

— ГЕОЛОГИЯ —

УДК 550.34
DOI 10.25587/SVFU.2021.24.4.009

A.S. Куляндина¹

Якутский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, г. Якутск, Россия

**МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ
ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА АЛДАНСКОГО ПЛАТО
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НИМНЫРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Аннотация. В 2019 году сеть наблюдения Якутского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы Российской академии наук (ЯФ ФИЦ ЕГС РАН) стала полностью цифровой, а каталоги землетрясений получили высокую представительность за счет плотности сети (особенно на юге Якутии). Улучшение регистрационных возможностей определяет перспективы для мониторинга сейсмической опасности в реальном времени.

Исследование землетрясений, главным образом, направлено на обеспечение безопасности жизнедеятельности человека. С развитием современной цивилизации и технической оснащенности явления природы несут возрастающую угрозу для человека. Также землетрясения, даже не очень сильные, способны вызвать техногенные катастрофы.

Целью работы является оценка макросейсмического эффекта Нимнырского землетрясения в баллах шкалы MSK-64, которое зафиксировано 18 января 2021 года на Алданском нагорье в Южной Якутии. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: обследование населенных пунктов, опрос жителей, построение карты изосейст и моделирование рельефа местности.

В данной работе приведены данные макросейсмического обследования в эпицентральной зоне землетрясения. Полученные данные представляют собой первичный фактический материал, собранный по «свежим следам» и дающий представление об интенсивности сотрясений в дальней и ближней зонах и точном местоположении очага землетрясения. Обследование населенных пунктов и опрос жителей позволили оценить макросейсмический эффект в баллах шкалы MSK-64. Построена карта изосейст сейсмического события. Представлены некоторые материалы обработки данных ДЗЗ для построения цифровой модели местности.

Построенная цифровая модель дает возможность отслеживать последствия подземных толчков, приводящих к отрицательным и положительным формам рельефа, которые могут иметь большую высоту и крутизну.

Ключевые слова: Нимнырское землетрясение, энергетический класс, интенсивность, очаг землетрясения, эпицентр, сейсмотектонические границы, балл, макросейсмическое обследование, интерполяция, цифровая модель местности.

A.S. Kulyandina

Yakutsk Branch of the FRC “Unified Geophysical Service” RAS, Yakutsk, Russia

**MACROSEISMIC SURVEY AND CONSTRUCTION OF A DIGITAL
ELEVATION MODEL OF THE ALDAN PLATEAU TO STUDY
THE NIMNYR EARTHQUAKE**

Abstract. In 2019, the observation network of the Yakutsk branch of the Federal Research Center of the Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences (YB FRC EGS RAS) became completely digital, and earthquake catalogs became highly representative due to the network density (especially in south Yakutia). The improved registration capabilities define the prospects for real-time seismic hazard monitoring.

КУЛЯНДИНА Альбина Семеновна – ведущий инженер-геофизик, Якутский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН. E-mail: albineku@gmail.com

KULYANDINA Albina Semenovna – Leading Geophysical Engineer, Yakutsk Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service”, Russian Academy of Sciences. E-mail: albineku@gmail.com

Research on earthquakes is mainly aimed at ensuring the safety of human life. With the development of modern civilization and technical equipment, natural phenomena pose an increasing threat to humans. In addition, earthquakes, even not very strong ones, can cause man-made disasters.

The aim of this work was to assess the macroseismic effect of the Nimnyr earthquake in MSK-64 scale points, which was recorded on January 18, 2021 in the Aldan Highlands in South Yakutia. To achieve this goal, the following tasks were formulated: survey of settlements, survey of residents, construction of isoseist maps, and modeling of the terrain.

This paper presents the data of macroseismic survey in the epicentral zone of the earthquake. The data obtained represent the primary factual material collected on the basis of “fresh traces” and gives an idea of the intensity of shaking in the far and near zones and the exact location of the earthquake source. A survey of settlements and a survey of residents made it possible to assess the macroseismic effect in points of the MSK-64 scale. An isoseismic map of the seismic event was constructed. Some materials of remote sensing data processing for building a digital terrain model are presented.

The constructed digital model will make it possible to track the consequences of tremors, leading to negative and positive landforms, which can be of great height and steepness.

Keywords: Nimnyr earthquake, energy class, intensity, earthquake source, epicenter, seismotectonic boundaries, score, macroseismic survey, interpolation, digital terrain model.

Введение

Самое сильное землетрясение в 2021 году в Якутии произошло на Алданском нагорье в Южной Якутии 18 января 2021 г. в 18^h46^m 13^s по Гринвичскому времени (около 4 ч. утра по местному времени). Сейсмическое событие было зафиксирована инструментальной сетью наблюдения Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Координаты эпицентра составили 58.07° сев. широты и 126.25° вост. долготы. Очаг землетрясения располагался на глубине $h=10$ км. Энергетический класс соответствовал $K_p=12.8$, магнитуда $MS=4.1$, а интенсивность в эпицентре составила $I_0=5-6$ баллов по шкале MSK-64.

Землетрясение получило название Нимнырского, т.к. эпицентр располагался в болотистой ненаселенной местности в верховьях ручья Бол. Нимныр, правого притока р. Алдан к юго-востоку от Томмотской гряды. Несмотря на ночное время, когда всё население спало, удалось собрать макросеймические данные из 9-ти населенных пунктов, расположенных вдоль и вблизи Федеральной автодороги «Лена». С силой от 2 до 5 баллов оно ощущалось на площади более 12 тыс. км².

В дополнение к макросеймическим данным для более детального описания местности необходимо построение цифровой модели рельефа местности, что позволит предоставить гипотетические сведения об участке поверхности, его геопространственных координатах, характеристиках и возможных реакциях на то или иное воздействие.

Методы исследования

В первые дни после события было организовано детальное макросеймическое обследование массового характера [1]. Обследование проведено методом прямого опроса жителей по специально разработанному маршруту, достаточно равномерно охватывающим ближайшую территорию от очага землетрясения.

В ближайшем посёлке **Бол. Нимныр** (50 км к западу от эпицентра) толчок ощущался с интенсивностью в 5 баллов. Был слышен такой мощный гул, что спросонья, казалось, завывает сильный ветер, потрясывает и как бы сносит дом. Проснулось всё население посёлка, особенно отчётливоibriрующие колебания почувствовали пожилые люди. Многие испугались, вскакивали с кроватей. Другие не понимали, что происходит и думали, что это пускают фейерверки. Сильно тряслись деревянные и каменные дома, скрипели полы и потолки. На тумбе шевелился телевизор. Повсеместно слышался продолжительный вой собак.

4-балльные эффекты проявились в г. **Алдане** и пос. **Ленинский** в 80 км к северо-западу от эпицентра. В Алдане сильнее всего воздействие землетрясения наблюдалось в микрорайоне «Солнечный» и близких к нему деревянных жилых домах. Многие жители проснулись и слышали сильный гул, похожий на гром. Дрожали стены домов, тряслось мебель: диван, столы, стулья. Открывались и прикрывались двери в комнатах. Дребезжали предметы на столе и комоде. Беспокойно вели себя домашние животные.

С силой в 3–4 балла это событие проявилось в 2–х населённых пунктах: **Ыллымах** и **Бол. Хатыми** (57–112 км к северу и югу от эпицентра). Проснулись отдельные очевидцы, которые отметили отдалённый гул. Слегка дрожали стены и мебель. Слышался лай собак.

Ещё слабее этот подземный толчок с сотрясениями в 3 балла почувствовали жители в г. **Томмоте**, селе **Хатыстырь** и пос. **Чульман**. Проснулись лишь некоторые спящие. Отмечено колебания жилых строений, легкий звуковой шелест. Лучше всего данное событие выявились на верхних 4–5-х этажах каменных домов.

И наконец, самый далекий от эпицентра крупный жилой массив, где бодрствующие жители заметили отзвуки этого землетрясения, является гор. **Нерюнгри**, отстоящий к югу от места события на расстоянии 185 км. Наблюдались слабые волнобразные колебания на самых верхних этажах многоэтажных зданий, скрипы стен, перекрытий и др.

Перечень населенных пунктов с указанием макросейсмической интенсивности в них, а также расстояний до эпицентра Нимнырского землетрясения и географические координаты приведены в таблице.

Таблица – Макросейсмические сведения Нимнырского землетрясения 18 января 2021 г. в 18^h46^m13^s
58.07N 126.25E h=10 км, K_p=12.8, MS=4.1, I₀^p=5–6 баллов

№	Пункт	D, км	j°, N	l°, E
1	4–5 баллов Бол. Нимныр 4 балла	50	58.04	125.48
2	Алдан	80	58.60	125.37
3	Ленинский 3–4 балла	80	58.58	125.44
4	Ыллымах	57	58.57	126.70
5	Бол. Хатыми	112	57.38	124.90
	3 балла			
6	Томмот	97	58.97	126.27
7	Хатыстырь	113	58.	125.
8	Чульман	163	56.85	124.90
	2–3 балла			
9	Нерюнгри	185	56.67	124.65

По результатам макросейсмического исследования была построена карта изосейст Нимнырского землетрясения 18 января 2021 г. (рис. 1).

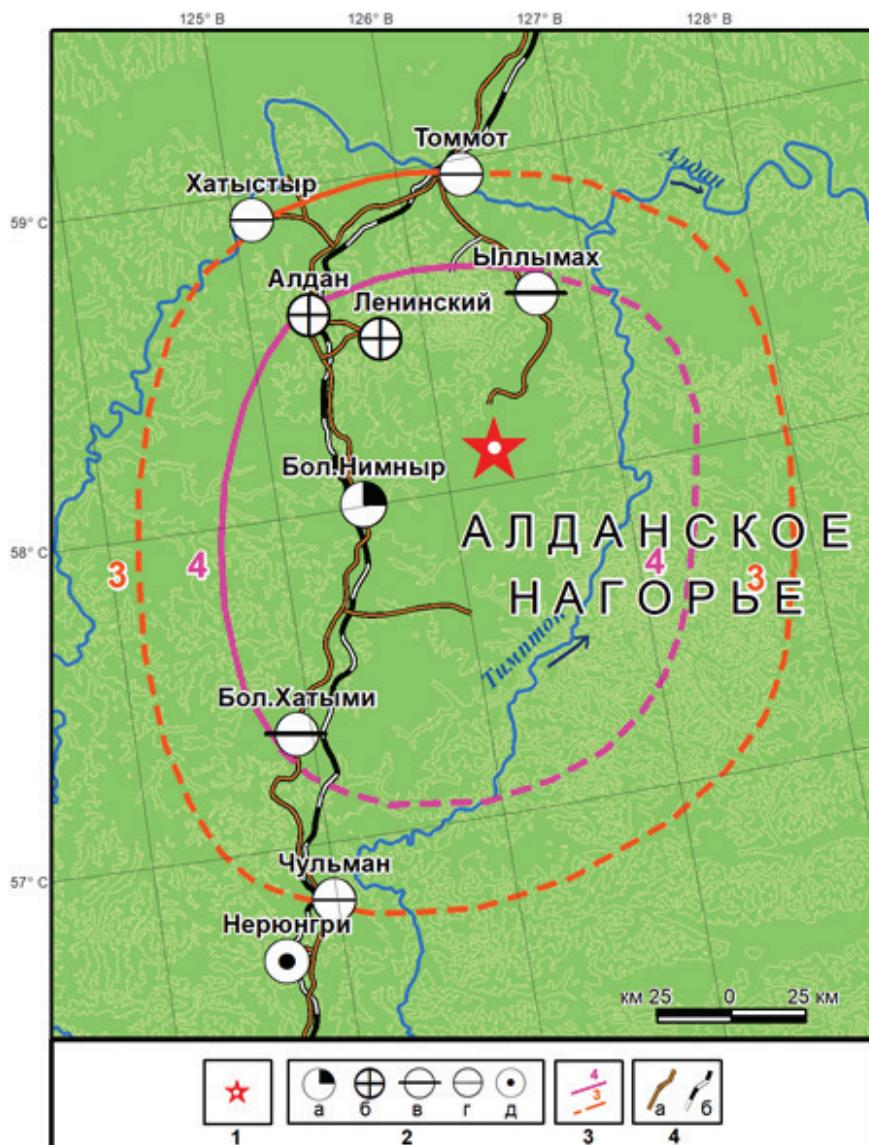


Рисунок 1 – Карта изосейст Нимнырского землетрясения 18 января 2021 г.

Масштаб 1:2 500 000.

1 – эпицентр толчка; 2- интенсивность сотрясений в баллах: 1- а-5, б-4, в – 3-4, г-3; 3 – уверенные и неуверенные проведение изолиний (изосейст); 4а – автодорога «Лена», 4б – железная дорога

Изучение исторических материалов, а также современные данные говорят о том, что в данной территории подобные землетрясения магнитудой 4,5 происходят нечасто. Проведенное обследование даст определенный толчок в дальнейшем исследовании установления тектонической природы проявлений местных землетрясений и связи с современными геодинамическими процессами.

Построение цифровой модели рельефа

Построение цифровой модели рельефа необходимо для детального изучения местности. Она позволяет наилучшим образом описывать реальную местность, объекты окружающего мира и их взаимное расположение.

Для создания рельефа местности на основе открытых данных ДЗЗ использована программа Google Earth Pro. На изучаемую территорию была нанесена сеть из дискретного множества точек, которая содержит координатные и высотные данные (рис. 2).

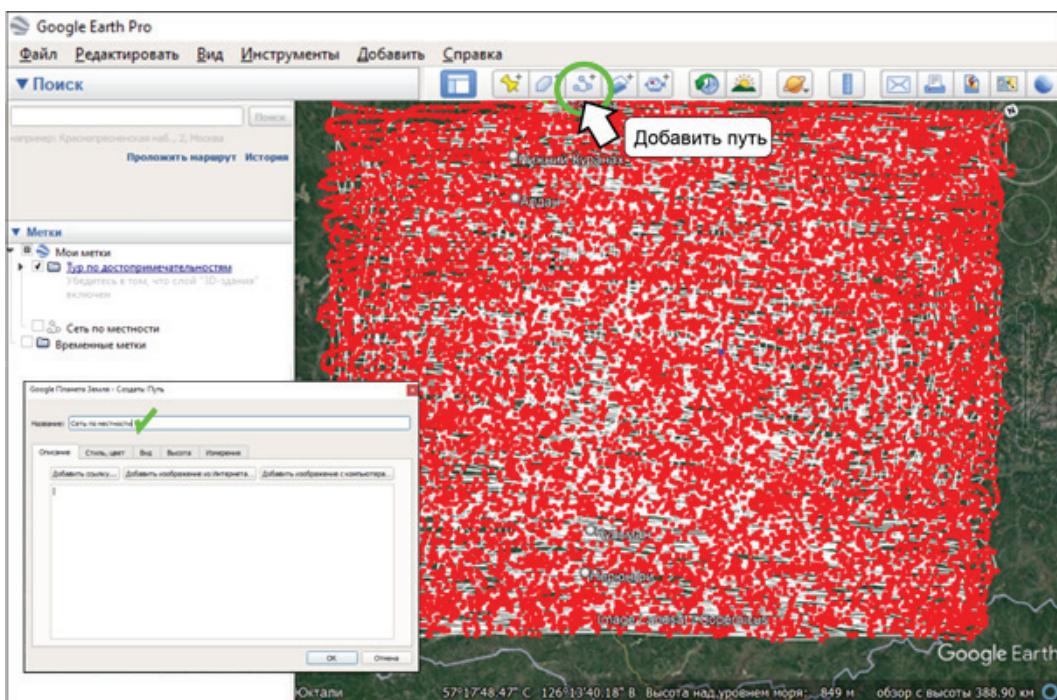


Рисунок 2 – Программа GoogleEarthPro. Снимки сделаны со спутника Landsat-7, с точностью до 1:25000, камерой ETM+, разрешение на местности – 15 м.

Данные, полученные в результате обработки, дистанционного зондирования были загружены в приложение ArcMap (пакет программ ArcGIS). Для расчета цифровой модели рельефа проведена интерполяция по методу обратно взвешенных расстояний (ОВР), на основании имеющихся значений высот. Через точки с равнозначными значениями проведены изолинии высот (рис. 3).

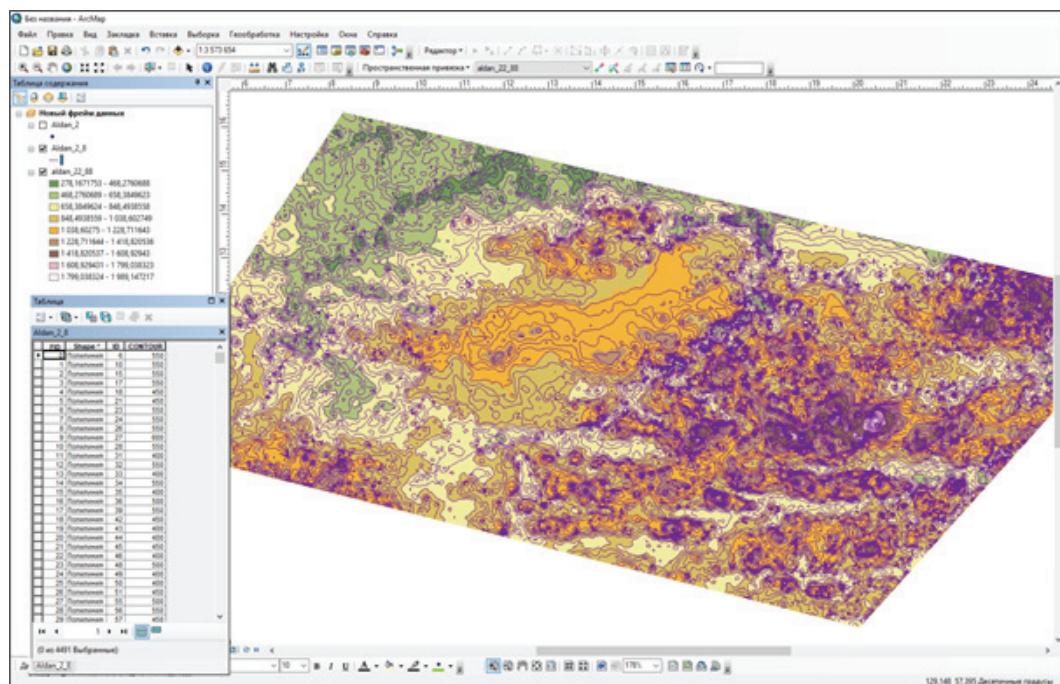


Рисунок 3 – Интерполяция методом обратно взвешенных расстояний в приложении ArcMap (пакет программ ArcGIS)

Полученные слои экспортированы в приложение ArcScene в пакете программ ArcGIS. ArcScene является приложением 3D визуализации, которое позволяет просматривать ГИС данные в трехмерном изображении. Для представление цифровой модели рельефа выбрана цветовая шкала, близкая по гамме к гипсометрической. На цифровую модель местности добавлены векторные слои рек, населенных пунктов, дорог и эпицентра землетрясения (рис. 4).

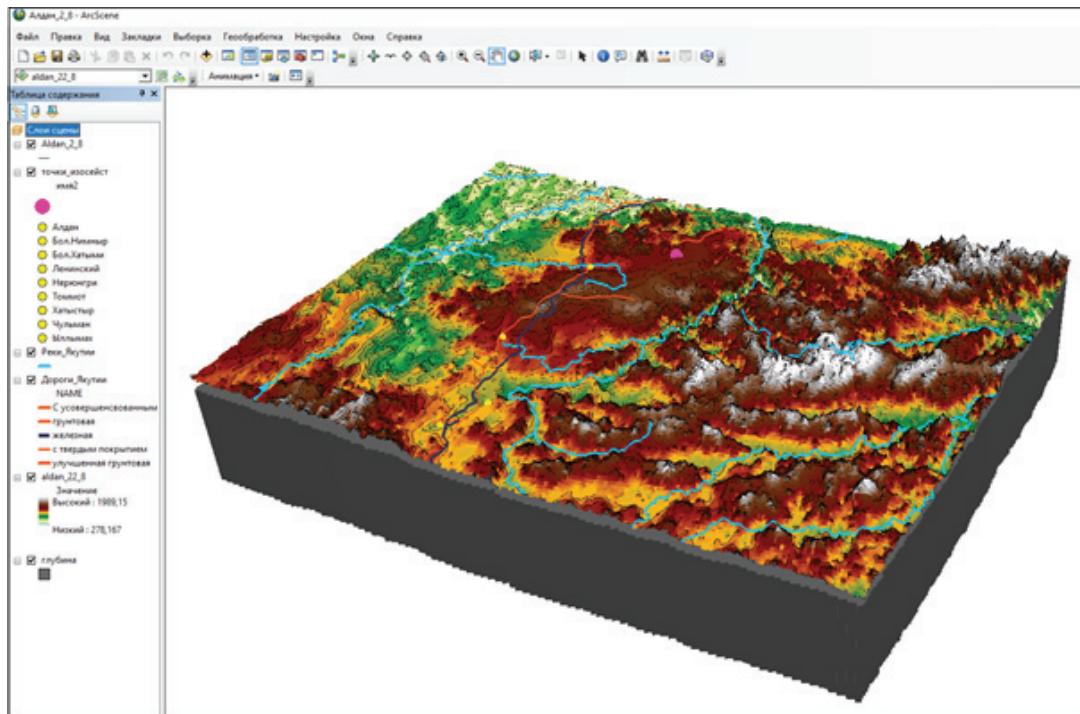


Рисунок 4 – Трехмерная цифровая модель местности Алданского нагорья в приложении ArcScene (пакет программ ArcGIS)

Подобно другим эндогенным факторам, землетрясения имеют заметное рельефообразующее значение. Геоморфологическая роль землетрясений выражается в образовании трещин, в смещении блоков земной коры по трещинам в вертикальном и горизонтальном направлениях, иногда в складчатых деформациях. С помощью построенной модели рельефа будет проводиться мониторинг последствий землетрясений. Также результаты исследований могут быть использованы для разработки аналитических систем по прогнозу сейсмической опасности на юге Якутии.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что такие подземные удары, подобные Нимнырскому землетрясению, происходят на Алданском нагорье нечасто, и возникают вдали, отстоящей более чем на 250–300 км от главной сейсмотектонической границы литосферных Евразийской и Амурской плит, взаимодействующих между собой в Южной Якутии [2–5].

Несмотря на то, что анализ зон видимости можно проводить и в традиционной двумерной среде, более наглядно результат выглядит в трехмерной сцене. В дальнейшем планируется наложить на цифровую модель местности, выявленные приповерхностные тектонические разломы и работать в направлении мониторинга локальных геодинамических процессов. Можно сказать, что к природной катастрофе приводит длительное течение или резкое изменение природного процесса, которое способно вызвать, в конечном счете, аномальное, скачкообразное изменение природной среды, сопровождающееся значительными разрушениями. Поэтому есть необходимость повышенного внимания к сейсмической безопасности, так как даже слабые землетрясения могут спровоцировать крупные разрушения, при сильных же землетрясениях ударные воз-

действия на сооружения могут стать критическими даже на расстоянии десятков километров от эпицентра. В свою очередь, полученный в результате исследования материал дает основу для дальнейших исследований в области выявления степени техногенного и антропогенного влияния на естественную сейсмичность.

Литература

1. Дмитриева И.Ю., Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Макросейсмические и инструментальные исследования Верхне-Фиагдонского землетрясения 26 января 2020 года – Владикавказ: Геология и геофизика юга России, 2020. – 123 с.
2. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. – Санкт-Петербург: ВНИИокеанология, 1996. – 185 с.
3. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. и др. Сейсмотектоника и сейсмические процессы внутриконтинентальных орогенов Северо-Востока Азии. Проблемы сейсмологии III тысячелетия. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2003. – С. 40–45.
4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. – М.: Геос, 2000. – 227 с.
5. Мокшанцев К.Б., Гусев Г.С., Петров А.Ф. и др. Разломная тектоника территории Якутской АССР. – Якутск: изд-во ЯФ СО АН СССР, 1976. – 171 с.
6. Козьмин Б.М., Петров А.Ф., Тимиршин К.В., Шибаев С.В. Сейсмический мониторинг и прогноз землетрясений в Республике Саха (Якутия). Проблемы сейсмологии III тысячелетия. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2003. – С. 37–40.

References

1. Dmitrieva I.Ju., Sajapina A.A., Bagaeva S.S., Gorozhancev S.V. Makrosejsmicheskie i instrumental'nye issledovaniya Verhne-Fiagdonskogo zemletrjasenija 26 janvarja 2020 goda – Vladikavkaz: Geologija i geofizika juga Rossii, 2020. – 123 s.
2. Avetisov G.P. Sejsmoaktivnye zony Arktiki. – Sankt-Peterburg: VNIIokeanologija, 1996. – 185 s.
3. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. i dr. Sejsmotektonika i sejsmicheskie processy vnutrikontinental'nyh orogenov Severo-Vostoka Azii. Problemy sejsmologii III tysjacheletija. – Novosibirsk: izd-vo SO RAN, 2003. – S. 40–45.
4. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Sejsmotektonika Jakutii. – M.: Geos, 2000. – 227 s.
5. Mokshancev K.B., Gusev G.S., Petrov A.F. i dr. Razlomnaja tektonika territorii Jakutskoj ASSR. – Jakutsk: izd-vo JaF SO AN SSSR, 1976. – 171 s.
6. Koz'min B.M., Petrov A.F., Timirshin K.V., Shibaev S.V. Sejsmicheskij monitoring i prognoz zemletrjasenij v Respublike Saha (Jakutija). Problemy sejsmologii III tysjacheletija. – Novosibirsk: izd-vo SO RAN, 2003. – S. 37–40.