

CONTENTS

Volume 58, No. 1, 2022

Seismicity of the White Sea region <i>A.N. Morozov, N.V. Vaganova, V.E. Asming, A.S. Baluev, S.V. Asming</i>	5
Improvements in the high-precision tiltmeter instrument systems located in the underground geophysical observatory <i>V.V. Gravurov, A.V. Desherevskii, Y.O. Kuzmin, D.V. Likhodeev, A.L. Sobisevich, I.A. Shirokov</i>	29
Changes in fracture and intergranular porosity in rock fracture preparation <i>V.S. Zhukov, Yu.O. Kuzmin, S.A. Tikhotsky, N.A. Egorov, I.V. Fokin</i>	53
Unification of magnitudes of Eurasian Arctic modern earthquakes <i>A.N. Morozov, N.V. Vaganova, Ya.A. Mikhailova, I.V. Starkov</i>	67

ISSN: 0131-6230, eISSN: 2312-6965, <https://doi.org/10.21455/si>,

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=25597

English translation: *Seismic Instruments*, ISSN: 0747-9239 (Print) 1934-7871 (Online),

<https://link.springer.com/journal/11990>

Сейсмические приборы. 2022. Т. 58, № 1. С.5–28. <https://doi.org/10.21455/si2022.1-1>

The metadata in English is presented at the end of the article!

УДК 550.34

Сейсмичность Беломорского региона

© 2022 г. А.Н. Морозов^{1,2}, Н.В. Ваганова², В.Э. Асминг³,
А.С. Балув⁴, С.В. Асминг³

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова
Уральского отделения РАН, г. Архангельск, Россия

³ Кольский филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба РАН",
г. Апатиты, Россия

⁴ Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Автор для переписки: А.Н. Морозов, e-mail: morozovalexey@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.12.2021 г.; после доработки 24.01.2022 г.

Принята к публикации 25.01.2022 г.

Аннотация. Приведена история инструментальных наблюдений на северо-западе Восточно-Европейской платформы и сейсмологической изученности Беломорского региона. Представлена характеристика современной сейсмичности Беломорского региона и подробно рассмотрено самое сильное для этого региона землетрясение за последние десятилетия, произошедшее 5 ноября 2019 г., которое по некоторым признакам можно отнести к уникальным для него. Эпицентр землетрясения располагался в районе межвпадинной перемычки, разделяющей современные Кандакшский и Колвицкий грабены. Вычисленный фокальный механизм очага показывает сбросовый характер движения блока по разлому, что соответствует современному растяжению земной коры и продолжающемуся развитию Колвицкого грабена.

Ключевые слова: Беломорский регион, землетрясение, уточнение параметров очага, фокальный механизм, инструментальные наблюдения, Колвицкий грабен

Цитируйте эту статью как: Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Балув А.С., Асминг С.В. Сейсмичность Беломорского региона // *Сейсмические приборы*. 2022. Т. 58, № 1. С.5–28. <https://doi.org/10.21455/si2022.1-1>

Введение

Территория севера Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в силу исторических, а затем и экономических причин не была обеспечена систематическими и целенаправленными наблюдениями за сейсмическими процессами. Долгое время ВЕП не являлась первоочередным объектом сейсмического мониторинга, проводимого в СССР, а позднее в Российской Федерации, поскольку преобладали представления об асейсмичности платформенных территорий [Старовойт, 2005; Маловичко и др., 2007].

При этом Беломорский регион, включающий в себя акваторию Белого моря и окружающую территорию, принадлежит к наиболее раздробленным, подвижным и активным районам в пределах всей ВЕП. Отчетливые следы палеоземлетрясений встречены во всех основных частях Беломорского региона – в Кандакшском, Двинском и Онежском заливах, а также в районе Горла Белого моря [Никонов, Шварев, 2013]. Данные за исторический и инструментальный периоды наблюдений указывают на повышенную сейсмическую активность западной части региона, особенно в районе

Кандалакшского грабена – главной активной структуры Белого моря [Никонов, 2004; Ассиновская, 2004].

Высокий уровень урбанизации, наличие ответственных и экологически опасных объектов, крупных промышленных центров, интенсивное развитие атомной, химической и добывающих отраслей промышленности вызвали необходимость более внимательно отслеживать любые проявления сейсмических процессов на платформенных территориях. С середины 1990-х годов при активном содействии Федерального исследовательского Центра “Единая геофизическая служба РАН” (ФИЦ ЕГС РАН) на территории ВЕП стали развиваться региональные сейсмические сети для инструментального наблюдения за динамикой тектонических, техногенных и геоэкологических процессов [Старовойт, 2005]. У исследователей появилась возможность оценить проявления современной сейсмичности ВЕП и использовать эти данные для последующих геолого-тектонических и геодинамических построений, а также для более обоснованного установления уровня сейсмичности различных регионов [Щукин, 2007].

В данной статье приведена краткая история инструментальных наблюдений на северо-западе Восточно-Европейской платформы и сейсмологической изученности Беломорского региона. Представлена характеристика современной сейсмичности Беломорского региона с подробным рассмотрением землетрясения, произошедшего 5 ноября 2019 г. в 17:31 на севере Кандалакшского залива, в 25 км западнее посёлка Умба (Мурманская обл.). Это событие по некоторым признакам можно охарактеризовать как уникальное для региона.

Развитие инструментальных наблюдений

25 января 1900 г. при Российской Академии наук была учреждена Постоянная Центральная сейсмическая комиссия (ПЦСК). В результате деятельности ПЦСК в 1908 г. в Российской империи работало 18 сейсмических станций. Ближайшими к Беломорскому региону были станции “Юрьев” (ТТУ), функционировавшая на территории астрономической обсерватории Юрьевского (ныне Тартуского) университета с 1901 г. (по другим источникам с 1898 г.) до 1912 г., и “Пулково” (PUL), функционировавшая на территории Пулковской обсерватории с 1906 г. [Кирнос и др., 1961].

В скандинавских странах в этот период функционировали сейсмические станции при разных обсерваториях и университетах: в Норвегии – “Bergen” (BER) с 1904 г., в Швеции – “Uppsala” (UPP) с 1904 г. и “Vassijaurec” с 1906 г., которая впоследствии, в 1915 г., была перенесена на территорию Научно-исследовательской станции Abisco [Kulhánek, 1988]. В Финляндии с 1924 г. начала функционировать первая сейсмическая станция “Helsinki” (HEL), оборудованная слабочувствительными механическим сейсмографами Mainka [Luosto, Hyvonen, 2001] (рис. 1).

Однако удаленность сейсмических станций, малое их количество и невысокое затухание колебаний маятников до установки сейсмографов Б.Б. Голицына и Й.Е. Вихерта (J.E. Wiechert) не позволили инструментальным наблюдениям сыграть в этот период существенную роль в изучении сейсмичности северо-запада России и Беломорского региона в частности. Сейсмические станции могли регистрировать только наиболее сильные землетрясения мира с больших удалений и не были способны осуществлять регистрацию слабых региональных землетрясений [Кирнос и др., 1961]. Поэтому Г.Д. Панасенко, внесший весомый вклад в развитие сейсмологических исследований на северо-западе России, предложил выделить в истории сейсмологических исследований Северной Европы особую “макросейсмическую” стадию, длившуюся до середины XX в. На этой стадии основным источником сведений для пополнения базы знаний о сейсмичности региона была описательная информация, поступающая от населения [Панасенко, 1969].

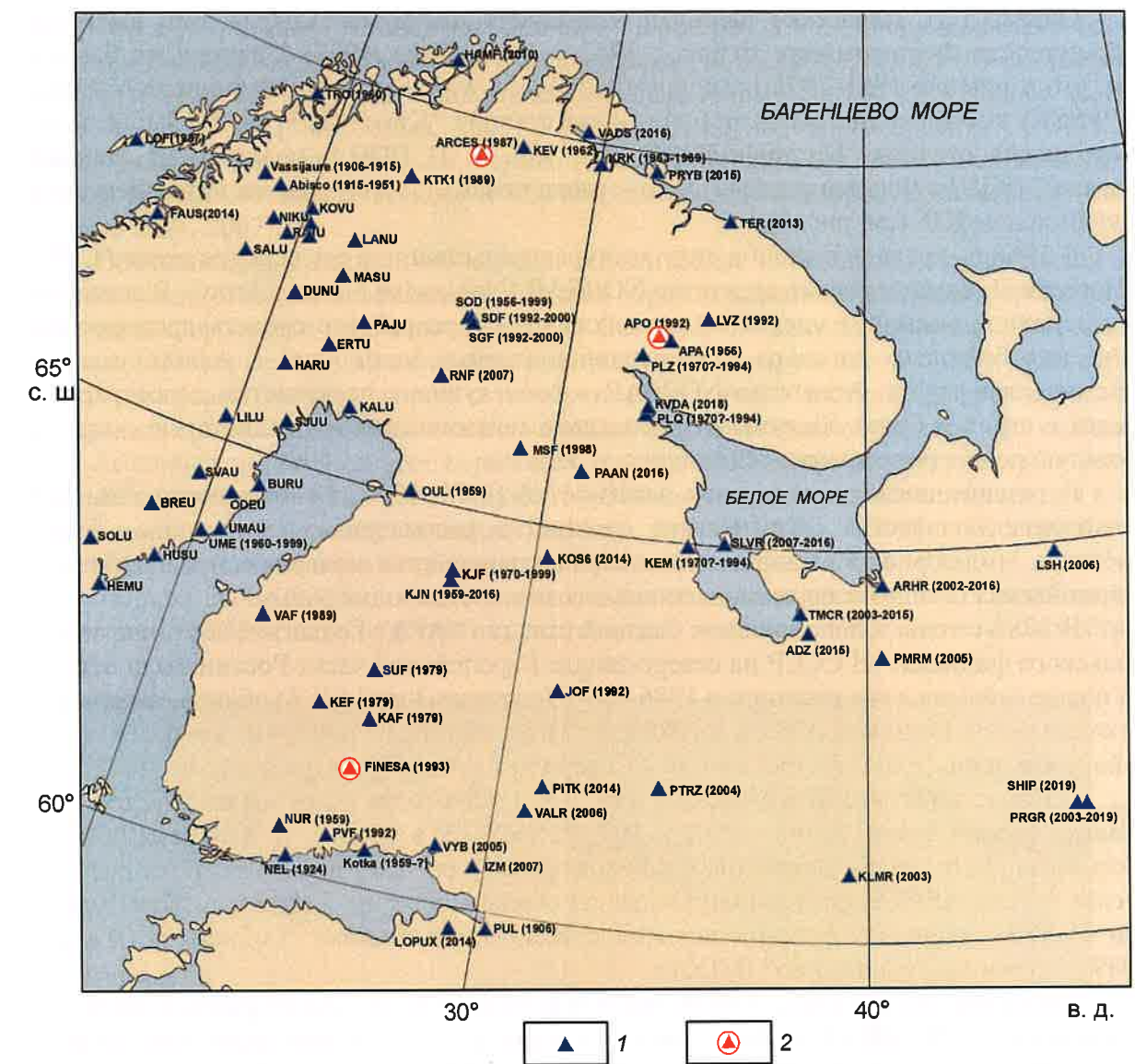


Рис. 1. Карта сейсмических станций (1) и малоапертурных групп (2), функционирующих на северо-западе ВЕП. В скобках указаны годы начала функционирования станции и её закрытия (для закрытых станций)

Первое существенное расширение сети сейсмических станций в регионе произошло в период 1950–1960 гг., и связано это было прежде всего с подготовкой и проведением Международного Геофизического года (1957–1958 гг.) (см. рис. 1). С 1956 г. опорным центром для региональной сети сейсмического мониторинга на Европейском Севере России на долгие годы стала станция “Апатиты” (АРА) [Виноградов и др., 2012].

В Финляндии в 1956 г. на территории геофизической обсерватории Соданкюля (Sodankylä) начинает функционировать сейсмическая станция, получившая код SOD и оснащенная короткопериодным сейсмометром Бениоффа (V.H. Benioff). К 1959 г. были дополнительно установлены сейсмические станции “Nurmijärvi” (NUR), “Oulu” (OUL), “Kajaani” (KJN) и “Kotka”, оснащенные сейсмографами Нурмия (M. Nurmia), которые были впоследствии заменены на сейсмометры Бениоффа [Luosto, Hyvonen, 2001]. На севере Швеции в 1951 г. начинает функционировать сейсмическая станция “Kiruna” (KIR), а в 1960 г. – станция “Umea” (UME).

Однако Г.Д. Панасенко начинает отчитывать инструментальный этап изучения сейсмичности Фенноскандии только с 1962 г. [Панасенко, 1977]. Связано это было с тем, что в течение 1961–1970 гг. под эгидой World Wide Standard Seismograph Network (WWSSN) в Финляндии была открыта новая станция “Kevo” (KEV) в 1962 г. и переоборудована станция “Nurmijärvi” (NUR) в 1963 г. В 1970 г. недалеко от станции “Kajaani” (KJN) в Финляндии была установлена новая станция с тем же названием, но с другим кодом KJF (см. рис. 1).

В 1968 г., когда вступило в силу межправительственное соглашение между США и Норвегией, было основано агентство NORSAR (Norwegian Seismic Array). В соглашении основное внимание уделялось исследованиям и разработке средств проверки соблюдения будущего договора о запрещении ядерных испытаний с использованием сейсмических групп. Агентство NORSAR в последующие десятилетия спроектирует, введёт в строй и будет обслуживать несколько сейсмических групп, которые сыграют большую роль в регистрации сейсмичности региона.

В течение последующих двух десятилетий (1971–1990 гг.) произошло заметное увеличение количества сейсмических станций в рассматриваемом регионе. Также именно в этот период в Скандинавских странах начинается модернизация аппаратуры сейсмических станций с переходом от аналоговых систем к цифровым.

В 1980-е годы в дополнение к базовой станции “АРА” Геологического института Кольского филиала АН СССР на севере-западе Европейской части России были открыты новые сейсмические станции: в 1986 г. – “Полярные Зори” (PLZ) вблизи от площадки строящейся Кольской АЭС, а в 1988 г. – “Полярный Круг” (PLQ) и “Кемь” (KEM) в районе каскадов гидроэлектростанций в Северной Карелии [Виноградов и др., 2012].

В Норвегии агентством NORSAR в 1970-х–1980-х годах были введены в строй несколько сейсмических групп: NOA в 1971 г., NORES в 1985 г. и ARCSES в 1987 г. [Schweitzer, Roth, 2015]. Ближайшей к Беломорскому региону из них является сейсмическая группа ARCSES, функционирующая на севере Норвегии. Также на севере Норвегии с 1987 г. начинает функционировать сейсмическая станция “Lofoten” (LOF), а с 1989 г. – станция “Kautokeino” (KTK1).

Таким образом, к концу 1980-х годов в регионе заметно увеличилось количество сейсмических станций и благодаря введению в строй сейсмических групп заметно снизился магнитудный порог регистрации землетрясений в Фенноскандии. Согласно оценкам [Ahjos, Uski, 1992], представительная магнитуда регистрации землетрясения в этот период для всей Фенноскандии составляет не менее 2.5, согласно [Аветисов, 1996] – до 2.0–2.5; погрешность определения координат эпицентров составляет 5–10 км.

В период с 1990–2000 гг., несмотря на экономический кризис в России, закрытие одних станций компенсировалось открытием новых станций и модернизацией действующих. В скандинавских странах в это время заканчивался процесс перехода от аналоговой аппаратуры к цифровой и продолжалось незначительное увеличение количества сейсмических станций.

В 1992 г. при технической помощи NORSAR и при финансовой поддержке со стороны Кольской АЭС на территории эколого-геофизического полигона Кольского научного Центра РАН на побережье озера Имандра, в 17 км от г. Апатиты, была создана первая в России малоапертурная сейсмическая группа, получившая в дальнейшем свой международный код АР0 (см. рис. 1). Таким образом, представительность регистрации сейсмических событий всей сети Кольского регионального сейсмологического центра (КРСЦ) по береговой зоне Баренц-региона стала на уровне 3.0–3.5, несмотря на то, что с 1994 г. из-за недостатка средств были ликвидированы станции KEM, PLQ и PLZ [Виноградов и др., 2012].

В дополнение к сети КРСЦ в Ловозерском горном массиве в подземном руднике “Карнасурт” ОАО “Севредмет” ФИЦ ЕГС РАН совместно с американским консорциумом

мом IRIS в 1992 г. была установлена станция “Ловозеро” (LVZ), оборудованная в соответствии с межправительственными соглашениями РФ и США 1993 и 1999 гг. высокочувствительной аппаратурой с динамическим диапазоном 120–140 дБ в полосе частот от 0.003 до 40 Гц [Старовойт, 2005]. В рамках международного проекта GEOPHON (GeoForschungs Zentrum, Потсдам, Германия) сотрудники Геофизической службы установили на сейсмостанции Пулковое (PUL) широкополосную цифровую аппаратуру [Маловичко и др., 2007].

В Финляндии к концу 1990-х годов сейсмические наблюдения осуществляли 13 сейсмических станций, оснащенных главным образом короткопериодными трехкомпонентными цифровыми сейсмоприемниками GeotechS-13 [Luosto, Hyvonen, 2001; Ассиновская, 2004] (рис. 2, а). Все финские станции, не входящие в сеть WWSSN, уже работали с использованием цифровой телеметрии и удаленного доступа. Цифровая регистрация позволила использовать новые математические методы обработки. По оценкам Б.А. Ассиновской [2004], в этот период, а именно в 2002 г., при магнитуде землетрясения ~2.0 и эпицентральных расстояниях 150–300 км погрешность локализации для южной и центральной Карелии составляет 5–15 км. В [NORSAR..., 1998] для севера Карелии и Мурманской области погрешность локализации оценивается в 10 км.

Период 2000–2020 гг. ознаменован появлением новых региональных сетей на северо-западе ВЕП и, как следствие, существенным, особенно в последнее десятилетие,

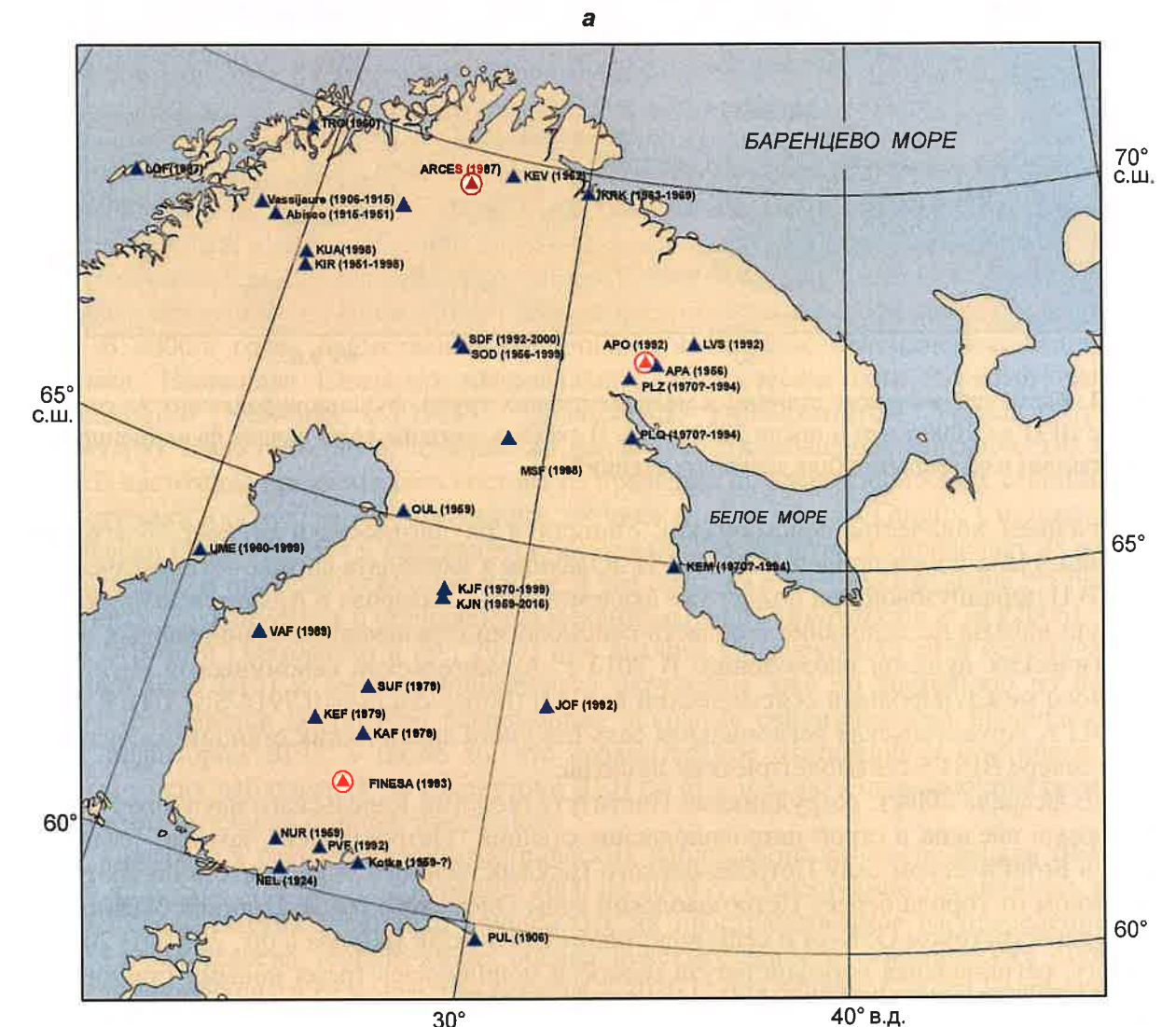


Рис. 2

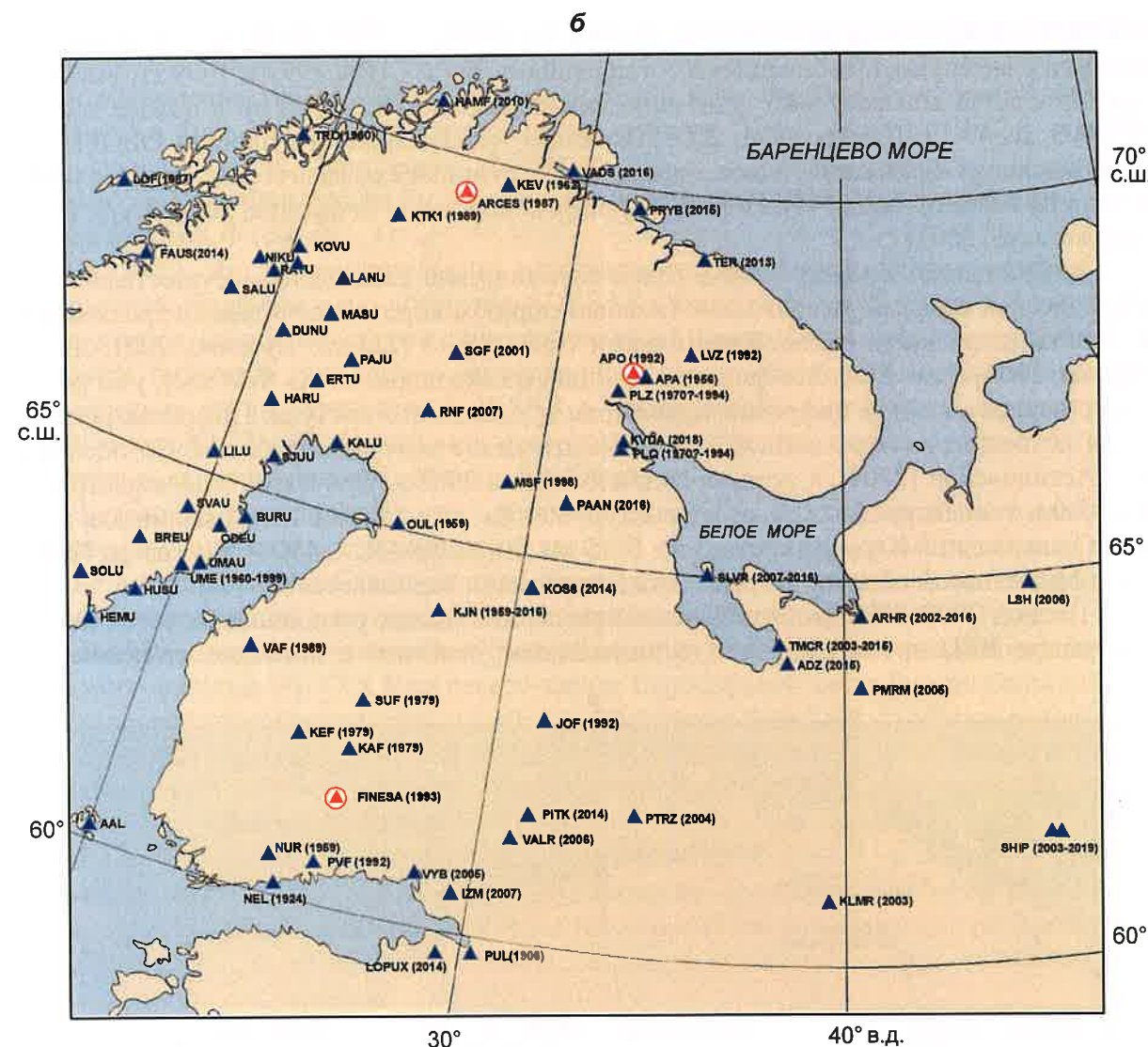


Рис. 2. Карта сейсмических станций и малоапертурных групп, функционировавших на северо-западе ВЕП до 2000 г. (а) и после 2000 г. (б). В скобках указаны годы начала функционирования станции и её закрытия (для закрытых станций)

увеличением количества сейсмических станций и их плотности в регионе. Благодаря усилиям члена-корреспондента РАН Ф.Н. Юдахина и кандидата физико-математических наук В.И. Францовой при поддержке академика Н.П. Лаверова в Архангельской области были начаты исследования в области сейсмологии с заложением стационарных сейсмологических пунктов наблюдений. В 2013 г. Архангельской сейсмической сети был присвоен международный сейсмический код АН (<https://doi.org/10.7914/SN/AN>). К концу 2011 г. Архангельская региональная сеть без учета арктических станций насчитывала на севере ВЕП 6 сейсмологических пунктов.

В феврале 2004 г. сотрудниками Института геологии Карельского научного Центра РАН была введена в строй широкополосная станция “Петрозаводск”, которая расположена в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета на противоположном от города берегу Петрозаводской губы Онежского озера. Станция была оснащена регистратором GSR-24 и сейсмодатчиком CMG-3ESP [Шаров и др., 2007]. В 2014 и 2016 гг. региональная сеть Института геологии пополнилась тремя новыми станциями: “Питкяранта” (PITK), “Костомукша” (KOS6) и “Паанаярви” (PAAN), оснащенными сейсмометрами CMG-6TD. Новые станции позволили обеспечить контроль за землетрясениями на территории региона на уровне магнитуд от 1.0 [Зуева, Лебедев, 2020].

В 2000-х годах последовательно вводились в строй также сейсмические станции Санкт-Петербургской сети: “Выборг” (VYB) в 2005 г., “Валаам” (VAL) в 2006 г., “Красное озеро” (IZM) в 2007 г. и “Лопухинка” (LOPUX) в 2014 г. Станции оборудованы короткопериодными сейсмометрами KS36000, GS-13, CM-3KB и цифровыми регистраторами SDAS и UGRA [Ассиновская и др., 2018; Ассиновская, Карпинский, 2020].

В 2009 г. в районе размещения береговой инфраструктуры для освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения сотрудниками Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН была открыта сейсмостанция “Териберка” (TER), укомплектованная короткопериодными сейсмографами OYO Geospace; с 2013 г. станция оснащена сейсмометром Guralp-40T [Виноградов и др., 2012]. В конце 2015 г. на полуострове Рыбачий была установлена новая сейсмическая станция, получившая код PRYB и оснащенная сейсмометром OYO Geospace Seis Monitor и регистратором “Байкал-8”. Для детализации наблюдений за природной сейсмичностью в Кандакшской зоне Беломорского региона на лето 2018 г. была установлена новая сейсмическая станция в пос. Ковда (KVDA), оснащенная сейсмометром Guralp-40T [Кольский..., 2020]. Таким образом, сеть Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН в настоящий момент, без учета арктических станций, состоит из четырех сейсмических станций и одной сейсмической группы.

В 2000-х годах количество сейсмических станций продолжало увеличиваться и в Финляндии. На территории страны функционируют две сейсмические сети, принадлежащие Институту сейсмологии Университета Хельсинки (Finnish National Seismic Network (HE)) [Institute..., 2020] и геофизической обсерватории Соданкюля (Sodankylä) Университета Оулу (Northern Finland Seismological Network (FN)) [Sodankylä..., 2020]. В настоящее время сеть сейсмических станций в Финляндии состоит из 31 стационарной станции, которые расположены по всей территории страны.

На севере Норвегии в 2010 г. была установлена сейсмическая станция “Hammerfest” (HAMF), а в 2016 г. – станция “Vadso” (VADS). Эти станции, наряду с сейсмической группой ARCES, являются ближайшими к Беломорскому региону среди остальных станций Норвежской национальной сейсмической сети (Norwegian National Seismic Network) и играют важную роль в мониторинге сейсмичности Беломорского региона.

В 2000-х годах существенно увеличилось количество сейсмических станций в Швеции. Нынешняя Шведская национальная сейсмическая сеть (Swedish National Seismological Network) с 1998 г. управляется Университетом Упсала (Uppsala University). Была развернута совершенно новая сеть стационарных сейсмических станций. В настоящее время эта сеть состоит из примерно 60 широкополосных станций, использующих в основном 100-секундные датчики и дигитайзеры Guralp. Система автоматически обнаруживает и анализирует все локальные события и определяет их местонахождение. В пределах сейсмической сети все события с магнитудой выше 0.5 регистрируются, локализуются и оцениваются механизмы очага [Bödvarsson et al., 2006].

В работе [Маловичко и др., 2007] при анализе конфигурации сети сейсмических станций всей ВЕП и зоны её ближайшего окружения уже по состоянию на начало 2006 г. отмечается достаточно равномерное покрытие сейсмическими наблюдениями всей территории ВЕП, а также то, что сравнительное отставание в плотности сети сейсмических наблюдений на территории ВЕП по отношению к окружающим регионам было в значительной степени преодолено.

Прогресс в развитии сейсмометрических наблюдений на северо-западе ВЕП хорошо иллюстрирует рис. 2: в период с 2000 по 2020 гг. существенно увеличилось количество сейсмических станций и улучшилось их пространственное распределение. На рис. 3 представлена теоретическая оценка чувствительности сейсмических станций, функционирующих в Беломорском регионе в 2020 г. Для западной части Беломорского региона станции должны регистрировать землетрясения с магнитудами (M_L) от 1.5, для центральной и восточной частей региона – от 2.0.

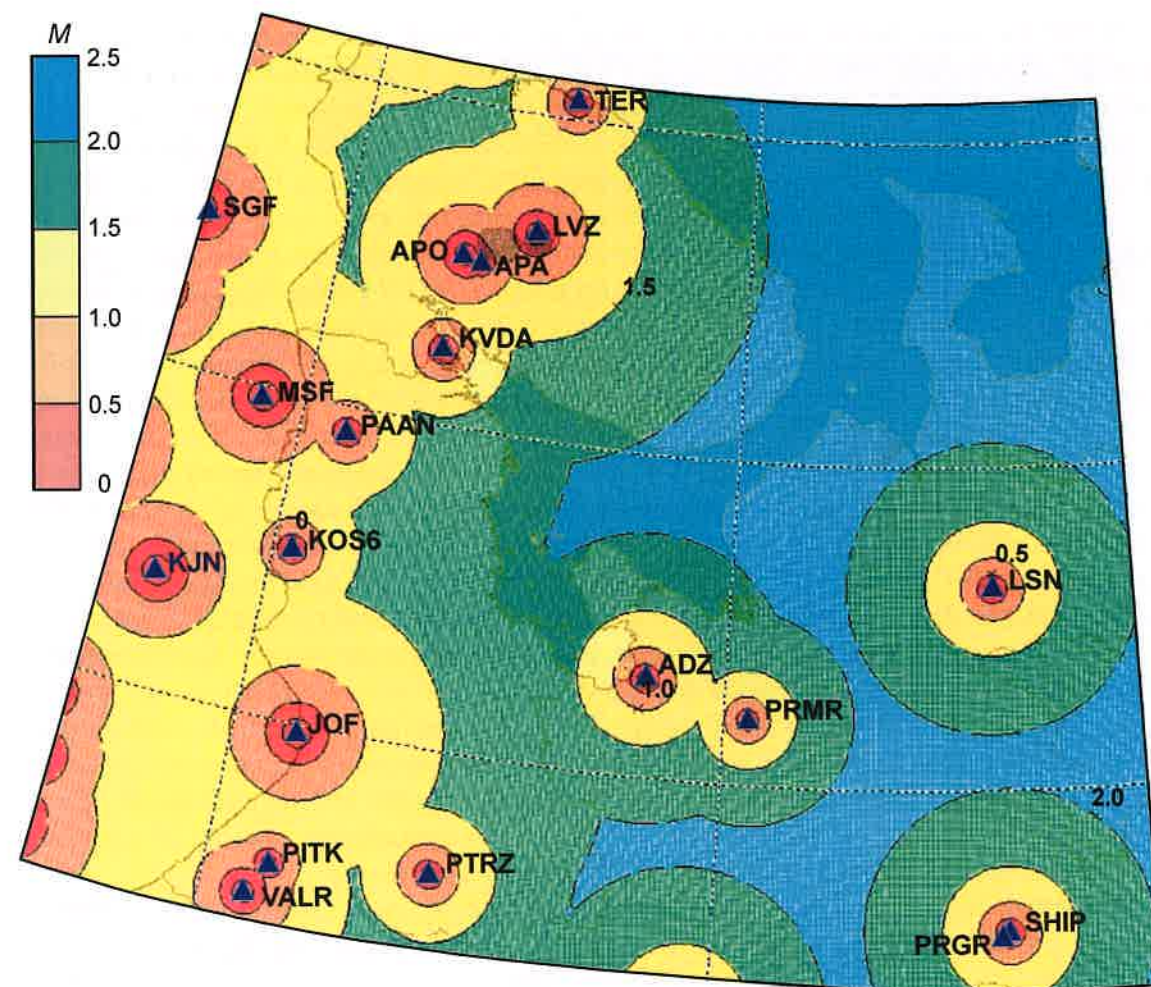


Рис. 3. Теоретическая оценка чувствительности сейсмических станций, функционирующих в Беломорском регионе на 2020 г.

Сейсмологическая изученность

Главными источниками знаний об ощутимых землетрясениях на территории севера ВЕП до недавнего времени были письменные свидетельства за исторический период. В работе [Горшков, 1947] собраны, возможно, первые данные по сейсмическим событиям восточной части Балтийского щита и рассмотрены возможные условия их возникновения.

Самыми полными и значительными обобщениями материалов о сейсмичности Фенноскандии и, в частности, восточной части Балтийского щита являются работы Г.Д. Панасенко [1969, 1977, 1979, 1986, 1991]. В перечисленных работах представлены каталоги сейсмических событий для обширной территории, включающей весь Скандинавский полуостров.

В работах [Панасенко, 1957а,б] приводятся детальные описания в общем-то скудных макросейсмических и инструментальных сведений обо всех землетрясениях, зафиксированных в Карелии и на Кольском полуострове до 1955 г. включительно. В этих работах автор восполнял пробел в данных о землетрясениях восточной (советской) части Фенноскандии в известной работе "Каталог землетрясений Фенноскандии в 1891–1959 гг.", опубликованной в 1956 г. [Bath, 1956].

Первой значительной обобщающей работой Г.Д. Панасенко является книга "Сейсмические особенности северо-востока Балтийского щита" [Панасенко, 1969]. На основе сопоставления данных о распределении эпицентров землетрясений с геолого-

геоморфологическими признаками современных движений земной коры им было выделено восемь сейсмогенных зон (рис. 4). К Беломорскому региону относятся прежде всего Канда拉克шская и Карельская зоны. Канда拉克шская зона простирается от водораздела горной гряды Манселья через Ковдозерскую низину и Канда拉克шский залив до устья Северной Двины. Карельская зона, однако, выделена условно по небольшому количеству эпицентров слабых землетрясений.

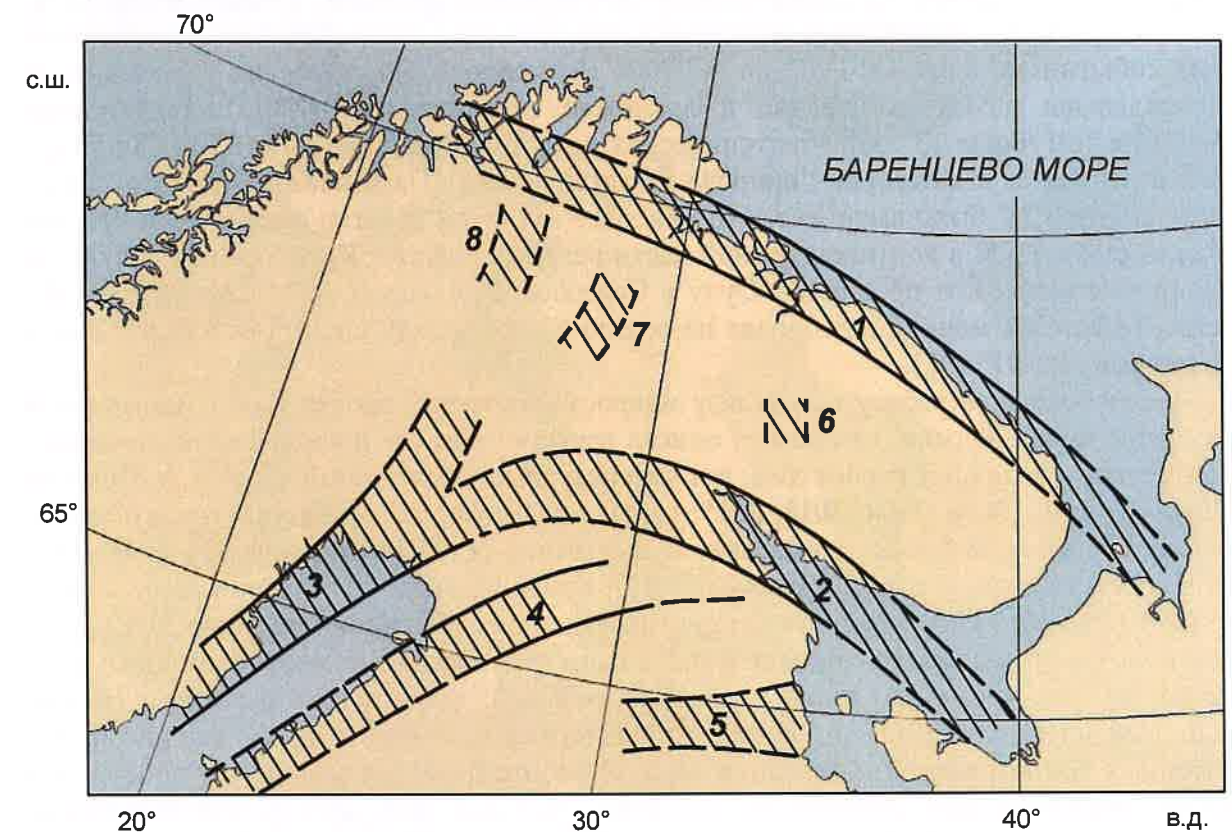


Рис. 4. Сейсмогенные зоны северной части Балтийского щита (по [Панасенко, 1969]): 1 – Мурманская; 2 – Канда拉克шская; 3 – Ботническая; 4 – Куусамо-Оулуярви; 5 – Карельская; 6 – Хибинская; 7 – Инари; 8 – Карасйоки

Намеченная Г.Д. Панасенко схема сейсмогенных зон не претерпела принципиальных изменений до настоящего времени, но географические контуры и оценки активности зон были существенно уточнены по анализу результатов зарегистрированных землетрясений в течение второй половины XX в. [Баранов и др., 2007].

Большой и важный с научной точки зрения труд по пересмотру ранее полученных определений, опубликованных в региональных каталогах, представлен в работе [Годзи-ковская и др., 2010], где отмечается, что целесообразность пересмотра связана не с ошибками более ранних исследователей, а с рядом следующих обстоятельств:

- уточнение скоростных характеристик среды;
- изменение методов локации источников и определения и представления сейсмической энергии источника;
- совершенствование системы учета и обобщения информации о сейсмических событиях, связанных с деятельностью человека.

Следует отметить, что при сравнительно невысоком уровне природной сейсмичности на территории ВЕП регулярно происходят сейсмические события техногенной природы от многочисленных и достаточно крупных промышленных карьеров. Из оценок потоков сейсмической энергии, генерируемых взрывными работами, следует, что они на 2–4 порядка выше потоков сейсмической энергии тектонических землетрясений

[Адушкин, 2013]. Происходят, в том числе, сильные природно-техногенные землетрясения в виде горно-тектонических ударов и землетрясений, связанных с добычей нефти, разработкой рудных и угольных месторождений [Адушкин, 2016], поэтому проблема “засорения” каталогов событиями нетектонической природы для ВЕП стоит довольно остро.

По этим причинам в работе [Годзиковская и др., 2010] по мере возможности анализировалась возможная природа сейсмического события. На основе ретроспективного анализа был составлен “Сводный каталог сейсмических событий” с новой интерпретацией их природы и уточнением параметров очага. Всего в каталог вошло 213 сейсмических событий за период с 1902 по 1999 гг. По природе сейсмические события были распределены на: тектонические и возможно тектонические ($N=74$); техногенные ($N=80$), в том числе 13 горно-тектонических ударов и землетрясений (ГТУ-ТЗ); 59 событий относятся к категории “природа не установлена”. На основе созданного “Сводного каталога...” было выявлено, что наиболее активной и четко выраженной сейсмогенной структурой в континентальной части региона является Куусамо-Харловская зона, протянувшаяся от провинции Оулу в Северной Финляндии до Мурманского побережья Баренцева моря (с юга-запада на северо-восток между широтами 65° – 67° с.ш. и долготами 29° – 31° в.д.).

Колоссальную работу по анализу макросейсмических проявлений землетрясений на севере-западе России, начиная от поиска первоисточников и кончая количественными оценками основных параметров, вот уже несколько десятилетий ведет А.А. Никонов [Никонов, 1992, 2000, 2004, 2013, 2015; Никонов, Шварев, 2013]. Результаты его многолетних исследований, в виде описания существенно обновлённой версии каталога для ВЕП, представлены в статье [Никонов, 2013]. Среди главных достижений автор в работе [Никонов, 2013] отмечает, что каталог избавлен от событий нетектонической природы; повышена надежность определения параметров каталогизированных событий; в несколько раз увеличено число учтенных событий; значительно расширен (в прошлое) охваченный каталогом временной интервал и, соответственно, поднят порог учтенных землетрясений и значения $M_{\max}$. В работе делается вывод, что пространственное распределение эпицентров землетрясений для исторического и инструментального периодов обнаруживает полное согласование. Наиболее сейсмически активен (по числу событий и плотности эпицентров) северо-западный район ВЕП, который является одним из наиболее раздробленных, подвижных и активных в пределах всей платформы.

Созданию сводного унифицированного каталога землетрясений Карельского региона, куда входит и акватория Белого моря, за период с 1542 по 2003 гг. посвящена работа [Ассиновская, 2004] (рис. 5). Каталог охватывает район между координатами 60° – 67° с.ш. и от государственной границы с Финляндией (примерно 29° в.д.) до 42° в.д. В основе созданного каталога лежат каталоги [Ahjos, Uski, 1992] и Г.П. Панасенко, результаты исследования А.А. Никонова [2004], а также данные КРСЦ РАН [Кольский..., 2020] и Института сейсмологии Университета Хельсинки [Institute..., 2020]. В каталоге также уделяется внимание удалению данных, которые относятся к промышленным взрывам.

Каталог содержит 135 землетрясений, из них 52 описаны по макросейсмическим данным, причём 16 из них подробно проанализированы в работе [Никонов, 2004]; 83 события зарегистрированы инструментально. В период инструментальных наблюдений подтверждена повышенная сейсмическая активность западной части Беломорского бассейна и слабая активность его восточной и центральной частей. Для востока Фенноскандии сейсмогенный слой расположен в пределах 5–17 км.

Огромный пласт научных исследований сейсмичности и геодинамики Беломорского региона принадлежит Кольскому филиалу ФИЦ ЕГС РАН [Kremenetskaya, Asming, 1994; Асминг и др., 1996; Кременецкая и др., 2000; Баранов и др., 2011; Евзеров и др.,

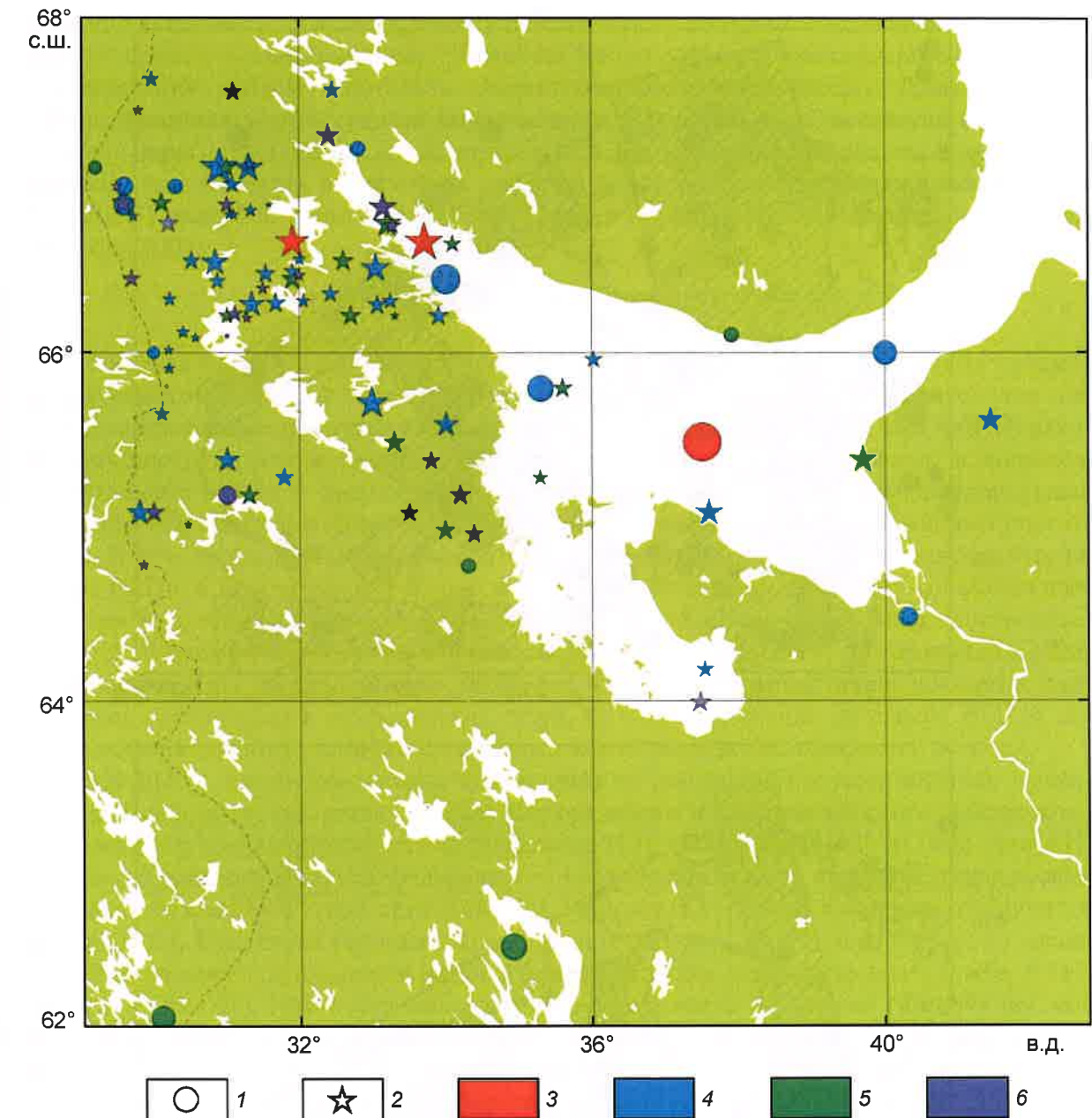


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Карельского региона (1542–2003 гг.) в интервале магнитуд 0.9–6.5 (по [Ассиновская, 2004])

1 – эпицентры по историческим данным; 2 – то же, по инструментальным данным, размер знака пропорционален M ; 3–6 – глубина очага: 3 – >20 км, 4 – 5–20 км, 5 – <5 км, 6 – не определена

2014, 2016; Виноградов, Кременецкая, 2016; Vinogradov et al., 2016; и др.]. В ежегодниках “Землетрясения Северной Евразии...” с 1997 г. и “Землетрясения России...” с 2007 г. по настоящее время ежегодно публикуются статьи сотрудников этого филиала, посвященные сейсмичности восточной части Балтийского щита.

На рис. 6 показаны схемы распределения эпицентров землетрясений, зарегистрированных в разные периоды времени: за 1956–1990 гг. и 1992–2004 гг. [Баранов и др., 2007]. Разделение на две не равных по объёму и качеству выборки землетрясений связано с переходом в 1990-е годы от аналоговой к цифровой аппаратуре и использованию уточнённой скоростной модели. По данным за период 1956–1990 гг. были уточнены географические контуры практически всех выявленных в работе [Панасенко, 1969] зон (рис. 6, а).

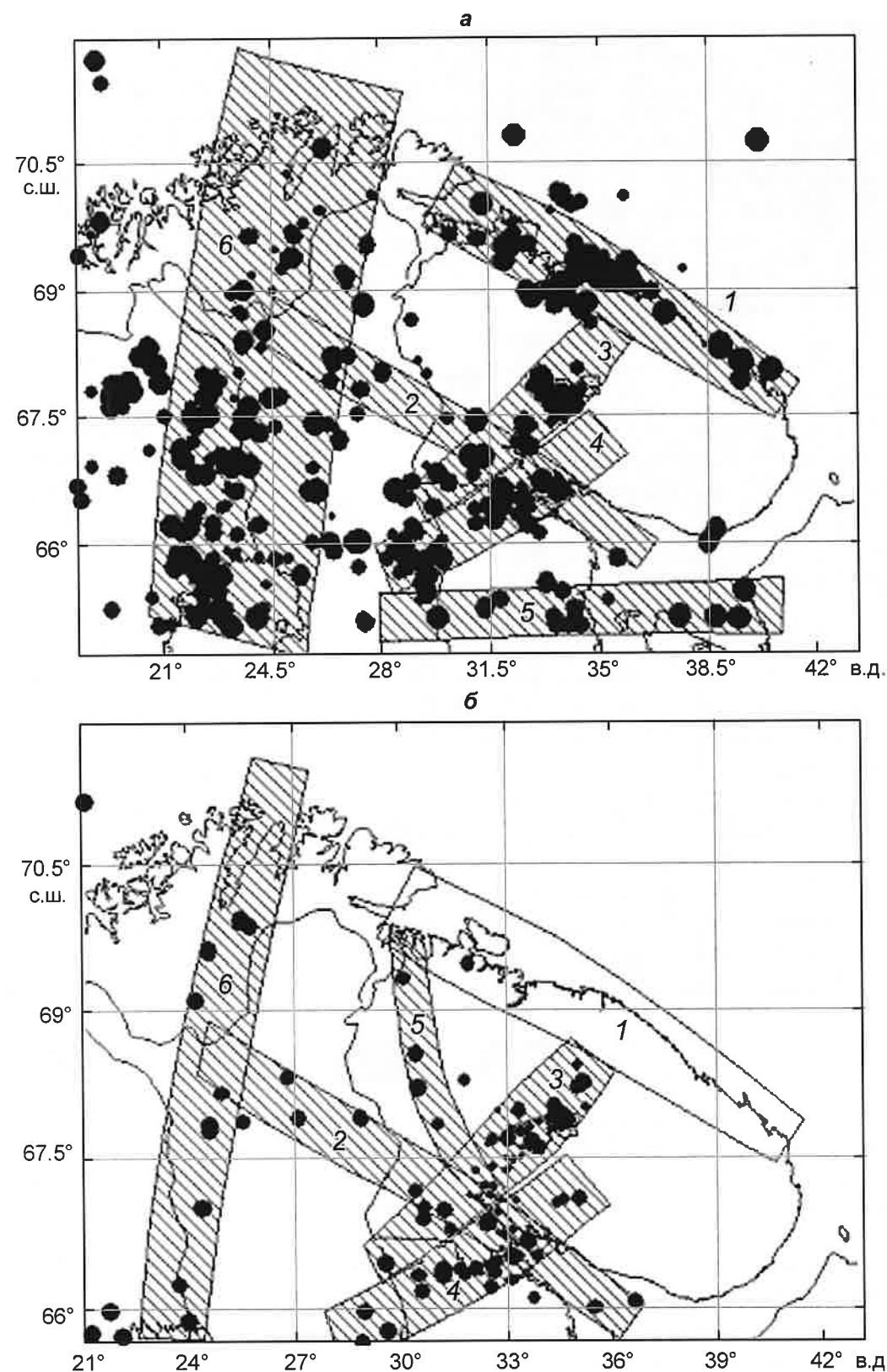


Рис. 6. Распределение эпицентров землетрясений в северной части Балтийского щита и прилегающей части шельфа (по [Баранов и др., 2007]): а – по итогам сейсмического мониторинга за период 1956–1990 гг. ($M=0.6-5.2$); б – по данным мониторинга за период 1992–2004 гг. ($M=-0.09-3.93$)

Данные за период 1992–2004 гг. характеризуются хорошей точностью локации по сравнению с данными за предыдущий период, а также улучшением качества распо-

знавания естественных и техногенных сейсмических событий. Последний фактор, вероятно, привел к значительному снижению числа событий, квалифицированных как землетрясения, поэтому плотность эпицентров сильно уменьшилась. Данные за этот период изменили конфигурацию выявленных зон (см. рис. 6). Отмечается полное отсутствие зарегистрированных землетрясений в Мурманской и Карельской зонах. Сохранили свои контуры и плотность событий Кандалакшская, Хибино-Ловозерская и Куусамо-Порьегубская зоны. Выделилась новая Варангер-Кандалакшская зона [Баранов и др., 2007].

Современная изученность

Начиная с 2004 г. территория севера ВЕП имеет наибольшую плотность сейсмометрических наблюдений за весь инструментальный период. Это создало условия для определения параметров гипоцентров современных землетрясений, в том числе низкомагнитудных, на основе данных сейсмических станций, расположенных в широком азимутальном створе и диапазоне эпицентральных расстояний. Однако региональные сейсмические сети на севере ВЕП развивались и функционировали независимо друг от друга. В результате параметры очагов сейсмических событий, зарегистрированных на севере ВЕП и в Беломорском регионе, в частности, отличались в разных сейсмологических центрах, так как были основаны чаще всего на анализе данных лишь собственных станций. Поэтому усилия авторов в работах [Морозов и др., 2019; Morozov et al., 2020] были направлены на объединение каталогов, бюллетеней и, частично, исходных данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на севере ВЕП, с целью создания единого уточненного каталога землетрясений Беломорского региона.

На 2020 г. инструментальные наблюдения на севере ВЕП осуществлялись Архангельской сейсмической сетью на базе Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (код сети АН) и сетями Кольского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” (код сети KOGSR), Института геологии Карельского научного Центра РАН, Института геологии Коми научного Центра РАН, Центрального отделения Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” (код сети OBGRS), Института сейсмологии Университета Хельсинки (Финляндия, код сети HE), Геофизической обсерватории Соданкюля Университета г. Оулу (Финляндия, код сети FN), агентства NORSAR (Норвегия, код сети NO), Норвежской национальной сейсмической сети (Университет г. Бергена, Норвегия, код сети NS) (см. рис. 2, б).

Было проведено объединение каталогов, бюллетеней и, частично, исходных данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на севере ВЕП. Это позволило создать для землетрясений, зарегистрированных на севере ВЕП за период с 2005 по 2018 гг., сводные бюллетени и на их основе произвести перерасчет параметров гипоцентров с использованием единой апробированной скоростной модели BARENTS [Kremenetskaya et al., 2001] и единого современного алгоритма расчета, реализованного в программе NAS (New Association System) [Fedorov et al., 2019]. В итоге был создан сводный уточненный каталог землетрясений севера ВЕП за период с 2005 по 2018 гг., который позволил оценить и уточнить проявления современной сейсмичности на северо-западе ВЕП, в том числе в Беломорском регионе.

При этом для каждого землетрясения также была проведена дополнительная проверка его тектонической природы на основе критериев, разработанных сотрудниками Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Asming, Kremenetskaya, 2002], и анализа данных инфразвуковой группы “Апатиты” [Кольский..., 2020]. Однако для части сейсмических событий либо не удалось провести дополнительную проверку, в основном из-за низкого соотношения сигнал/шум на записи сейсмической станции, либо однозначно подтвердить или опровергнуть тектоническую природу не удалось. Авторы не исключают

возможности попадания в каталог сейсмических событий техногенной природы, но при этом исходят из предположения, что свели к минимуму такую возможность. И если события такого рода и присутствуют в каталоге, то они не должны существенно повлиять на определение основных закономерностей распределения современной сейсмичности на севере ВЕП и в Беломорском регионе в частности.

Современная сейсмичность севера ВЕП проявляется в виде низкомagnitudeных землетрясений (рис. 7). За период с 2006 по 2018 гг. в пределах района исследования было зарегистрировано 125 землетрясений с магнитудами M_L (по данным сети НЕ) от 0.1 до 3.0. Из этих зарегистрированных землетрясений только 15 имеют магнитуду M_L (НЕ) больше 2.0. Распределение эпицентров зарегистрированных землетрясений вполне соответствует закономерностям, выявленным ранее в работах [Панасенко, 1969; Ассиновская, 2004; Годзиковская, 2010; Никонов, 2013].

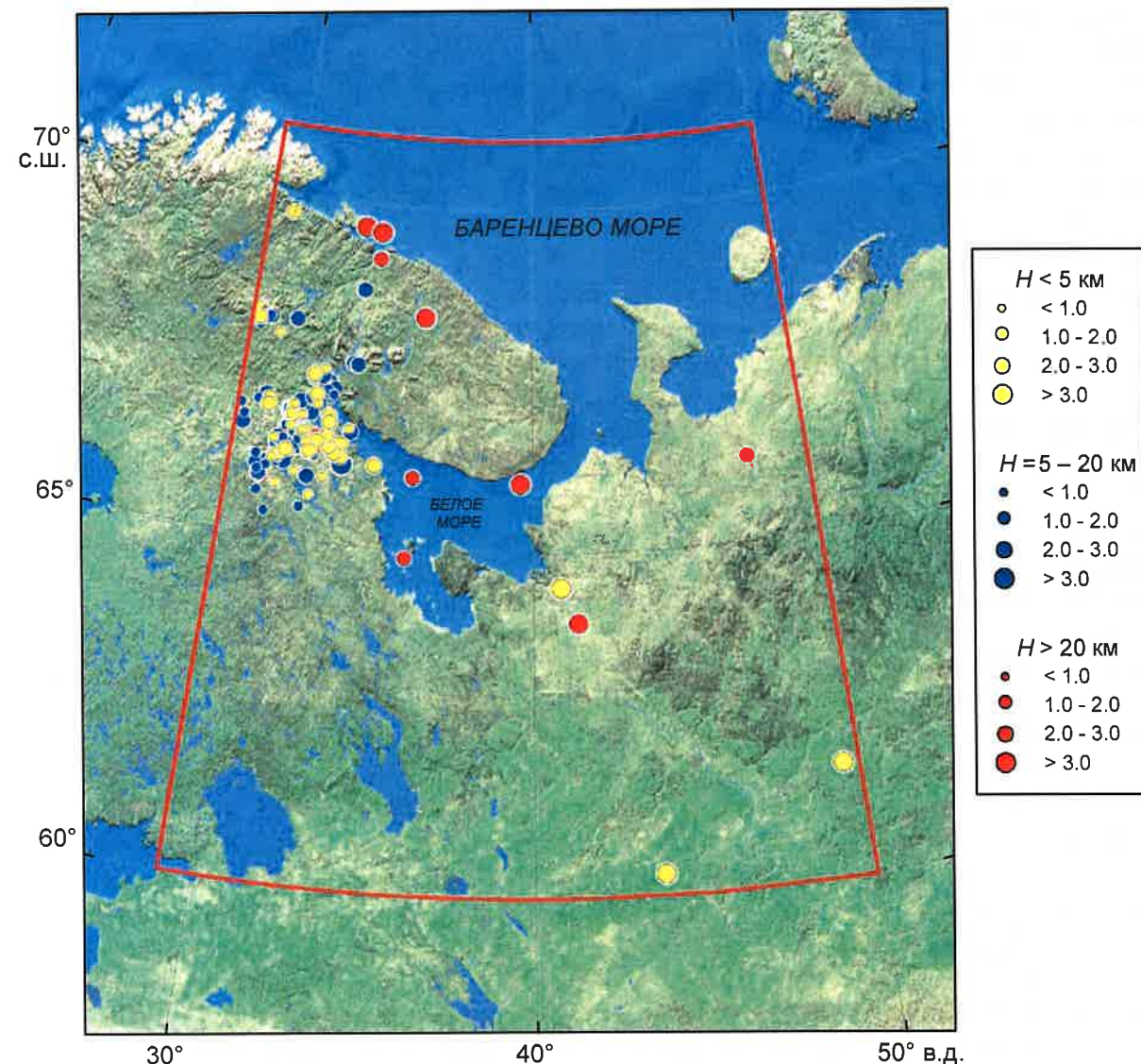


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений из уточненного каталога за период с 2005 по 2018 гг. с указанием магнитуд и глубин. Контуром выделена изучаемая область

Северо-запад ВЕП характеризуется самой высокой сейсмической активностью: повышенная сейсмическая активность характерна для западной части Беломорского бассейна, в то время как активность восточной и центральной частей слабая (см. рис. 7). В западной части Беломорского региона большая часть эпицентров слабых

событий в 2005–2018 гг. располагается не в пределах Кандалакшского грабена, а на суше к западу и юго-западу от него, при этом гипоцентры располагаются на глубинах до 5 и до 20 км.

При сравнении положения эпицентров обработанных землетрясений (с учетом эллипса ошибок каждого) с картой новейших и молодых морфоструктур Кандалакшского залива и его окрестностей, впервые выполненной на основе цифровой модели рельефа [Никифоров и др., 2015], можно обнаружить несколько примечательных соотношений (рис. 8).

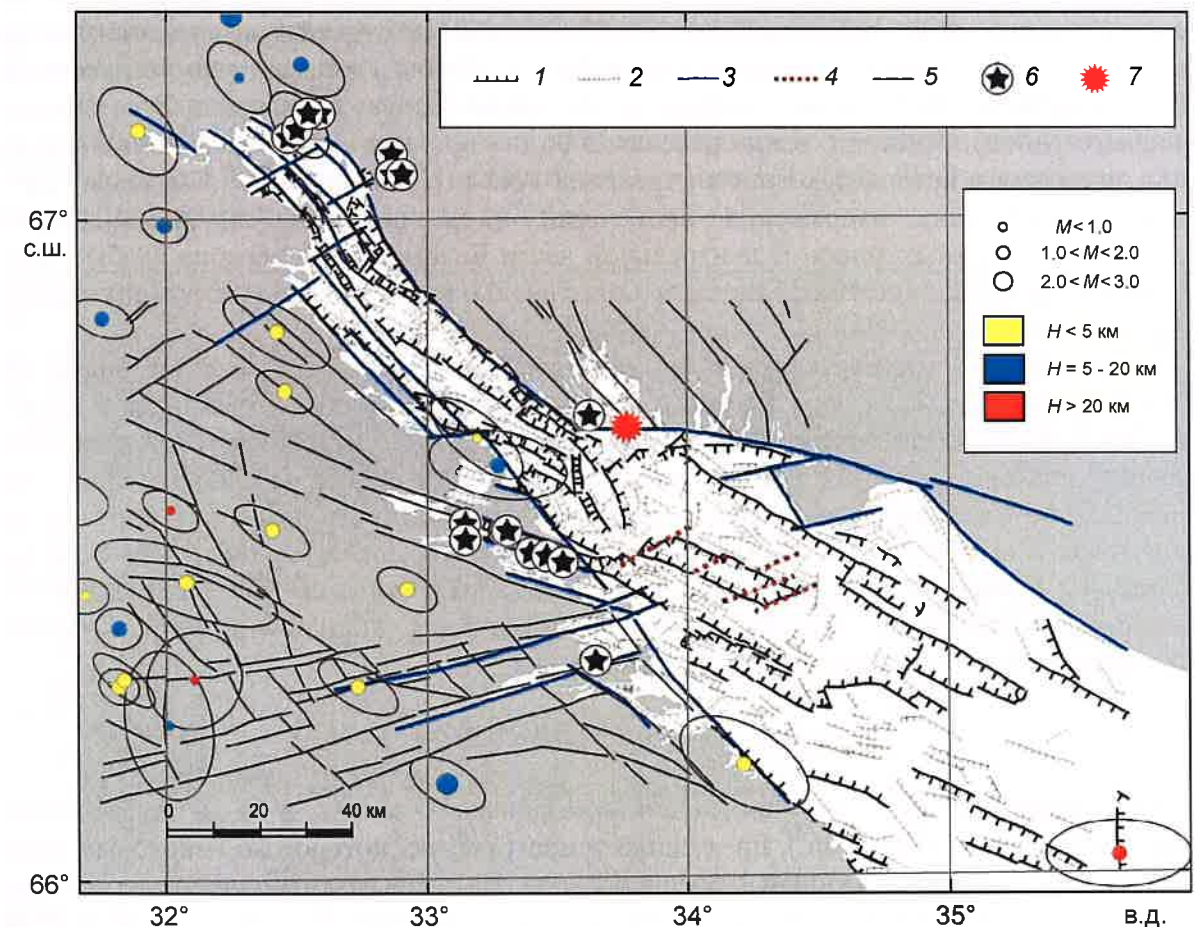


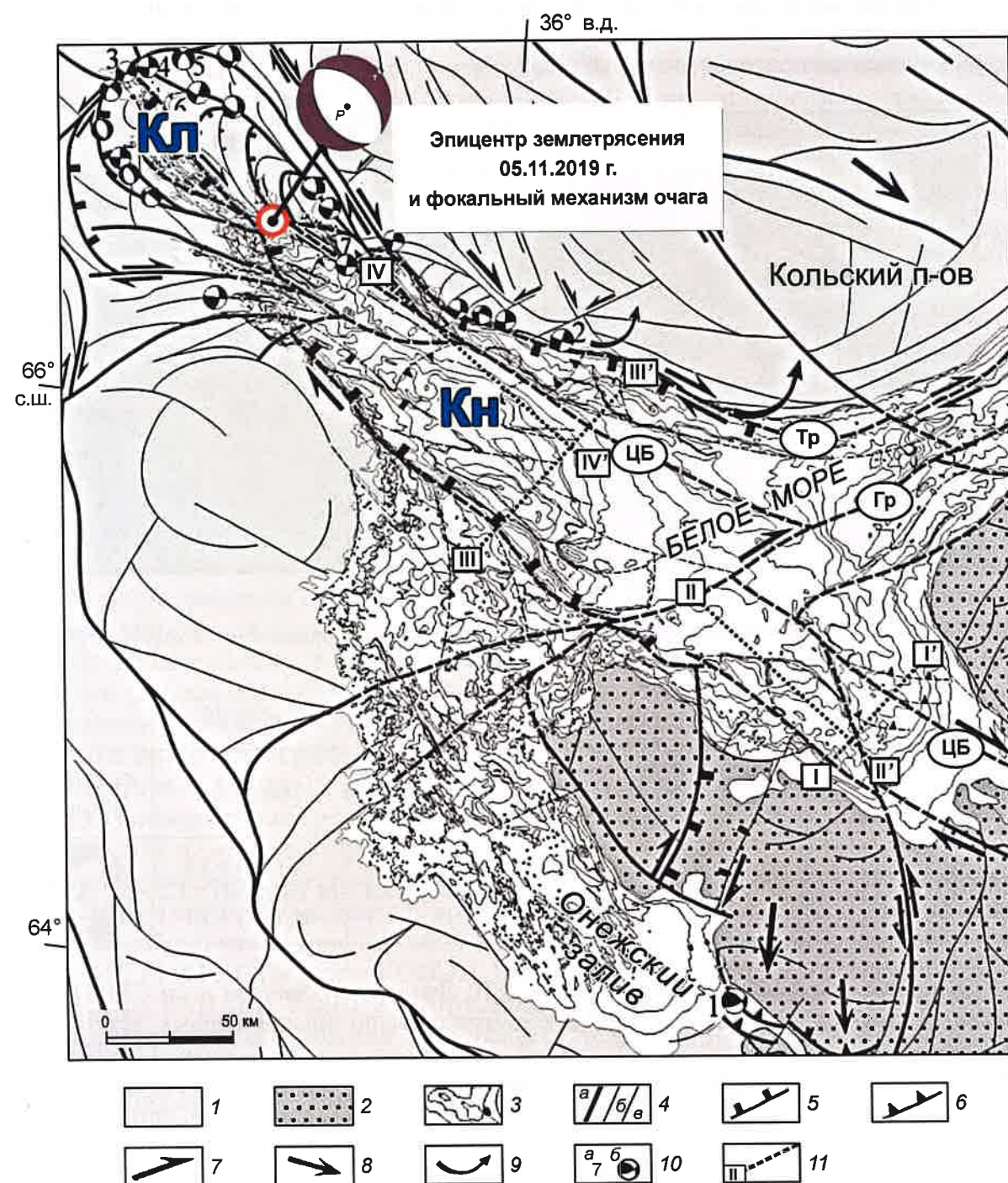
Рис. 8. Морфоструктурная схема дна и побережий Кандалакшского залива, составленная С.В. Шваревым [Шварев и др., 2015] по цифровой модели рельефа, в сопоставлении с сейсмическими проявлениями

1 – основные тектонические уступы (ограничения грабенов); 2 – второстепенные уступы (грабены); 3 – линейные элементы рельефа береговой зоны; 4 – предполагаемые сдвигосбросы; 5 – разломы третьего порядка; 6 – палеосейсмодеформации; 7 – эпицентр землетрясения 05.11.2019 г.

Эпицентры 10 землетрясений соотносятся с разломами третьего порядка, при этом 8 из них имеют мелкие очаги, т.е. отражают как бы “потрескивание” верхней части кристаллического фундамента. В пределах акватории залива, т.е. самого Кандалакшского грабена, и только на его юго-западном борту, зафиксированы три события, также с верхнекоровыми очагами и на больших расстояниях друг от друга. Их эпицентры лежат на линиях продольных, простирающихся в направлении СЗ–ЮВ разрывов по главному ограничению грабена. Вполне явно обнаруживается сейсмическое “молчание” за последние годы в пределах самого грабена, где фундамент густо раздроблен расколами разного порядка и ориентации. Скорее всего, явление это временное и может означать

Уточнённый эпицентр землетрясения 5 ноября 2019 г. располагается у северного побережья Кандалакшского залива в районе губы Порья, в 25 км западнее от посёлка Умба. При этом в период с 2005 по 2018 гг. в этом районе не регистрировались землетрясения. Данное явление отмечено в работе [Морозов и др., 2019] как возможное сейсмическое “молчание”, которое является временным и означает большую длительность периодов накопления напряжений и вероятность более сильных событий в регионе в будущем. Возможно, землетрясение 5 ноября 2019 г. произошло в результате накоплений напряжений последних лет.

Эпицентр расположен в районе межвпадинной перемычки, разделяющей современные Кандалакшский и Колвицкий грабены (рис. 10). Такие перемычки представляют собой зоны аккомодации, через которые передаются возникающие тектонические напряжения от одного сегмента рифтовой зоны к другому. Простираение нодальной



плоскости совпадает с северо-западным простираением межвпадинной перемычки; это говорит о том, что землетрясение вызвано, вероятнее всего, движением блоков по разлому, ограничивающему перемычку. Стереогаммы показывают сбросовый характер движения блока по разлому, что соответствует современному растяжению земной коры и продолжающемуся развитию Колвицкого грабена. Решение фокального механизма землетрясения подтверждается наземными методами исследований на продолжении разлома в северо-восточном борту Колвицкого грабена [Колодяжный и др., 2019].

Выводы

Беломорский регион принадлежит к наиболее раздробленным, подвижным и активным районам в пределах всей ВЕП. Данные за исторический и инструментальный периоды наблюдений указывают на повышенную сейсмическую активность западной части региона, особенно в районах Кандалакшского и Колвицкого грабенов – главных активных структур Белого моря.

Современная сейсмичность, проявляющаяся в виде землетрясений небольшой магнитуды, и распределение эпицентров вполне соответствуют выявленным ранее закономерностям – повышенной сейсмической активности северо-запада Беломорского региона. Однако большинство эпицентров современных землетрясений располагается не в пределах Кандалакшского и Колвицкого грабенов, а на суше к западу и юго-западу от них, т.е. за последние годы явно обнаруживалось сейсмическое “молчание” в пределах самих грабенов, где фундамент густо раздроблен расколами разного порядка и ориентации.

Данное “молчание” было прервано землетрясением 5 ноября 2019 г., которое является для региона самым сильным за последние десятилетия; произошло оно у северного побережья Кандалакшского залива. В этой части залива в период с 2006 по 2018 гг. землетрясения не регистрировались. Путём привлечения данных зарубежных и отечественных региональных сетей были уточнены параметры гипоцентра с использованием современной апробированной для региона региональной модели и современного алгоритма локации. Эпицентр располагается в районе губы Порья в 25 км западнее посёлка Умба (Мурманская обл.). Очаг находится на глубине 3 км, при этом диапазон возможных глубин варьирует от 0 до 9 км.

Вычислено по первым вступлениям решение фокального механизма очага с типом движения по обоим плоскостям – сброс. Простираение нодальной плоскости совпадает с северо-западным простираением межвпадинной перемычки между Кандалакшским и Колвицким грабенами; это говорит о том, что землетрясение вызвано, вероятнее всего, движением блоков по разлому, ограничивающему перемычку. Полученное решение соответствует современному растяжению земной коры и продолжающемуся развитию Колвицкого грабена.

Полученные в данной статье результаты углубляют наши знания о проявлении современной сейсмичности в Беломорском регионе. Результаты должны стать частью единого сейсмического каталога землетрясений ВЕП нового поколения, объединяющего

Рис. 10. Структурная схема северо-западной части Беломорско-Северодвинской зоны сдвига (по [Колодяжный и др., 2019]). Показаны (на схеме) разрывы: Центральнo-Беломорский – ЦБ, Терского Берега – ТБ, Горла Белого моря – ГР. Показаны (на схеме) грабены: Кандалакшский – Кн, Колвицкий – Кл. 1–2 – комплексы: 1 – кристаллического фундамента, 2 – осадочного чехла; 3 – изобаты глубин дна Белого моря; 4 – разрывы: а – главные, б – второстепенные, в – скрытые в акватории; 5–6 – типы нарушений: 5 – сбросы, 6 – взбросы и надвиги; 7–9 – направления новейших смещений: 7 – сдвиговых, 8 – тангенциальных, 9 – ротационных; 10 – пункты структурных исследований: а – номера участков детальных работ, б – стереогаммы неотектонических напряжений, квадранты: растяжения (черный), сжатия (белый); 11 – линии сейсмопрофилей

землетрясения за исторический и инструментальный периоды, который может служить основой для последующих исследований, связанных с построением геодинамических моделей, исследованием напряженно-деформированного состояния земной коры и оценкой сейсмической опасности территории.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках работ по госзаданиям Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 186 с.
- Адушкин В.В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России // Физика Земли. 2013. № 2. С.110–130. <https://doi.org/10.7868/S000233371301002X>
- Адушкин В.В. Тектонические землетрясения техногенного происхождения // Физика Земли. 2016. № 2. С.22–44. <https://doi.org/10.7868/S0002333716020010>
- Асминг В.Э., Гурьева С.Н., Кузьмин И.А., Кременецкая Е.О., Коломиец А.С., Нахшина Л.П., Тряпичин В.М., Федоренко Ю.В. Сейсмологические исследования на территории Европейского Севера России и прилегающих районов Арктики. Основные результаты научно-исследовательских работ в 1992–1996 гг. / Под ред. И.А. Кузьмина. Апатиты: КарНЦ РАН, 1996. 44 с.
- Ассиновская Б.А. Инструментальные данные о землетрясениях Карельского региона // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск, 2004. С.213–229.
- Ассиновская Б.А., Карпинский В.В. Ладожские сейсмические явления. СПб.: ВСЕГЕИ, 2020. 46 с.
- Ассиновская Б.А., Габсатарова И.П., Панас Н.М., Юски М. Сейсмические события 2014–2016 гг. на Карельском перешейке и их природа // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54, № 1. С.40–61. <https://doi.org/10.21455/si2018.1-4>
- Баранов С.В., Асминг В.Э., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Результаты инструментальных сейсмологических исследований на Кольском полуострове // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С.173–182.
- Баранов С.В., Виноградов А.Н., Николаева С.Б., Петров С.И. Сейсмичность Кольского полуострова по инструментальным данным. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы “Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных”, Апатиты, 15–19 августа 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.47–51.
- Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Кременецкая Е.О., Петров С.И. Формирование системы сейсмологического и инфразвукового мониторинга в западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития // Вестник КарНЦ РАН. 2012. № 4. С.140–156.
- Виноградов Ю.А., Кременецкая Е.О. Об уточнении линеаментно-доменной модели Кандалакшской сейсмогенной зоны на основе современных данных // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. С.93–97.
- Годзиковская А.А., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А. Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XX веке. М.: Ваш полиграфический партнер, 2010. 130 с.
- Горшков Г.П. О сейсмичности восточной части Балтийского щита // Тр. Сейсмологического ин-та. 1947. Вып. 119. С.86–96.

- Евзеров В.Я., Виноградов А.Н., Николаева С.Б. Геодинамика Беломорской котловины в голоцене // Вестник КарНЦ РАН. 2014. № 2 (17). С.50–57.
- Евзеров В.Я., Виноградов А.Н., Николаева С.Б. Новейший этап развития Беломорской котловины // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471, № 4. С.450–454. <https://doi.org/10.7868/S086956521634017X>
- Зуева И.А., Лебедев А.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов Костомукшского ГОК // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 1. С.22–28. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-1-22-28>
- Иванова Е.И., Ландер А.В., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Шевченко С.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Третьей научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.74–79.
- Кирнос Д.П., Харин Д.А., Шебалин Н.В. История развития инструментальных сейсмических наблюдений в СССР // Землетрясения в СССР. М.: АН СССР, 1961. С.9–66.
- Колодяжный С.Ю., Балугев А.С., Зыков Д.С. Структура и эволюция северо-запада Беломорско-Северодвинской зоны сдвига в позднем протерозое и фанерозое (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2019. № 1. С.62–86. <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019162-86>
- Кольский филиал Единой геофизической службы Российской академии наук [Электронный ресурс]. URL: <http://krsc.ru/?q=ru/about> (дата обращения: 06.12.2020).
- Кременецкая Е.О., Кузьмин И.А., Асминг В.Э., Баранов С.В., Журков М.А. Создание базы данных о сейсмичности Баренц-региона // Теоретические и прикладные модели информатизации региона. Апатиты: КарНЦ РАН, 2000. С.44–49.
- Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е. Инструментальные и сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С.14–66.
- Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Никонов А.А., Шаров Н.В., Конечная Я.В., Михайлова Я.А., Евтюгина З.А. Современная сейсмичность Беломорского региона // Вулканология и сейсмология. 2019. № 1. С.36–51. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019136-51>
- Никифоров С.Л., Кошель С.М., Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е. Цифровые модели рельефа дна и некоторые возможности их морфометрического анализа // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С.287–294.
- Никонов А.А. Макросейсмическая характеристика землетрясений XX века в восточной части Балтийского щита // Белорусский сейсмологический бюллетень. Вып. 2. Минск: ОНТИ, 1992. С.96–144.
- Никонов А.А. Землетрясения Севера Европейской России (новая версия каталога на основе первичных материалов) // Геодинамика и техногенез: Матер. Всеросс. совещ. Ярославль, 2000. С.118–119.
- Никонов А.А. Исторические землетрясения // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С.192–213.
- Никонов А.А. Новый этап познания сейсмичности Восточно-Европейской платформы и ее обрамления // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450, № 4. С.465–469. <https://doi.org/10.7868/S0869565213160184>
- Никонов А.А. Небывалое бедствие в селе Кашкаранцы // Природа. 2015. № 1. С.51–55.
- Никонов А.А., Шварев С.В. Голоценовая тектоническая активность и сейсмичность Беломорского бассейна // Тезисы доклада на заседании Палеосейсмологического семинара ИФЗ РАН от 16 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ifz.ru/fundamental/tektonicheskaja-aktivnost-belomorskogo-basseina/> (дата обращения: 11.05.2017).
- Панасенко Г.Д. Сейсмичность Кольского полуострова и Северной Карелии // Известия АН СССР. Сер. Геофизика. 1957а. № 8. С.969–978.
- Панасенко Г.Д. Каталог землетрясений Кольского полуострова и Северной Карелии (с начала XVIII в. по 1955 г.) // Бюлл. сейсмич. станции “Апатиты”. № 1. Кировск: КФ АН СССР, 1957б. С.31–35.

- Панасенко Г.Д. Сейсмические особенности северо-востока Балтийского щита. Л.: Наука, 1969. 184 с.
- Панасенко Г.Д. Землетрясения Фенноскандии в 1951–1970. М.: МГК, 1977. 111 с.
- Панасенко Г.Д. Землетрясения Фенноскандии в 1971–1975. М.: МГК, 1979. 77 с.
- Панасенко Г.Д. Землетрясения Фенноскандии в 1976–1980. М.: МГК, 1986. 81 с.
- Панасенко Г.Д. Землетрясения Фенноскандии в 1981–1985. М.: МГК, 1991. 92 с.
- Старовойт О.Е. Инструментальные сейсмические наблюдения в России // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2005. Т. 5, № 1. С.8–12.
- Шаров Н.В., Бекетова Е.Б., Матвеева Т.С., Федоренко Ю.В., Филатов П.В., Екимов И.А. Сейсмичность Карелии // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С.193–207.
- Шварев С.В., Никонов А.А., Фроль В.В. Морфоструктура, тектоническая и сейсмическая активность в бассейне Белого моря: анализ на основе ЦМР, геологических и сейсмических данных // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. Тезисы докл. Всерос. конф. “VII Щукинские чтения”. М.: МАКС Пресс, 2015. С.199–202.
- Щукин Ю.К. Динамическая геология – основа системы наблюдений за природными процессами // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С.117–172.
- Ahjos T., Uski M. Earthquakes in northern Europe in 1375–1989 // Tectonophysics. 1992. V. 207. N 1–2. P.1–23.
- Asming V.E., Kremenetskaya E.O. Study of applicability of P/S ratio criterion for discrimination of regional earthquakes and explosions in North-Western area, observed characteristics of regional seismic phases and implications for P/S discrimination in the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2002. V. 159 (4). P.701–719.
- Bath M. An earthquake catalogue for Fennoscandia for the years 1891–1950 // “Sver. Geol. Unders., ser. C”. N 545. Stockholm, 1956.
- Bödvarsson R., Slunga R., Lund B., Roberts R., Holmqvist C., Olsson S., Erlendsson, P. The New Swedish National Seismic Network // AGUFM. 2006. V. 2006. Art. S14B-03.
- Bungum H., Lindholm C. Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea, part 2: Seismological analysis and seismotectonics // Tectonophysics. 1997. V. 270. N 1–2. P.15–28.
- Fedorov A.V., Asming V.E., Jevtjugina Z.A., Prokudina A.V. Automated seismic monitoring system for the European Arctic // Seismic Instruments. 2019. V. 55, N 1. P.17–23. <https://doi.org/10.3103/S0747923919010067>
- Institute of Seismology. University of Helsinki [Электронный ресурс]. URL: <https://www2.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti> (дата обращения: 12.05.2021).
- Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2001. V. 158, N 1. P.117–128.
- Kremenetskaya E.O., Asming V.E. Seismicity of Kola and related problems // 25th Nordic Seminar on Detection Seismology. Sweden, Stockholm, 1994.
- Kulhánek O. The status, importance, and use of historical seismograms in Sweden // Symposium on historical seismograms and earthquakes. 1988. P.64–69.
- Luosto U., Hyvonen T. Seismology in Finland in the twentieth century // Geophysica. 2001. V. 37. N 1–2. P.147–185.
- Morozov A.N., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Zueva I.A., Asming V.E., Noskova N.N., Sharov N.V., Assinovskaya B.A., Panas N.M., Evtjugina Z.A. Recent seismicity in northern European Russia // J. Seismol. 2020. V. 24, N 1. P.37–53. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09883-6>
- NORSAR Scientific Report 2-97/98: Semiannual Technical Summary, 1 October 1997 – 31 March 1998. Kjeller, 1998. 155 p.
- Ringdal F., Kvernå T. A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1989. V. 79, N 6. P.1927–1940.

- Schweitzer J., Roth M. The NORSAR Data Center (FDSN Network Code NO) // Biannual Report Prepared for the FDSN Meeting during IUGG General Assembly in Prague. 2015. 13 p.
- Sodankylä Geophysical Observatory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sgo.fi/index.php> (дата обращения: 06.12.2020).
- Vinogradov Yu.A., Asming V.E., Kremenetskaya E.O., Zhyrov D.V. Modern seismicity in mining areas in the Murmansk Region // J. Mining Sci. 2016. V. 52, N 1. P.46–52. <https://doi.org/10.1134/S1062739116010113>

Сведения об авторах

МОРОЗОВ Алексей Николаевич – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1; Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН. Россия, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23. E-mail: morozovalexey@yandex.ru

ВАГАНОВА Наталья Владиславовна – Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН. Россия, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23. E-mail: nvag@yandex.ru

АСМИНГ Владимир Эрнестович – Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Россия, 184200, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14. E-mail: asming@krsc.ru

БАЛУЕВ Александр Сергеевич – Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН). Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7. E-mail: albaluev@yandex.ru

АСМИНГ Светлана Викторовна – Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”. Россия, 184200, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14. E-mail: asmingsv@krsc.ru

METADATA IN ENGLISH

About the journal

SEISMICHESKIE PRIBORY, ISSN: 0131-6230, eISSN: 2312-6965, DOI: 10.21455/si, http://elibrary.ru/title_about.asp?id=25597
English Translation: Seismic Instruments, ISSN: 0747-9239 (Print) 1934-7871 (Online), <https://link.springer.com/journal/11990>

Seismicity of the White Sea region

A.N. Morozov^{1,2}, N.V. Vaganova², V.E. Asming³, A.S. Baluev⁴, S.V. Asming³

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

² Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

³ Kola Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

⁴ Geological Institute of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: A.N. Morozov, e-mail: morozovalexey@yandex.ru

Abstract. The history of instrumental observations in the north-west of the East European platform and seismological study of the White Sea region is presented. A characteristic of the modern seismicity of the White Sea region is presented and the strongest earthquake for the region in recent decades, which occurred on November 5, 2019, which, according to some features, can be attributed to the unique for the region, is considered in detail. The epicenter of the earthquake is located in the area of the interbasin isthmus separating the Kandalaksha and