



РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОКАЛЬНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНА

С.Н. Понасенко¹, П.А. Дергач^{1,2}, С.В. Яскевич^{1,2,3}, А.А. Дучков^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет,
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, Россия

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

³Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
e-mail: s.ponassenko@g.nsu.ru

Уточнение геодинамической обстановки в районе дельты реки Лена актуально для понимания локальных геологических процессов. Ранее очаговая сейсмология для этой области обеспечивалась лишь удаленными региональными сейсмостанциями. Данная работа показывает результаты обработки данных детальных сейсмологических наблюдений за 2018–2021 гг. Представлено распределение гипоцентров землетрясений, а также их фокальные механизмы. Результаты обработки во многом подтверждают априорные геологические данные и не противоречат результатам региональных наблюдений. Скопление землетрясений в районе Хараулахского хребта вероятнее всего относится к Приморскому разлому, простирающемуся вдоль берега Быковской протоки. По данным геологических исследований Приморский разлом является сбросом, что подтверждают фокальные механизмы очагов землетрясений в данной области.

Сейсмология, локальный сейсмологический мониторинг, фокальные механизмы очагов землетрясений, график повторяемости, Якутия, море Лаптевых, дельта реки Лена, остров Самойловский

RESULTS OF LOCAL SEISMOLOGICAL MONITORING IN THE LENA DELTA REGION

S.N. Ponassenko^{1,2}, P.A. Dergach^{1,2}, S.V. Yaskevich^{1,2,3}, A.A. Duchkov^{1,2}

¹Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Pirogov st., 2, Russia

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

³Institute of the Earth's Crust SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontov st., 128, Russia
e-mail: s.ponassenko@g.nsu.ru

Refinement of the geodynamic situation in the area of the Lena River delta is relevant for understanding local geological processes. Previously, source seismology for this area was provided only by remote regional seismic stations. This paper shows the results of processing data from detailed seismological observations for 2018–2021. The distribution of earthquake hypocenters and their focal mechanisms are presented. The results of processing largely confirm the a priori geological data and do not contradict the results of regional observations. The accumulation of earthquakes in the area of the Kharaulakh Range most likely refers to the Primorsky Fault, which extends along the coast of the Bykovskaya channel. According to geological studies, the Primorsky Fault is a fault, which is confirmed by the focal mechanisms of earthquake sources in this area.

Seismology, local seismological monitoring, focal mechanisms of earthquake sources, recurrence graph, Yakutia, Laptev Sea, Lena River delta, Samoilovsky Island

ВВЕДЕНИЕ

Восточная часть Арктики представлена сочетанием окраинно-континентальных и океанских структур. В океанской части выделяются Евразийский бассейн с хребта Гаккеля и Канадский бассейн, между которыми располагаются хребет Ломоносова и поднятие Альфа-Менделеева, разделенные впадиной Макарова. В континентальной части, в обрамлении Сибирской платформы, располагаются аккреционно-коллизийные структуры, представленные веером хребтов – от Верхоянского до Черского [Верниковский и др., 2013].

Район дельты р. Лены приурочен к переходной зоне между континентальным и океаническим рифтогенезом. В данной области наблюдаются фрагменты Сибирской платформы и мезозойской Лаптевоморской плиты, которые разделяют породы Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы [Имаева и др., 2019]. В пределах Лаптевоморского шельфа выделяют рифтовую систему как связующее звено между срединно-океаническим хребтом Гаккеля и Момским континентальным рифтом [Грачев и др., 1973]. В северной части Хараулахского сегмента обособляется Приморская система сбросов протяженностью около 50 км. Она расположена параллельно Быковской протоке от дельты р. Лена к заливу Неелова. Во время геологических полевых исследований в области динамического влияния Приморской системы установлены палеосейсмогенные деформации, пространственно тяготеющие к Быковско-Ленской зоне [Имаев и др., 2018].

Первые данные о сейсмичности данной области относятся к 1909 г. С тех пор зафиксировано несколько крупных землетрясений с магнитудами 5 и более, для которых были определены фокальные механизмы очагов. Землетрясения в районе дельты р. Лена приурочены к субширотной зоне разломов области влияния Верхоянского краевого шва. Для данной зоны значимыми механизмами разломообразования по геологическим данным являются взбросо-сдвиги. По региональным сейсмологическим данным было установлено наличие сейсмической активности в данной области [Имаева и др., 2019]. Региональные сейсмологические наблюдения в районе дельты р. Лены производятся глобальной сейсмологической сетью Геофизической службы (ФИЦ ЕГС РАН). Однако данная сеть имеет низкую плотность покрытия сейсмологическими пунктами в области дельты р. Лена (ближайшая сеймостанция в г. Тикси удалена на 100 км), и по данным, полученным глобальной сейсмологической сетью, трудно охарактеризовать геодинамическую обстановку, т. к. за последние 15 лет в районе дельты было зафиксировано 14 событий. Детальные сейсмологические исследования ранее не проводились.

В данной работе рассматриваются результаты обработки данных локального сейсмологического мониторинга за 2018–2021 гг. Распределение гипоцентров и фокальные механизмы землетрясений были соотнесены с тектоническими картами, что позволило сделать выводы о сейсмологических особенностях данного региона.

КОНФИГУРАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

В период с 2015 по 2017 гг. в районе дельты р. Лена проводились полевые сейсмологические исследования. Были проведены полевые работы по выбору мест для постановки сеймостанций, а также работы по организации пунктов сейсмологической сети [Гайсслер и др., 2018]. В 2019 году в районе Хараулахского хребта была зафиксирована серия крупных землетрясений и, в связи с этим, сейсмологическая сеть была перемещена по периметру хребта [Дергач и др., 2022]. С 2018 года конфигурация сети претерпевала изменения, связанные с многими внешними факторами (рис. 1).

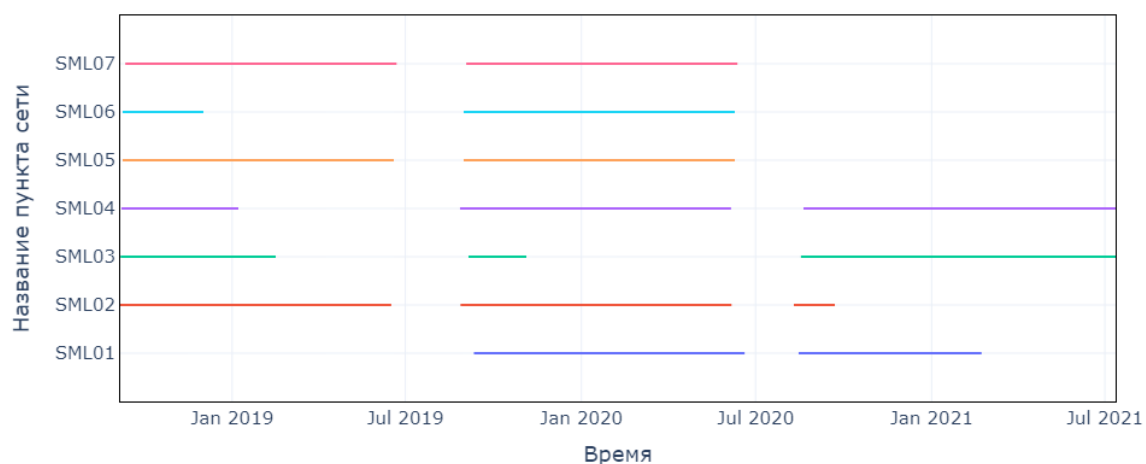


Рис. 1. График работы станций сейсмологической сети за период 2018–2021 гг.

В 2021 году было установлено два новых пункта сети, а пункты сети, расположенные в северо-западной части, были демонтированы (рис. 2).

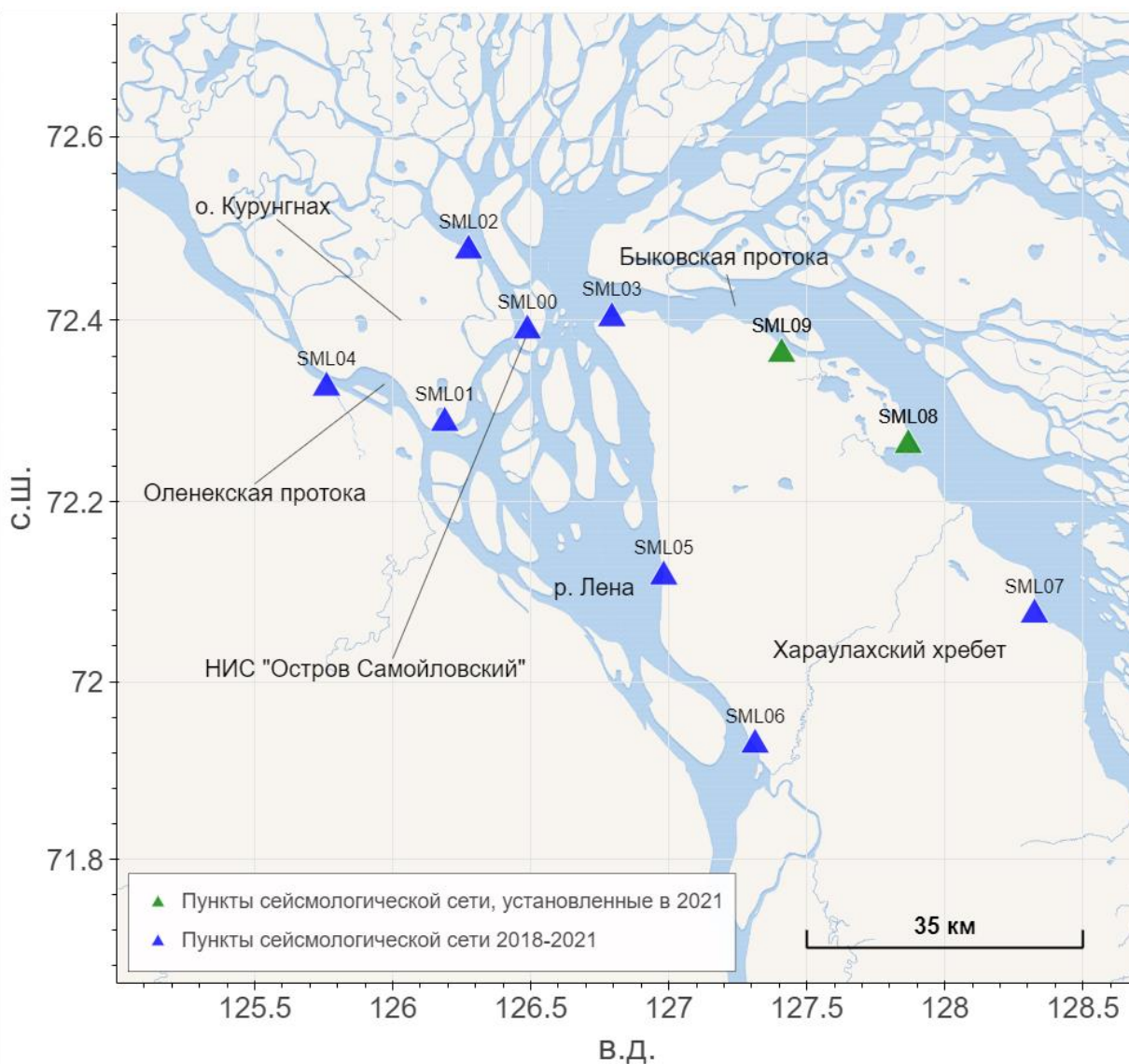


Рис. 2. Карта расположения пунктов сейсмологической сети в сезон 2021–2022 гг.

АНАЛИЗ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО КАТАЛОГА

За период 2018–2021 гг. было зафиксировано и обработано 357 сейсмических события. Обработка сейсмических записей землетрясений и локализация их гипоцентров проходила в программе «DIMAS» [Дрознин, Дрознина, 2010].

Локализация гипоцентров землетрясений

Результаты обработки данных представлены на рис. 3 в виде карты распределения эпицентров землетрясений, радиус окружностей соответствует магнитуде землетрясений. На первый взгляд эпицентры распределены равномерно, однако внимание привлекает зона скопления землетрясений в северной части Хараулахского хребта. За небольшой период в данной области была зафиксирована серия из 44 землетрясений.

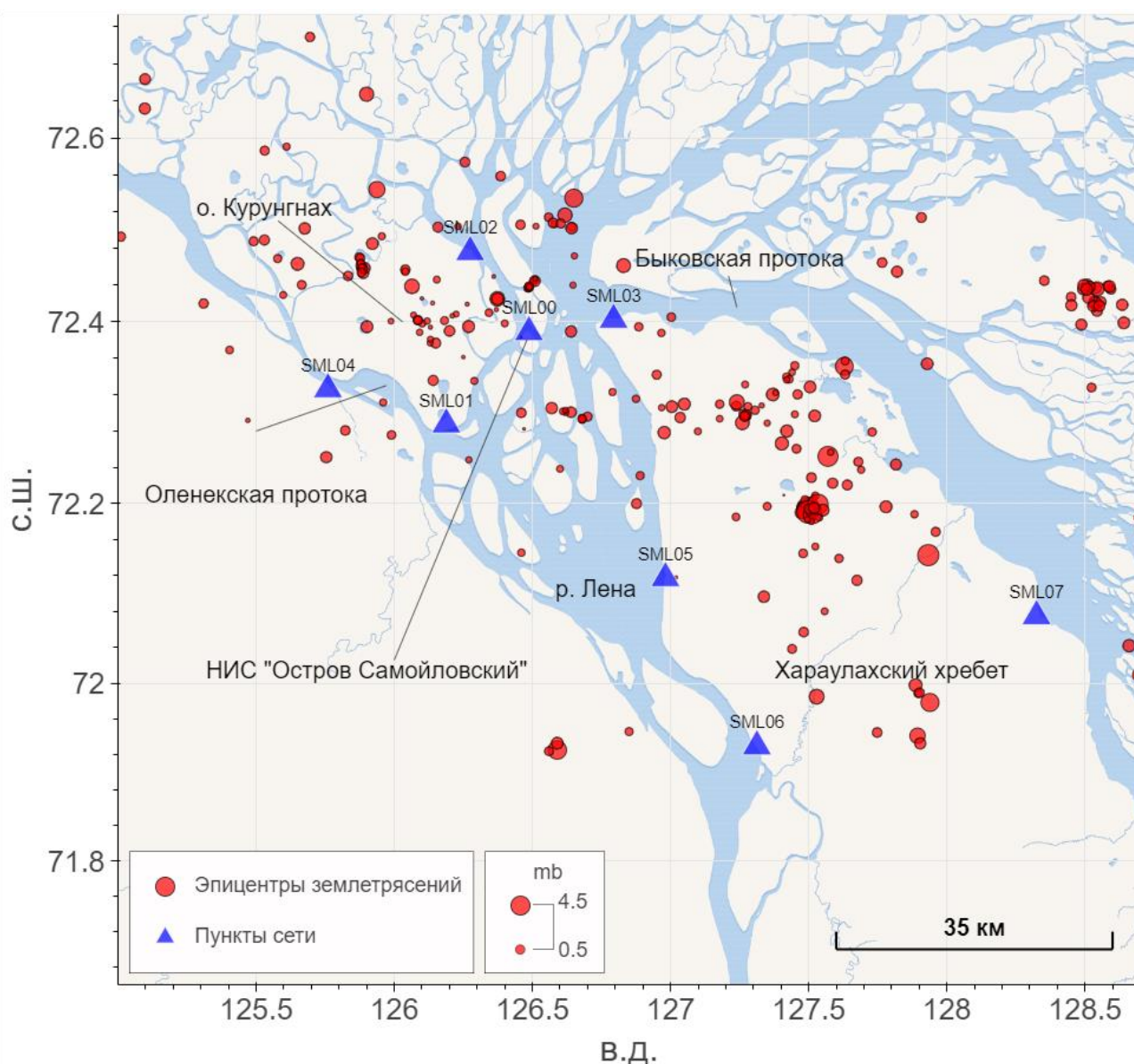


Рис. 3. Карта распределения эпицентров землетрясений по данным локальной сейсмологической сети за период 2018–2021 гг.

Погрешность определения координат гипоцентров землетрясений зависит от азимутального покрытия пунктами сейсмологической сети. Если для некоторого сейсмического события азимутальное

покрытие было недостаточно плотное, локализация гипоцентра происходит с высокой погрешностью. С течением времени оборудование на некоторых пунктах сейсмологической сети прекращало работу, что значительно сказывалось на результатах обработки. Оценив погрешность, было решено отбросить гипоцентры, локализованные с погрешностью более 5 км в плане (рис. 4). Была забракована треть эпицентров землетрясений: из 357 сейсмических событий осталось 249.

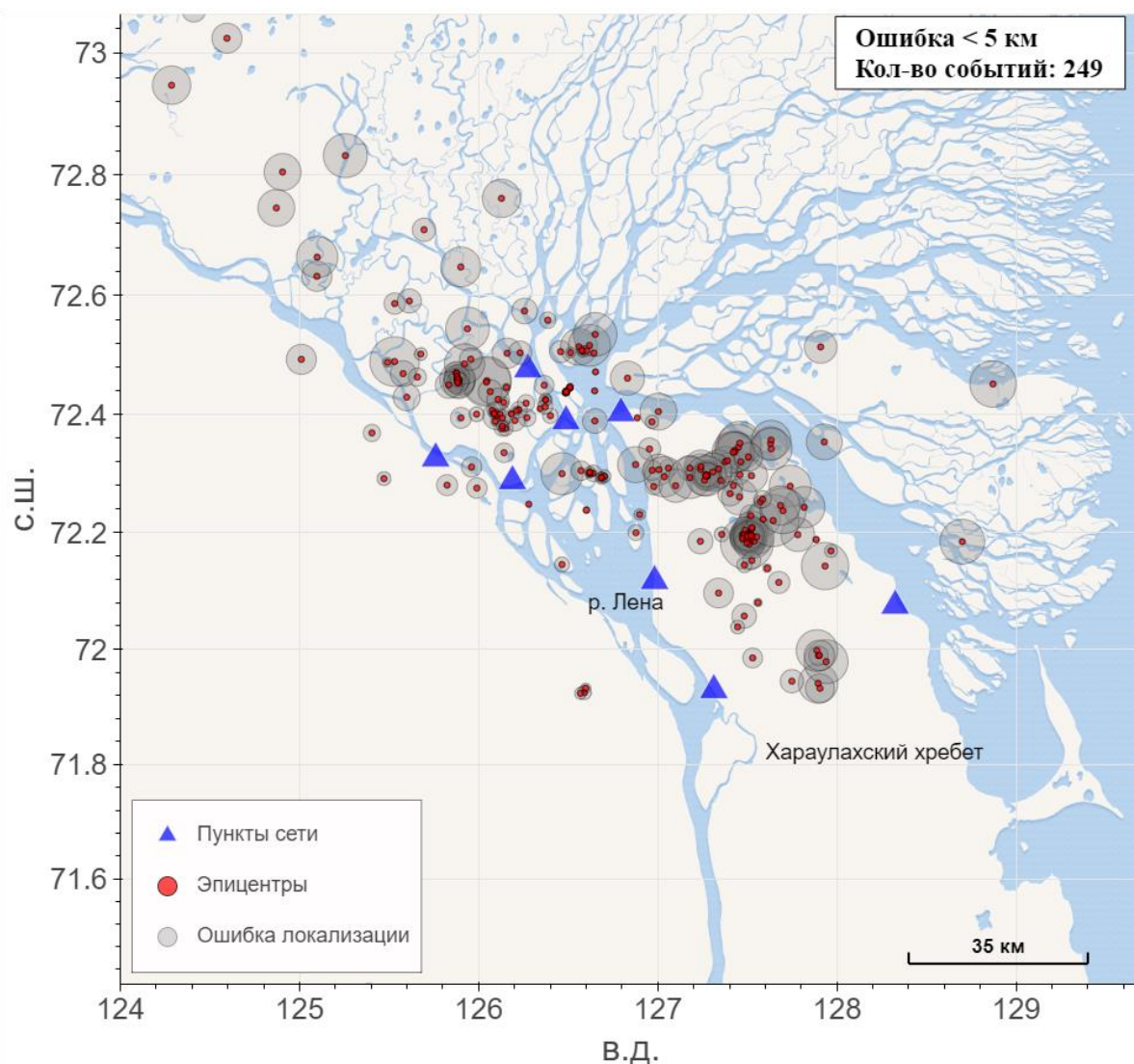


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений за период 2018–2021 гг. с оцененными погрешностями локализации в плане. Приведены эпицентры с погрешностью менее 5 км

Для иллюстрации глубины гипоцентров и дополнительной оценки их пространственного распределения было выделено два профиля: по линии А–В и С–D (рис. 5). Профиль А–В проходит через места наибольшего скопления землетрясений и имеет протяженность 85 км. Профиль С–D проложен перпендикулярно профилю А–В с целью оценить глубинное распределение гипоцентров в области Хараулахского хребта. На рисунках 6 и 7 представлены проекции гипоцентров на разрезы по профилям А–В и С–D соответственно. Основная часть гипоцентров расположена в интервале глубин от 5 до 15 км. В области Хараулахского хребта, которая отмечалась выше, находится четверть (44 из 166) событий, изображенных на рис. 7, причем все гипоцентры расположены на глубине около 6 км.

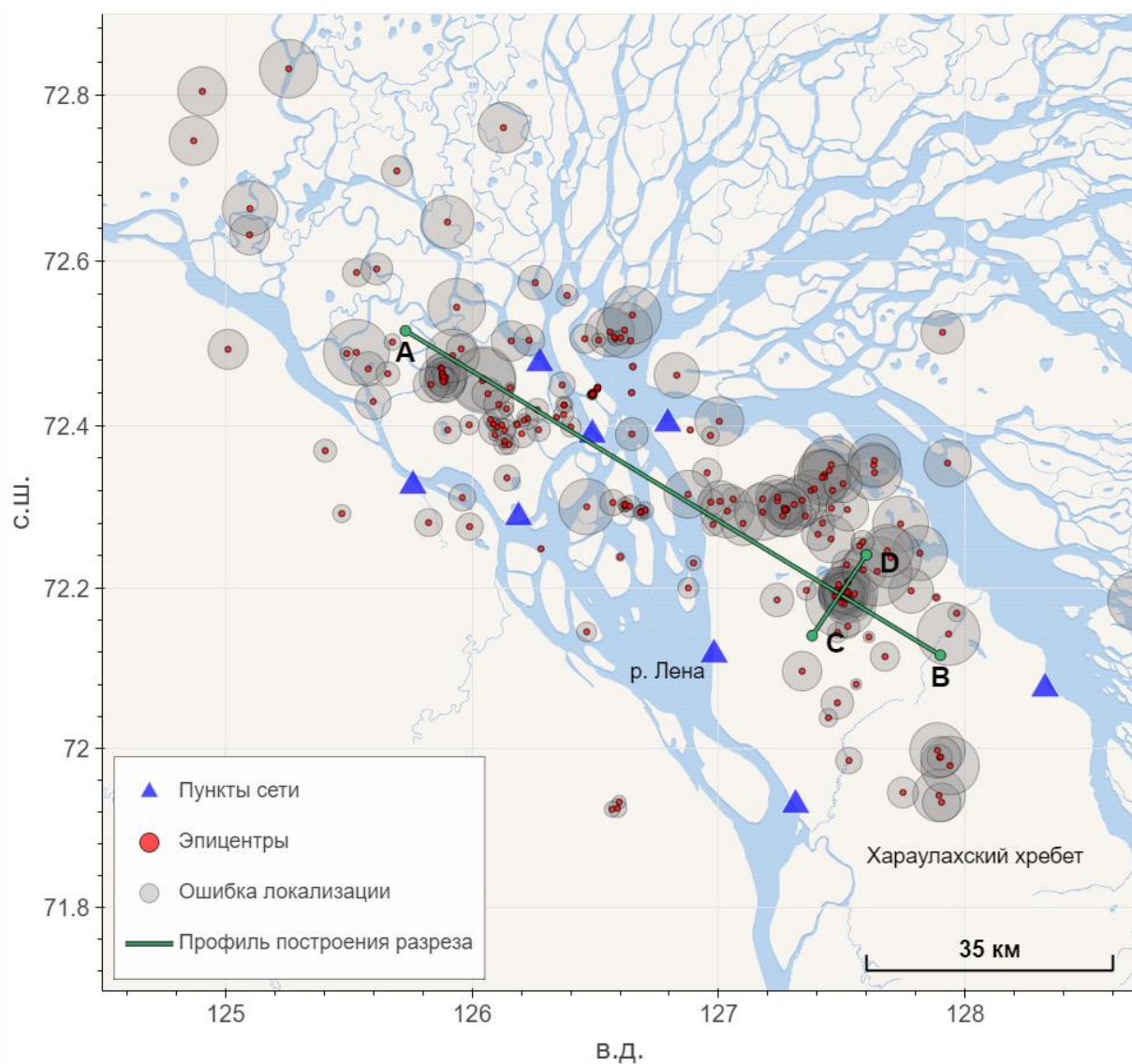


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений за период 2018–2021 гг. с оцененными погрешностями локализации в плане при ошибке не более 5 км. На карту нанесены профили (А–В и С–D).

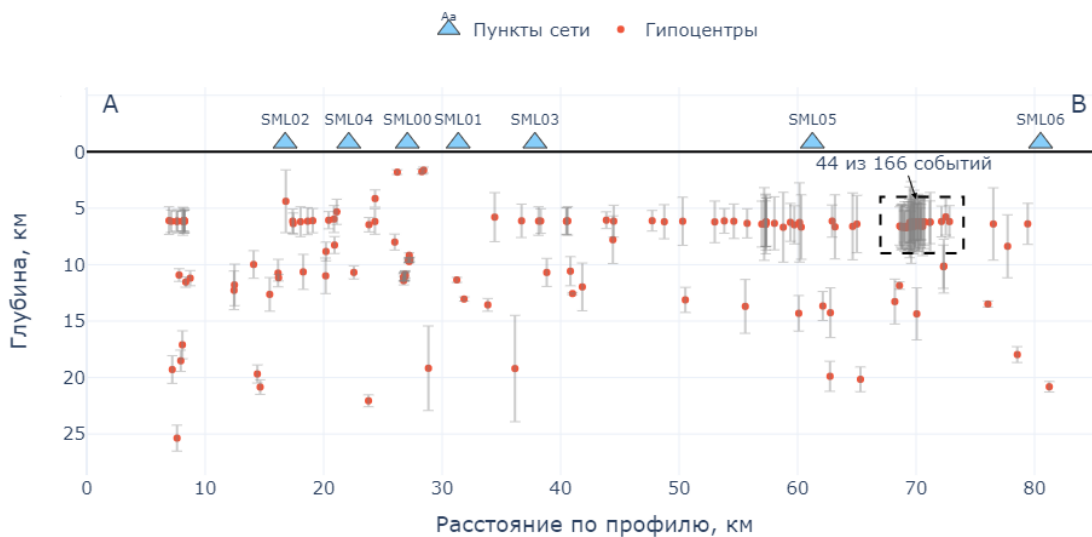


Рис. 6. Разрез распределения гипоцентров по глубине по профилю А–В



Рис. 7. Разрез распределения гипоцентров по глубине по профилю С–D

Гипоцентры, определенные по данным локальной сейсмологической сети, распределены между двумя областями: северной частью Хараулахского хребта и районом острова Курунгнах. Плотностной максимум эпицентров землетрясений тяготеет к зоне Хараулахского хребта, где гипоцентры расположены кучно по глубине и в плане.

СОПОСТАВЛЕНИЕ С ДАННЫМИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ

Некоторые сейсмические события, происходящие в изучаемом регионе, фиксируются глобальными сейсмологическими сетями.

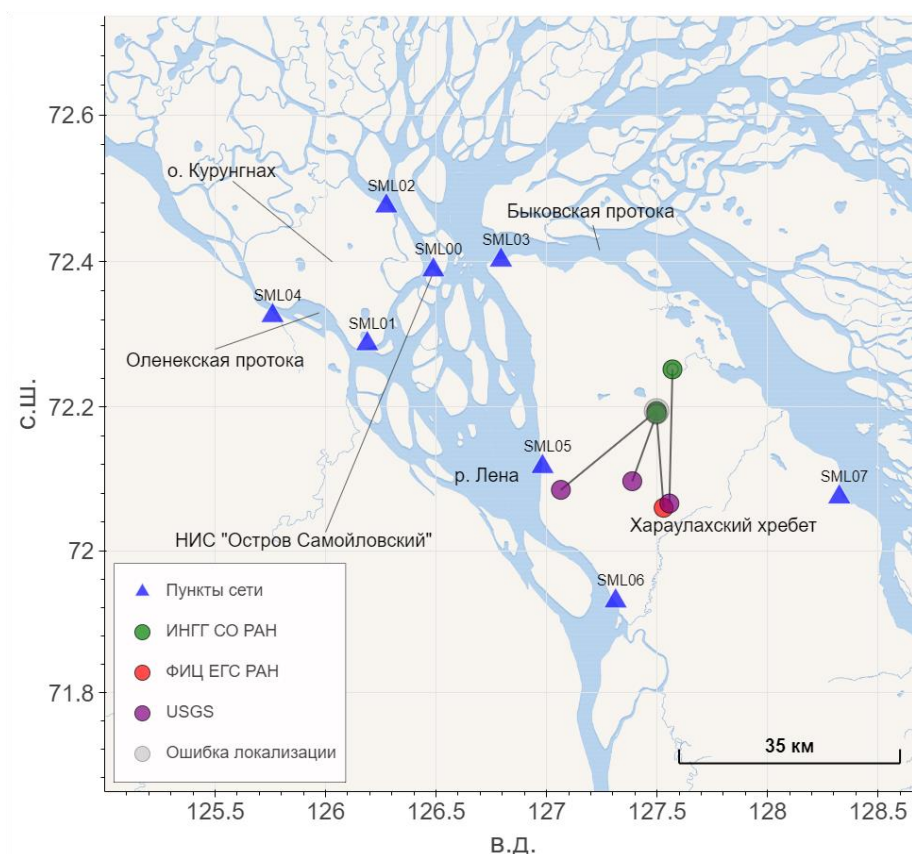


Рис. 8. Карта с эпицентрами, определенными несколькими сейсмологическими сетями за период 2018–2019 гг.

Для сравнения результатов локализации по данным локальной и глобальных сетей были проанализированы сейсмологические каталоги ФИЦ ЕГС РАН и USGS. За 2018–2021 гг. было обнаружено три землетрясения, пересекающихся с каталогом локальной сети. Координаты эпицентров, отвечающие одинаковым событиям, были вынесены на карту (рис. 8) и соединены линиями. Расстояние в плане варьируется от 10 до 20 км, разность глубин достигает 4 км, что говорит о согласованности результатов в целом.

Данные события были детектированы в области, имеющей хорошее азимутальное покрытие пунктами локальной сейсмологической сети. Эпицентры данных землетрясений были локализованы с высокой точностью (погрешность локализации менее 2 км). Ближайший пункт глобальной сейсмологической сети ФИЦ ЕГС РАН находится более чем в 100 км от района, где были зафиксированы данные события. Это дает право полагать, что погрешность локализации эпицентров землетрясений глобальными сетями много больше, чем погрешность локализации локальной сетью.

ГРАФИК ПОВТОРЯЕМОСТИ

По закону Гутенберга–Рихтера были определены представительность сети (1.0) и b -value (0.7). График повторяемости изображен на рис. 9. Полученное значение b -value соответствует естественной активности и характерно для глобальной сейсмичности [Stiller et al., 1984]. Предположительно, в данной области отсутствуют события, индуцированные деятельностью расплавов или антропогенным фактором.

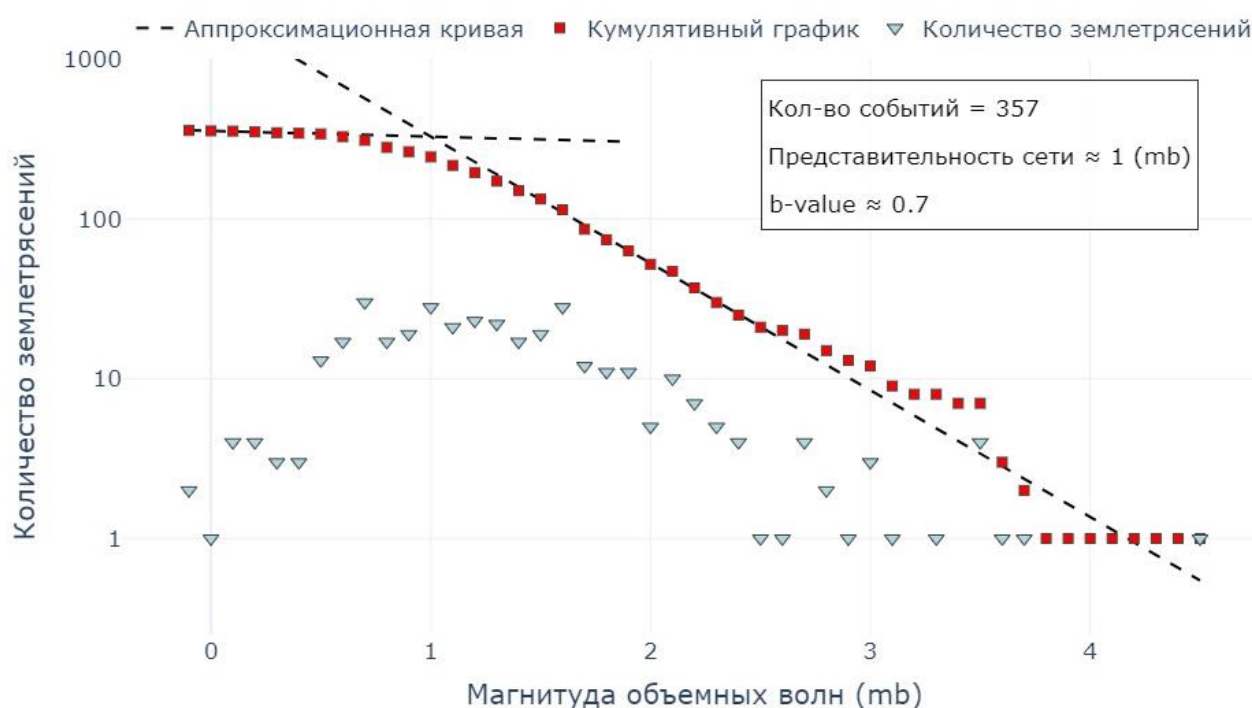


Рис. 9. График повторяемости

ФОКАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Для землетрясений из области Хараулахского хребта, на которых хорошо определялись знаки прихода P -волны на вертикальной компоненте, были построены фокальные механизмы землетрясений

(рис. 10). Полученные результаты дают право полагать, что равновероятны два фокальных механизма очага – сброс и сдвиг.

Неоднозначность в определении фокальных механизмов в данной области можно объяснить неравномерным расположением пунктов сейсмологической сети относительно изучаемой зоны. Дабы решить эту неоднозначность, в полевой сезон летом 2021 г. в северо-восточной части Хараулахского хребта было дополнительно установлено два пункта сети.

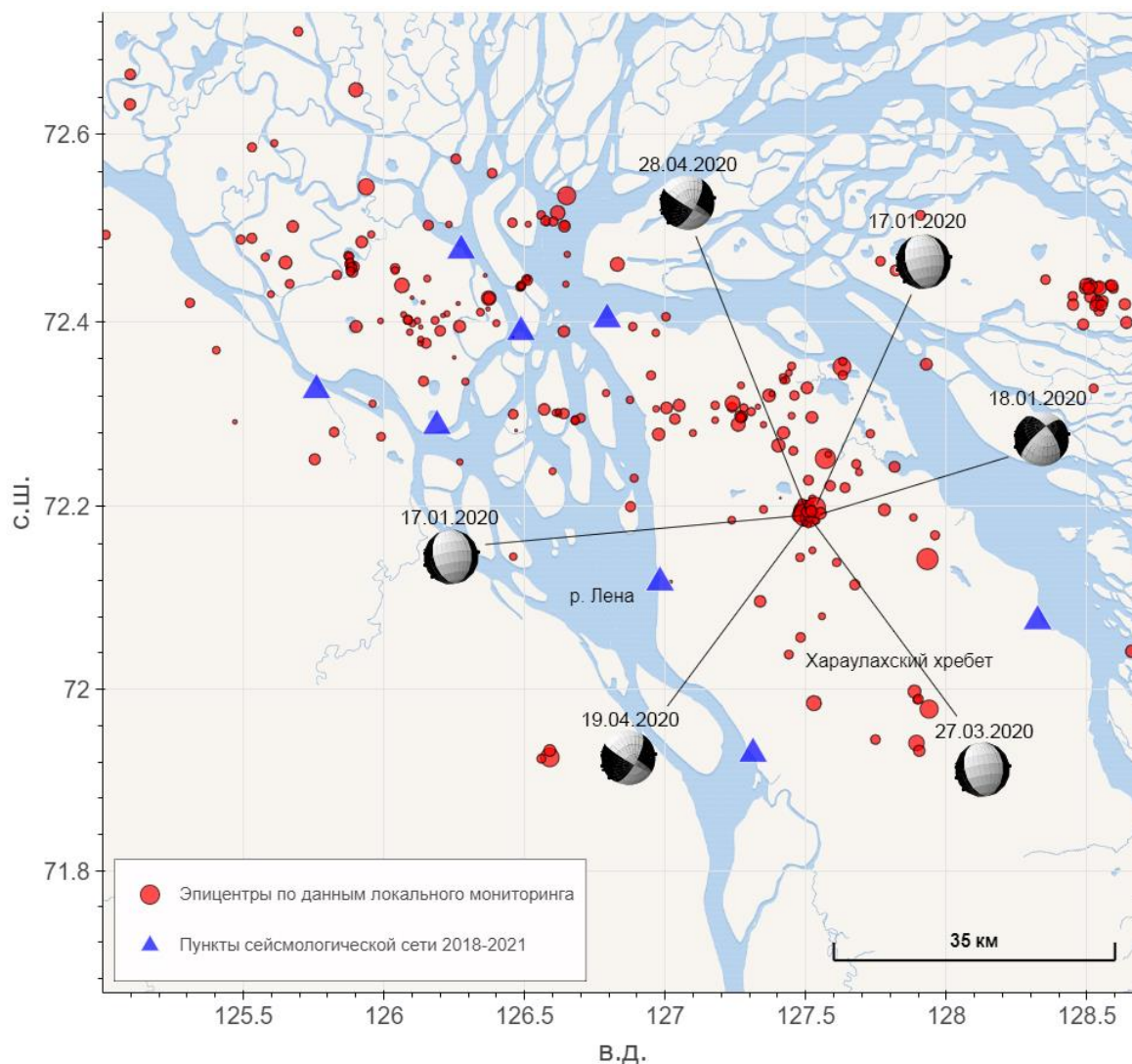


Рис. 10. Карта распределения эпицентров землетрясений за период 2018–2021 гг. с рассчитанными фокальными механизмами

СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Полученные результаты частично совпадают с результатами геологических исследований. На рисунке 11 изображена карта эпицентров землетрясений с погрешностью локализации менее 5 км в плане, а также разломы, выделенные по геологии.

Прослеживается, что скопления эпицентров землетрясений, расположенных по Хараулахскому хребту, тяготеют к Приморскому разлому (обозначен желтым цветом на рис. 11). По данным геологических исследований, он является крутопадающим сбросом (700–750) и простирается вдоль берега Быковской протоки. Полученные для данной области фокальные механизмы, вероятно, также являются сбросами.

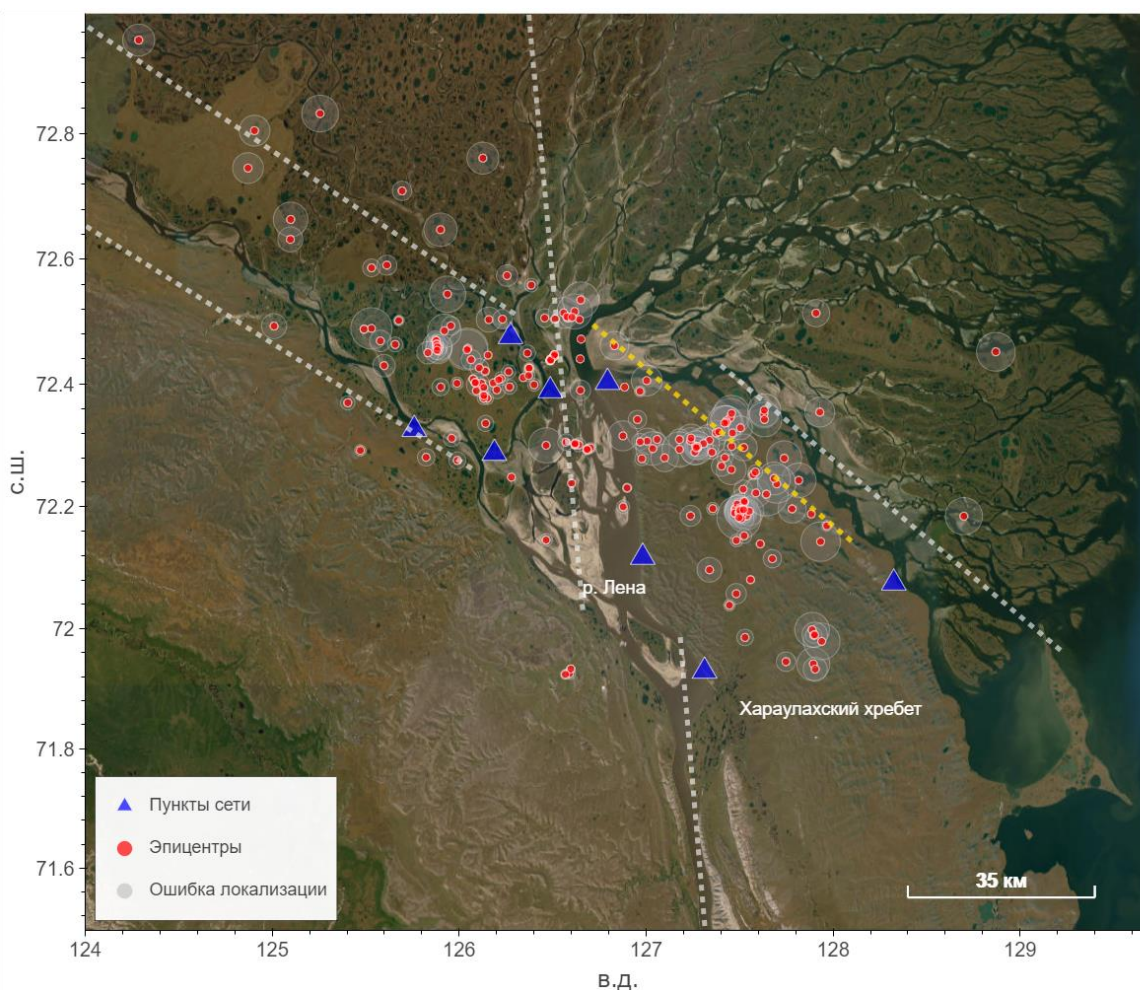


Рис. 11. Карта распределения эпицентров землетрясений за период 2018–2020 гг. с оцененными погрешностями локализации в плане, с нанесенными разломами по данным (Имаева, 2019)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По предварительным результатам сейсмологических исследований в районе дельты р. Лена за 2018–2021 гг. была подтверждена активность Приморского разлома и частично подтверждена его сбросовая динамика. Распределение эпицентров землетрясений в районе дельты р. Лена неравномерно, но и не позволяет разделить структуру на закономерные блоки. Можно выделить две крупные зоны скопления: район острова Курунгнах и северную часть Хараулахского хребта. Предположительно, в исследуемой области отсутствуют события, индуцированные деятельностью расплавов или антропогенным фактором, что сужает область интерпретации сейсмичности в область смещений по активным разломам. Полученные результаты дают право полагать, что в области скопления событий в районе Хараулахского хребта равновероятны два фокальных механизма очага – сброс и сдвиг (для уточнения была изменена конфигурация сети и результаты будут уточнены в будущем).

Для подтверждения результатов исследования будут продолжены – локализация большего количества источников землетрясений, определение скоростной модели региона.

ЛИТЕРАТУРА

Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. – 2013. – № 54 (8). – С. 1083–1107.

Гайсслер В.Х., Баранов Б.В., Шibaев С.В., Хаберланд К., Цуканов Н.В., Дозорова К.А. Российско-германский проект «Сейсмичность и неотектоника Лаптевоморского региона» // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С. 102–106.

Грачев А.Ф., Деменицкая Р.М., Карасик А.М. Проблемы связи Момского континентального рифта со структурой срединно-океанического хребта Гаккеля // Геофизические методы разведки в Арктике. – Л.: НИИГА, 1973. – Вып. 8. – С. 56–75.

Дергач П.А., Епонешникова Л.Ю., Понасенко С.Н., Картозия А.А., Гайслер В.Х., Дучков А.А., Шibaев С.В., Зобнин Г.Ю. Построение сейсмотомографической модели района научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» по данным локального сейсмологического мониторинга за 2019–2021 гг. // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – № 13 (2). – 0627, doi: 10.5800/GT-2022-13-2s-0627.

Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – № 46 (7). – С. 1014–1031.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Овсюченко А.Н., Колодезников И.И. Неотектоника Хараулахского сектора прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых // Геология и геофизика. – 2018. – № 59 (7). – С. 1014–1031.

Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С. Динамика рельефа и сейсмотектоническая активизация новейших структур дельты р. Лена // Геотектоника. – 2019. – № 5. – С. 62–77.

Stiller H., Hurtig E., Franck S. Some problems of complex interpretation of geophysical fields in Europe // International Geological Congress. – 1984. – Vol. 27.

REFERENCES

Dergach P.A., Eponeshnikova L.Y., Ponasenko S.N., Kartoziya A.A., Gaisler V.K., Duchkov A.A., Shibaev S.V., Zobnin G.Y. Building a seismic tomographic model for the area of the Samoilovsky Island research station based on local seismological monitoring data for 2019–2021 // Geodynamics and Tectonophysics. – 2022. – Vol. 13 (2). – Article 0627, doi: 10.5800/GT-2022-13-2s-0627.

Droznin D.V., Droznina S.Ya. Interactive DIMAS program for processing seismic signal // Seismic Instruments. – 2011. – Vol. 47 (3). – P. 215–224, doi: 10.3103/S0747923911030054.

Geissler V.K., Baranov B.V., Shibaev S.V., Haberland K., Tsukanov N.V., Dozorova K.A. Russian-German project "Seismicity and neotectonics of the Laptev Sea region" // Vestnik KRAUNTS. Series: Earth Sciences. – 2018. – Vol. 1. – P. 102–106.

Grachev A.F., Demenitskaya R.M., Karasik A.M. Problems of connection between the Mомsky continental rift and the structure of the Gakkel mid-ocean ridge // Geophysical methods of exploration in the Arctic. – NIIGA, Leningrad, 1973. – Vol. 8. – P. 56–75.

Imaev V.S., Imaeva L.P., Smekalin O.P., Chipizubov A.V., Ovsyuchenko A.N., Kolodeznikov I.I. Neotectonics of the Kharaulakh sector of the Laptev Sea // Russian Geology and Geophysics. – 2018. – Vol. 59 (7). – P. 813–826, doi: 10.1016/j.rgg.2018.07.007.

Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S. Relief dynamics and seismotectonic activation of the newest structures in the delta of the river Lena // Geotectonics. – 2019. – Vol. 5. – P. 62–77.

Stiller H., Hurtig E., Franck S. Some problems of complex interpretation of geophysical fields in Europe // International Geological Congress. – 1984. – Vol. 27.

Vernikovskiy V.A., Dobretsov N.L., Metelkin D.V., Matushkin N.Yu., Kulakov I.Yu. Concerning tectonics and the tectonic evolution of the Arctic // Russian Geology and Geophysics. – 2013. – Vol. 54 (8). – P. 838–858, doi: 10.1016/j.rgg.2013.07.006.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

ПОНАСЕНКО Святослав Николаевич – инженер научно-образовательного центра «Газпромнефть-НГУ». Основные научные интересы: сейсмология, морская сейсморазведка, скважинная термометрия.

ДЕРГАЧ Петр Александрович – научный сотрудник лабораторией динамических проблем сейсмики Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: малоглубинная сейсморазведка.

ЯСКЕВИЧ Сергей Владимирович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмики Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: анизотропия, анализ данных микросейсмического мониторинга, сейсмология.

ДУЧКОВ Антон Альбертович – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией динамических проблем сейсмики Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: сейсморазведка, геотермия.

*Статья поступила в редакцию 30 сентября 2022 г.,
принята к публикации 7 ноября 2022 г.*