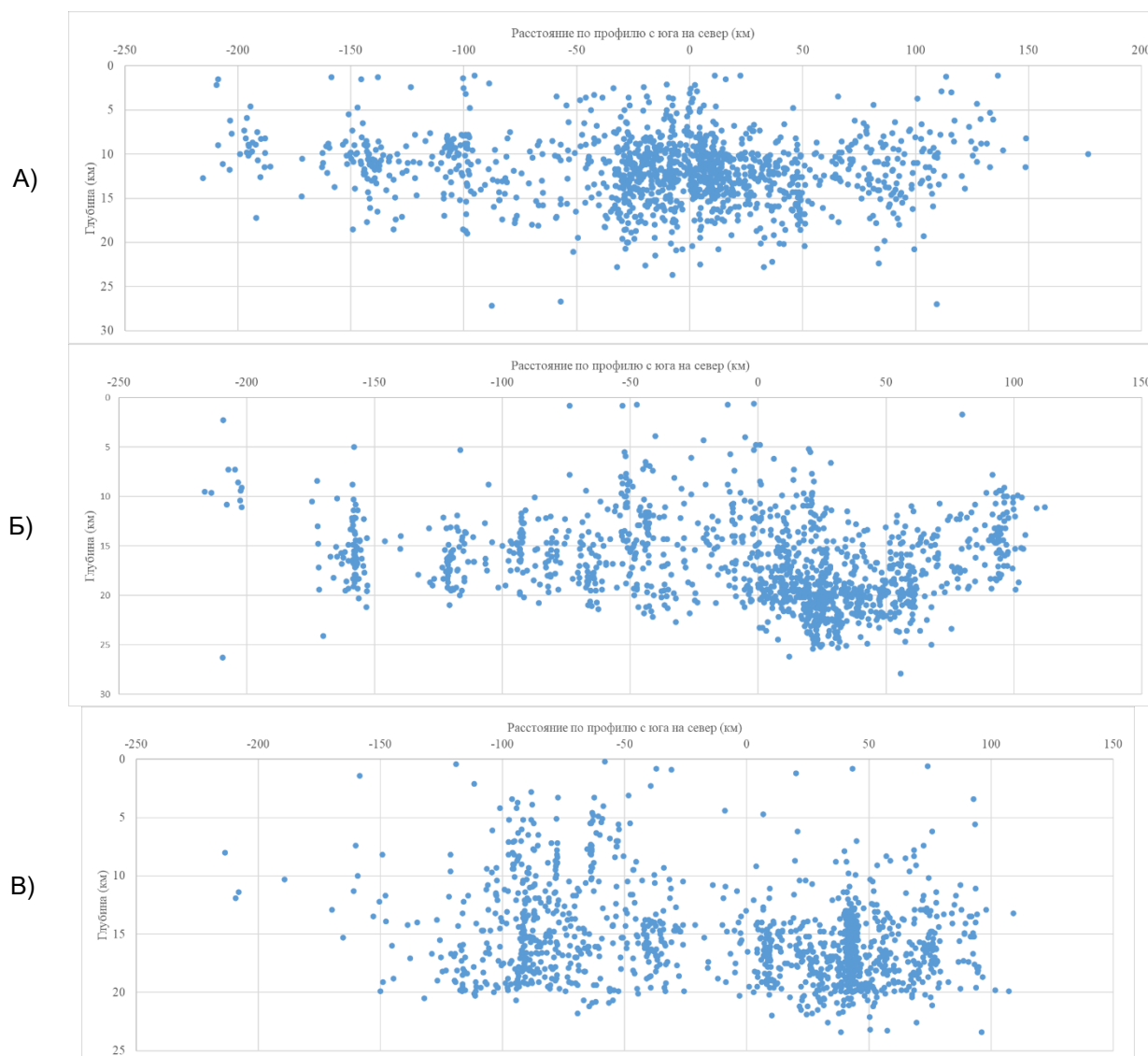
Детальный анализ сейсмичности Прихубсугулья, выполненный по данным временной сети станций за 2014–2016 гг. [Meltzer et al., 2019; Еманов, Ешкунова, 2025], уточнил структуру района Прихубсугульской системы рифтовых впадин (рис. 3).



**Рис. 3.** Эпицентры землетрясений, полученные в результате обработки данных временной сети 2014–2016 гг. [Meltzer et al., 2019; Еманов, Ешкунова, 2025]: 1 – линии профилей вертикальных разрезов, 2 – разломы согласно ГИН РАН [Zelenin et al., 2022], 3–5 – эпицентры землетрясений, разделенные по зонам: 3 – Белино-Бусингольская система, 4 – Дархатская впадина, 5 – Хубсугульская впадина.

В научной литературе эти впадины интерпретируются либо как завершение Байкальской рифтовой зоны, либо как самостоятельная система рифтогенеза над плюмовой областью [Мишарина и др., 1983]. Установлено, что линейные структуры сейсмической активности не всегда полностью соответствуют главным тектоническим нарушениям. Для Хубсугульской и Бусингольской впадин, являющихся окраинами блока, характерно развитие сейсмичности со стороны внутреннего горного обрамления. В то же время в Дархатской рифтовой впадине, расположенной в центральной части блока, сейсмичность развивается внутри самой впадины.

Благодаря полученным данным был проведен анализ распределения гипоцентров землетрясений за 2014–2016 гг. для каждой отдельной зоны: Белино-Бусингольская система, Дархатская впадина, Хубсугульская впадина (рис. 4).



**Рис. 4.** Вертикальные разрезы вдоль профилей (центр профиля – 0 км соответствует 51° с.ш.): А – Белино-Бусингольская система, Б – Дархатская впадина, В – Хубсугульская впадина.

Согласно профилям можно отметить, что в направлении с запада на восток средняя глубина наиболее активных зон увеличивается с 10–15 до 15–20 км. В том же направлении прослеживается появление четкого разделения на северную и южную сейсмоактивные области. В районе Белино-Бусингольской системы (профиль А) картина достаточно равномерная на протяжении всего профиля, однако, смещаясь на восток к профилям Б и В, появляется заметное разделение. Северная часть характеризуется большей глубиной залегания гипоцентров относительно южной. Вероятнее всего это обусловлено неравномерностью рифтогенеза над областью плюма [Кочетков и др., 1993].

### СЕЙСМИЧНОСТЬ МАССИВА ХАНГАЙ

Хангайский массив находится на юго-западной границе Тувино-Монгольского блока. Представляет собой поднятие над плюмовой областью, для которого типична высокая сейсмичность (до магнитуды 8) по периферийным разломам (см. рис. 1) при практическом отсутствии событий внутри блока [Chogowicz, 2005; Shelly et al., 2013]. Однако в 2024 г. внутри массива был зафиксирован рой землетрясений с максимальным событием  $M_L = 5.7$ . Это явление может свидетельствовать о начале нового этапа

эволюции Хангайского блока. Совместный анализ сейсмичности Тувино-Монгольского блока и Хангая подтверждает гипотезу о поэтапном развитии процессов в областях распространения мантийных плюмов [Зорин и др., 2006].

## ВЫВОДЫ

- Тувино-Монгольский блок занимает уникальное положение на стыке двух разнотипных сейсмических режимов – Алтае-Саянской горной области (где землетрясения приурочены к горному обрамлению впадин) и Байкальской рифтовой зоны (где очаги локализуются внутри впадин).
- В окраинных впадинах (Хубсугульская, Бусингольская) сейсмичность развивается со стороны внутреннего горного обрамления, тогда как в центральной Дархатской впадине сейсмичность локализована внутри самой впадины.
- Вертикальные разрезы выявили четкое разделение на северную и южную сейсмоактивные области при смещении на восток. Северная часть характеризуется большей глубиной залегания гипоцентров, что, вероятно, отражает неравномерность рифтогенеза над мантийным плюмом.
- Зафиксированный в 2024 г. рой землетрясений внутри массива Хангай ( $M_L = 5.7$ ) может свидетельствовать о начале нового этапа эволюции Хангайского блока.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Дэмбэрэл С.** Сейсмичность и напряженно-деформированное состояние литосферы Монголии. Дисс... уч. ст. докт. геол.-мин. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. 374 с.
- Еманов А.А., Ешкунова И.Ф.** Автоматизация обработки больших объемов сейсмологических данных при изучении сейсмичности Прихубсугулья за 2014–2016 гг. // Физика Земли. 2025. № 6. С. 33–47. doi: 10.7868/S3034645225060035. EDN:CFNDPP.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артёмова А.И., Подкорытова В.Г.** Хубсугульское землетрясение, 12.01.2021 г.  $M_W = 6.7$ ,  $M_L = 6.9$  и афтершоки начального периода // Физика Земли. 2022. № 1. С. 67–82. doi:10.31857/S0002333722010021. EDN:PADCYN.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Арапов В.В., Фролов М.В.** Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 г.,  $M_L = 6.9$  в структуре сейсмичности Тувино-Монгольского блока // Физика Земли. 2023. № 5. С. 79–95. doi:10.31857/S0002333723050034. EDN:VZHSYQ.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Полянский П.О., Фролов М.В., Ешкунова Е.А.** О влиянии Хубсугульского землетрясения 2021 года на сейсмичность стыка Алтае-Саянской горной области с Байкальской рифтовой зоной // Вулканология и сейсмология. 2024. № 6. С. 28–39. doi:10.31857/S0203030624060047. EDN:HZCUUI.
- Зорин Ю.А., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Рассказов С.В., Иванов А.В.** О природе кайнозойских верхнемантийных плюмов в Восточной Сибири (Россия) и Центральной Монголии // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 10. С. 1060–1074. EDN:KTWZBR.
- Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А., Ружич В.В., Турутанов Е.Х., Арвисбаагар Н., Баясгалан, Кожевников В.М., Эрдэнбелэг Б., Чипизубов А.В., Монхоо Д., Аниканова Г.А., Ключевский А.В., Найдич В.И., Баяр Г., Боровик Н.С., Гилёва Н.А., Адьяа М., Балжинням И., Джурик В.И., Потапов В.А.,**

**Юшкин В.И., Дугармаа Т., Цэмбэл Л.** Сейсмоструктура и сейсмичность Прихубсугуля. Новосибирск: Наука, 1993. 182 с.

**Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Балжинням И.** Юго-Западная граница Байкальской рифтовой зоны по данным о механизме очагов землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 74–83.

**Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов Б.А., Ващилов Ю.Я.** Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Новосибирск: Наука, 1995. С. 5–55.

**Парфеевец А.В., Саньков В.А.** Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академ. изд-во ГЕО, 2006. 151 с.

**Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И. Леви К.Г., Ашурков С.В., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Кале Э., Девершер Ж., Верноль М., Бехтур Б., Амаржаргал Ш.** Современные движения земной коры Монголо-Сибирского региона по данным GPS-геодезии // Доклады Академии наук. 2003. Т. 392, № 6. С. 792–795. EDN:OPLXSX.

**Chorowicz J.** The East African rift system // Journal of African Earth Sciences. 2005. Vol. 43 (1–3). P. 379–410. doi:10.1016/j.jafrearsci.2005.07.019.

**Meltzer A., Stachnik J.C., Sodnomsambuу D., Munkhuu U., Tsagaan B., Dashdondog M., Russo R.** The Central Mongolia seismic experiment: multiple applications of temporary broadband seismic arrays // Seismological Research Letters. 2019. Vol. 90 (3). P. 1364–1376. doi:10.1785/0220180360.

**Shelly D.R., Hill D.P., Massin F., Farrell J., Smith R.B., Taira T.** A fluid-driven earthquake swarm on the margin of the Yellowstone caldera // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2013. Vol. 118 (9). P. 4872–4886. doi:10.1002/jgrb.50362.

**Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I.** The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. 2022. Vol. 14. P. 4489–4503. doi:10.5194/essd-14-4489-2022.

## REFERENCES

**Chorowicz J.** The East African rift system // Journal of African Earth Sciences. 2005. Vol. 43 (1–3). P. 379–410. doi:10.1016/j.jafrearsci.2005.07.019.

**Demberel S.** Seismicity and stress-strain state of the lithosphere of Mongolia. Dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences (In Russ.). Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 2017. 374 p.

**Emanov A.A., Eshkunova I.F.** Automation of processing large volumes of seismological data in studying the seismicity of the Khubsugul region for 2014–2016 // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2025. Vol. 61 (6). P. 938–950. doi:10.1134/S1069351325700806. EDN:MJFKGQ.

**Emanov A.F., Emanov A.A., Chechel'nitskii V.V., Shevkunova E.V., Radziminovich Ya.B., Fateev A.V., Kobeleva E.A., Gladyshev E.A., Arapov V.V., Artemova A.I., Podkorytova V.G.** The Khuvsgul earthquake of January 12, 2021,  $M_W = 6.7$ ,  $M_L = 6.9$  and early aftershocks // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022. Vol. 58 (1). P. 59–73. doi:10.1134/S1069351322100019. EDN:EHDBHU.

**Emanov A.F., Emanov A.A., Chechel'nitskii V.V., Shevkunova E.V., Fateev A.V., Kobeleva E.A., Arapov V.V., Frolov M.V.** The Khuvsgul earthquake of January 12, 2021,  $M_L = 6.9$ , in the seismicity structure of the Tuva–

Mongolian block // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2023. Vol. 59 (5). P. 733–748. doi: 10.1134/s1069351323050038. EDN:KYKKMY.

**Emanov A.F., Emanov A.A., Chechelnitsky V.V., Shevkunova E.V., Fateev A.V., Kobeleva E.A., Polyansky P.O., Frolov M.V., Eshkunova I.F.** On the influence of the 2021 Hubsugul earthquake on the seismicity of the junction of the Altai-Sayan mountain region with the Baikal Rift Zone // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2024. Vol. 18 (6). P. 532–543. doi:10.1134/S0742046324700817. EDN:HALNGH.

**Kochetkov V.M., Khilko S.D., Zorin Yu.A., Ruzhich V.V., Turutanov E.Kh., Arvisbaagar N., Bayasgalan, Kozhevnikov V.M., Erdenbelag B., Chipizubov A.V., Monkhood D., Anikanova G.A., Klyuchevskii A.V., Naidich V.I., Bayar G., Borovik N.S., Gileva N.A., Adya M., Balzhinnyam I., Dzhurik V.I., Potapov V.A., Yushkin V.I., Dugurmaa T., Tsembel L.** Seismotectonics and seismicity of the Khubsugul region (In Russ.). Nauka, Novosibirsk, 1993. 182 p.

**Meltzer A., Stachnik J.C., Sodnomsambuu D., Munkhuu U., Tsagaan B., Dashdondog M., Russo R.** The Central Mongolia seismic experiment: multiple applications of temporary broadband seismic arrays // *Seismological Research Letters*. 2019. Vol. 90 (3). P. 1364–1376. doi:10.1785/0220180360.

**Misharina L.A., Melnikova V.I., Balzhinnyam I.** The southwestern boundary of the Baikal Rift Zone based on earthquake focal mechanism data // *Journal of Volcanology and Seismology*. 1983. No. 2. P. 74–83. (In Russ.).

**Molnar P., Kurushin R.A., Kochetkov V.M., Demyanovich M.G., Borisov B.A., Vashilov Yu.Ya.** Deformation and faulting during strong earthquakes in the Mongolian-Siberian region // *Deep Structure and Geodynamics of the Mongolian-Siberian Region* (In Russ.). Nauka, Novosibirsk, 1995. P. 5–55.

**Parfeevets A.V., Sankov V.A.** Stress state of the Earth's crust and geodynamics of the southwestern part of the Baikal Rift system (In Russ.). GEO, Novosibirsk, 2006. 151 p.

**San'kov V.A., Lukhnev A.V., Miroshnichenko A.I., Levi K.G., Ashurkov S.V., Bashkuev Yu.B., Dembelov M.G., Calais E., Déverchère J., Vergnolle M., Bechtur B., Amarjargal Ch.** Present-day movements of the Earth's crust in the Mongol-Siberian region inferred from GPS geodetic data // *Doklady Earth Sciences*. 2003. Vol. 393 (8). P. 1082–1085. EDN:LIDCAF.

**Shelly D.R., Hill D.P., Massin F., Farrell J., Smith R.B., Taira T.** A fluid-driven earthquake swarm on the margin of the Yellowstone caldera // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2013. Vol. 118 (9). P. 4872–4886. doi:10.1002/jgrb.50362.

**Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I.** The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // *Earth System Science Data*. 2022. Vol. 14. P. 4489–4503. doi:10.5194/essd-14-4489-2022.

**Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh., Kozhevnikov V.M., Rasskazov S.V., Ivanov A.I.** The nature of Cenozoic upper mantle plumes in East Siberia (Russia) and Central Mongolia // *Russian Geology and Geophysics*. 2006. Vol. 47 (10). P. 1056–1070.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*ЕМАНОВ Алексей Александрович* – кандидат геолого-минералогических наук, директор Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”; старший научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: сейсмология, базы данных центров обработки сейсмологии и геофизики,

исследования с локальными сетями станций, инженерная сейсмология, искусственный интеллект в обработке данных.

*ЕМАНОВ Александр Федорович* – доктор технических наук, главный научный сотрудник Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Основные научные интересы: сейсмология, инженерная сейсмология, сейсмологические исследования земной коры, алгоритмы обработки данных.

*ГЛАДЫШЕВ Егор Андреевич* – старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Основные научные интересы: сейсмология, мониторинг эволюции сейсмичности в районах крупных землетрясений, интенсивность воздействия сейсмических событий на объекты капитального строительства.

*ЕШКУНОВА Ирина Федоровна* – научный сотрудник Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Основные научные интересы: обработка данных, применение искусственного интеллекта в сейсмологии.

*Статья поступила в редакцию 10 марта 2026 г.,  
одобрена после рецензирования 27 марта 2026 г.,  
принята к публикации 1 апреля 2026 г.*