

УДК 55(1/9)

А.А. Сенцов¹, А.О. Агибалов²

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗМОЖНЫХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ФЕННОСКАНДИИ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧНОСТИ И КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ФГБУН «Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН»,
123242, Москва, Большая Грузинская ул., 10, стр. 1
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Schmidt Earth Physics Institute RAS, 123242, Moscow, Bol'shaya Gruzinskaya str., 10-1
Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Работа посвящена проблеме выделения зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ) Фенноскандии, для решения которой было проведено структурно-геоморфологическое дешифрирование, выполнены анализ сейсмичности и компьютерное моделирование новейшей геодинамики. По результатам структурно-геоморфологического дешифрирования рассматриваемая территория разделена на 6 крупных блоков. Компьютерное моделирование показало, что каждый из них характеризуется определенным типом напряженного состояния в новейшее время, а также позволило рассчитать вероятность формирования новых разрывов малой протяженности. В пользу достоверности построенных моделей свидетельствует установленная численная корреляция между этим параметром и плотностью эпицентров землетрясений. На основе полученных данных о плотности эпицентров землетрясений и участках возможного формирования новых разрывов разработана схема зон ВОЗ Фенноскандии.

Ключевые слова: сейсмичность, Фенноскандия, компьютерное геодинамическое моделирование, зоны возможных очагов землетрясений.

The work is devoted to the problem of identifying zones of seismic generation zones of Fennoscandia, for the solution of which structural-geomorphological interpretation was carried out, seismicity analysis and computer modeling of the latest geodynamics were performed. According to the results of structural-geomorphological interpretation, the territory under consideration was divided into 6 large blocks. Computer modeling showed that each of them is characterized by a certain type of stress state in recent times, and also allowed us to calculate the probability of the formation of new short-distance faults. The reliability of the constructed models is evidenced by the established numerical correlation between this parameter and the density of earthquake epicenters. Based on the data on the density of earthquake epicenters and areas of the possible formation of new faults, a map of seismic generation zones of Fennoscandia was developed.

Key words: seismicity, Fennoscandia, computer geodynamic modeling, seismic generation zones.

Введение. Анализ сейсмичности Фенноскандии — актуальная и интересная задача, о значимости которой свидетельствует большое количество отечественных и зарубежных публикаций. Так, детальному изучению сейсмогенерирующих разломов Финляндии посвящены статьи [Sutinen et al., 2014; Ojala et al., 2017], палеосейсмодислокации и активные разрывные нарушения Швеции описаны в работах [Mörner, 2004; Smith et al., 2014]. К обзорным работам обобщающего характера относятся труды [Kukonen et al., 2010; Olesen et al., 2013]. Различные схемы сейсмоактивных зон российской части Балтийского щита приведены в [Землетрясения..., 2007; Никонов, Шварев, 2015; Панасенко, 1969; Юдахин, 2002]. В зарубежной литературе также употребляется термин «зоны возможных очагов землетрясений» (seismic generation zones). Однако вопрос о характере распределения

зон ВОЗ на территории Скандинавских стран остается не до конца решенным. Нами предложена схема зон ВОЗ всей территории Фенноскандии, составленная с использованием традиционных и современных методов, к которым относится компьютерное геодинамическое моделирование, позволившее по-новому подойти к решению проблемы выявления сейсмоактивных участков.

Материалы и методы исследований. Для выделения зон ВОЗ на территории Фенноскандии проведена структурно-геоморфологическое дешифрирование, анализ сейсмичности и компьютерное геодинамическое моделирование.

Методика структурно-геоморфологического дешифрирования предполагает выявление «слабых» зон по комплексу геоморфологических признаков: рисунку эрозионной сети, очертаниям береговых линий озер, расположению вертикальных стенок

¹ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, науч. с.; e-mail: Alekssencov@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, инженер; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; e-mail: Agibalo@yandex.ru



Рис. 1. Карта «слабых» зон Фенноскандии, составленная методом структурно-геоморфологического анализа: 1 — «слабые» зоны; 2 — населенные пункты

и уступов, по перегибам склонов и т. п. «Слабые» зоны могут быть как зонами повышенной трещиноватости, границами литологических разностей, так и разрывными нарушениями [Костенко, 1999]. После визуального дешифрирования проводился анализ пространственного рисунка выделенных «слабых» зон. Если в их расположении была видна определенная закономерность, например, эшелонирование или смещение в одном направлении вдоль более крупной зоны, то по рисунку этих зон выделены предполагаемые активные разрывные нарушения. Нами выполнено структурно-геоморфологическое дешифрирование цифровой модели рельефа [Becker et al., 2009], космических изображений и топографических карт в масштабе 1:2 500 000, позволившее выявить около 2700 «слабых» зон (рис. 1), построить схемы их плотности и блоковой делимости территории. Полученные данные использовались в качестве фактического материала для разработки геодинамических моделей.

Для того чтобы проанализировать характер распределения эпицентров землетрясений и построить карту их плотности, был составлен сводный сейсмологический каталог, включающий в себя в себя данные [Сейсмологический..., 2019а-в]. Из сводного каталога исключена информация о техногенной сейсмичности.

При проведении компьютерного моделирования новейшей геодинамики Фенноскандии использовалась цифровая модель рельефа, построенная по радарным снимкам Aster с разрешением 500×500 м, осредненные физико-механические параметры среды (коэффициенты Пуассона и внутреннего трения), а также сетка активных разломов. К последним относятся сейсмолинементы и активные дизъюнктивные нарушения, рассмотренные в работах [Землетрясения..., 2007; Kukkonen et al., 2010; Olesen et al., 2013]. Нами проинтерпретированы наиболее протяженные и хорошо выраженные в рельефе «слабые» зоны как предполагаемые активные разломы. Моделирование проводилось с помощью программы RMS 2013 компании «Rohag». Методика работ заключалась в том, что по высотным отметкам рельефа была построена поверхность в формате «Grid», на которую нанесена сетка активных разломов (достоверных и предполагаемых). С помощью модуля Fracture modeling были заданы осредненные значения коэффициентов Пуассона (0,25) и внутреннего трения (0,6), а также ориентировки внешних главных нормальных осей напряжений. В [Руководство..., 2019] отмечено, что моделирование с использованием указанных значений геомеханических констант допустимо, поскольку они принципиально не влияют на результаты рас-

четов. Глубина моделей устанавливалась в 25 км, поскольку на ней, согласно [Иванов, Иванов, 2018], расположена граница между пластическими зонами сиалической и мафической коры.

Нами сделано предположение о том, что ориентировка внешних главных нормальных осей напряжений меняется в пределах Фенноскандии, поэтому для каждого из выделенных 6 блоков построена серия геодинамических моделей. При моделировании были заданы различные ориентировки внешних нагрузок: азимуты простирания осей сжатия и растяжения варьируют от 0 до 165° с шагом 15°. Оценка достоверности построенных моделей проводилась путем сопоставления рассчитанной вероятности формирования новых разрывов малой протяженности с плотностью эпицентров землетрясений. Возможность сравнения этих параметров связана с тем, что расчетные алгоритмы, используемые при моделировании, применяются при прогнозе сейсмических событий [King, Cocco, 2001].

При моделировании предполагается, что модель состоит из упругого однородного материала, основные физико-механические свойства которого заданы как начальные условия. Кроме того, принимается ряд допущений о геометрии активных разломов (которые не должны пересекаться), величинах напряжений, считающихся достаточными для возникновения новых разрывов малой протяженности. Более подробно эти допущения рассмотрены в [Руководство..., 2019]. Под воздействием внешней нагрузки в связи с влиянием активных разломов, рассматриваемых как неоднородности, происходит перераспределение напряжений, в результате которого на некоторых площадках достигается сочетание нормального и касательного напряжений, приводящее, согласно теории Мора, к нарушению прочности и возникновению новых разломов малой протяженности. Таким образом, применение компьютерного моделирования позволило сделать предположения о типах напряженного состояния, проявляющихся на территории Фенноскандии в новейшее время, и выделить участки, отличающиеся высокими значениями вероятности формирования новых разрывов, взятыми по модулю. Как показывает опыт применения программного продукта RMS 2013 для геодинамического моделирования, повышенные отрицательные значения вероятности образования разломов малой протяженности связаны с областями, в пределах которых формируются структуры растяжения.

Выделение зон ВОЗ проводилось по максимумам плотности эпицентров землетрясений, расположенных в пределах областей, для которых вероятность формирования новых разломов >0,80. Кроме того, проведено сопоставление средней сейсмической энергии с гравитационными вариациями, измеренными с помощью системы

GRACE в виде отклонения от поверхности геоида [Gravity..., 2019]. Они связаны с временными вариациями гравитационного поля. Подобные работы проводились ранее для территорий активных континентальных окраин [Mikhailov et al., 2014].

Результаты исследований и их обсуждение. Структурно-геоморфологическое дешифрирование и анализ распределения эпицентров современных землетрясений позволили разделить исследуемую территорию на ряд крупных блоков (рис. 1). Блок 1 (табл. 1) выделен по изменению простирания береговой линии Ботнического залива (с северо-западного на северо-восточное) и по изгибу Скандинавских гор (с восток-северо-восточного на северо-восточное). Граница между блоками 3–2 и 4–2 проведена по перегибу рельефа, частично совпадающему с границей Скандинавских гор. Границы между блоками 3–4 и 3–5 проведены по изменению береговой линии Ботнического залива, а также по приуроченности к этой границе крупных «слабых» зон северо-западного простирания. Границы блоков 5–6 и 4–5 проведены по пространственному положению эпицентров землетрясений. Всего было выделено 6 блоков, установлены предполагаемые активные разрывные нарушения в их пределах. Сопоставление результатов структурно-геоморфологического дешифрирования и анализа сейсмичности показало наличие численной корреляции между плотностями эпицентров землетрясений и «слабых» зон. Установлено, что коэффициент корреляции Пирсона между этими параметрами при радиусе поиска 250 км составляет –0,40. При исключении из рассмотрения землетрясений с магнитудой ≤3 значение коэффициента возрастает по модулю до «–0,52». Подобная отрицательная корреляция может быть связана с накоплением упругой энергии в пределах наименее тектонически раздробленных блоков, что приводит к возникновению землетрясений с высокой магнитудой, в то время как на территории

Таблица 1

Краткое описание новейшего поля напряжений Фенноскандии

№ п/п	Название блока	Тип внешней нагрузки на новейшем этапе	Азимут простирания оси максимального сжатия	K_{Π}^*
1	Венусланд	сдвиг	285°	0,37
2	Фьордланд	сдвиг	315°	–0,47
3	Инсаммер	растяжение	340°	–0,50
4	Портипадан	сжатие	315°	0,43
5	Ярвидол	сжатие	330°	–
6	Ладога	сжатие	320°	–

* K_{Π} — коэффициент корреляции Пирсона между плотностью эпицентров землетрясений и вероятностью формирования новых разрывов малой протяженности, рассчитанной с помощью компьютерного моделирования.

слабосейсмичных участков с большим количеством разрывных нарушений и зон трещиноватости происходит быстрая релаксация напряжений. Таким образом, исследования позволили определить характер взаимосвязи между геоморфологическим строением региона и сейсмичностью.

Компьютерное моделирование позволило сделать выводы об ориентировках главных нормальных осей напряжений на новейшем этапе в пределах разных блоков, а также выявить численную корреляцию между вероятностью формирования новых разрывов малой протяженности и плотностью эпицентров землетрясений (табл. 1; рис. 2, 3). Установлено, что большая часть сейсмических событий связана с областями, где вероятность формирования новых разрывов малой протяженности составляет $\geq 0,80$. Определенные с помощью моделирования ориентировки главных нормальных осей напряжений, в целом, хорошо согласуются с опубликованными в работе [Keiding et al., 2015] решениями фокальных механизмов очагов землетрясений. Для блоков 5 и 6 не удалось выявить статистически значимую корреляцию между плотностью эпицентров землетрясений и вероятностью формирования новых разрывов

малой протяженности, поскольку эти участки характеризуются слабой сейсмичностью. Можно предположить, что преобладание северо-западного растяжения в центральной части Фенноскандии (блок 3), сменяющееся обстановками сжатия и сдвига, с осью сжатия, ориентированной в северо-западном направлении, связано с повышенной скоростью гляциоизостатического поднятия сводовой части Фенноскандии [Keiding et al., 2015]. Кроме того, существует точка зрения, предполагающая существование в центральной части Фенноскандии мантийного плюма [Цветкова и др., 2019]. Возможно, поднятие этого плюма является одним из факторов, обуславливающих проявление обстановки растяжения в пределах блока 3.

С 1958 по 2014 г. на рассматриваемой территории инструментально зафиксировано 6044 землетрясения, из них 233 имела магнитуду ≤ 3 . Наибольшая сейсмическая активность характерна для западного побережья изучаемой территории, в пределах которого эпицентры землетрясений группируются в линейные области («сейсмолинеаменты») протяженностью до 1500 км (рис. 3), ориентированные преимущественно вдоль контуров

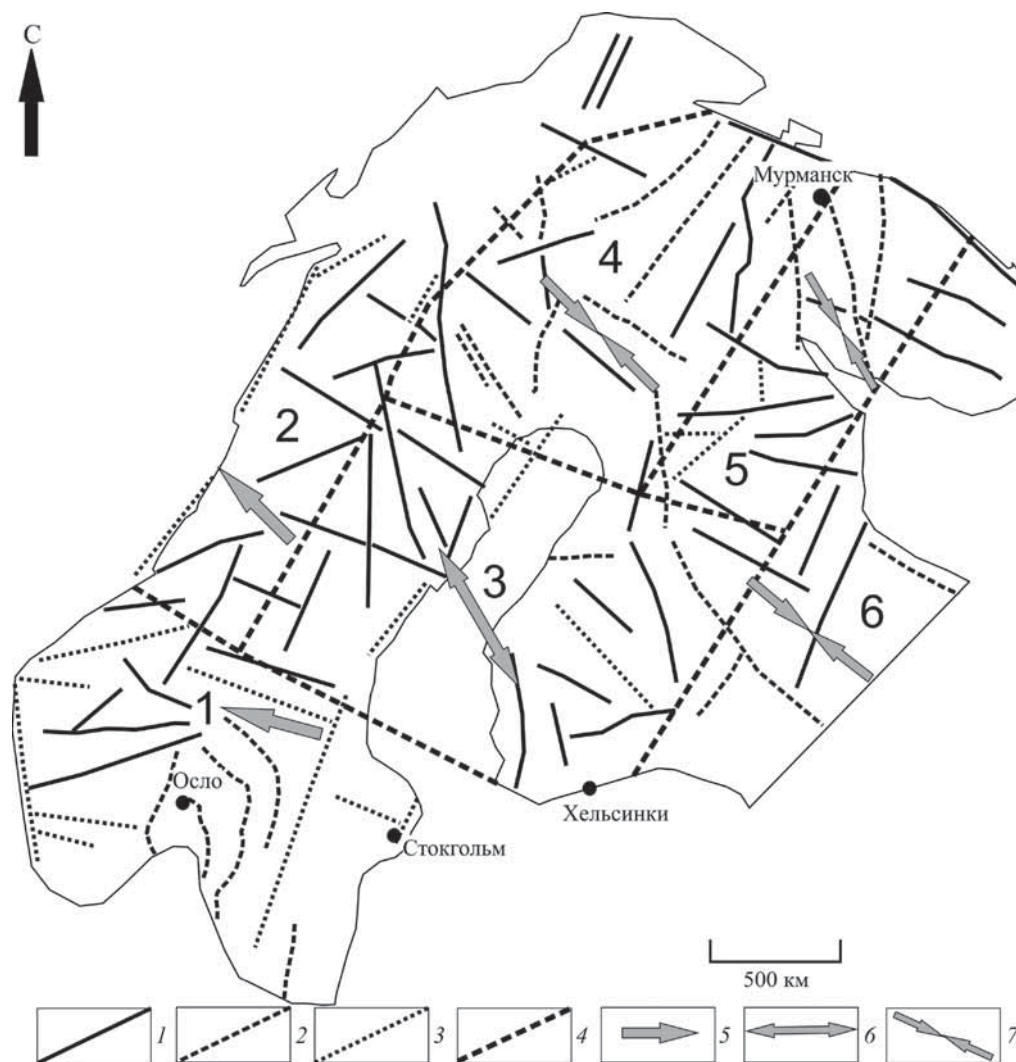


Рис. 2. Схема блоковой делимости Фенноскандии, составленная на основе анализа геоморфологических данных и пространственного распределения эпицентров землетрясений: 1–3 — активные линейные тектонические структуры: 1 — достоверные разрывные нарушения; 2 — предполагаемые разрывные нарушения, выделенные по геоморфологическим признакам; 3 — сейсмолинеаменты; 4 — границы блоков; 5 — ориентировка оси сжатия, сдвиговый тип напряженного состояния; 6 — ориентировка оси растяжения, тип напряженного состояния — горизонтальное растяжение; 7 — ориентировка оси сжатия, тип напряженного состояния — горизонтальное сжатие. Цифрами обозначены номера блоков: 1 — Венусланд, 2 — Фьордланд, 3 — Инсаммер, 4 — Портипадан, 5 — Яарвидол, 6 — Ладога

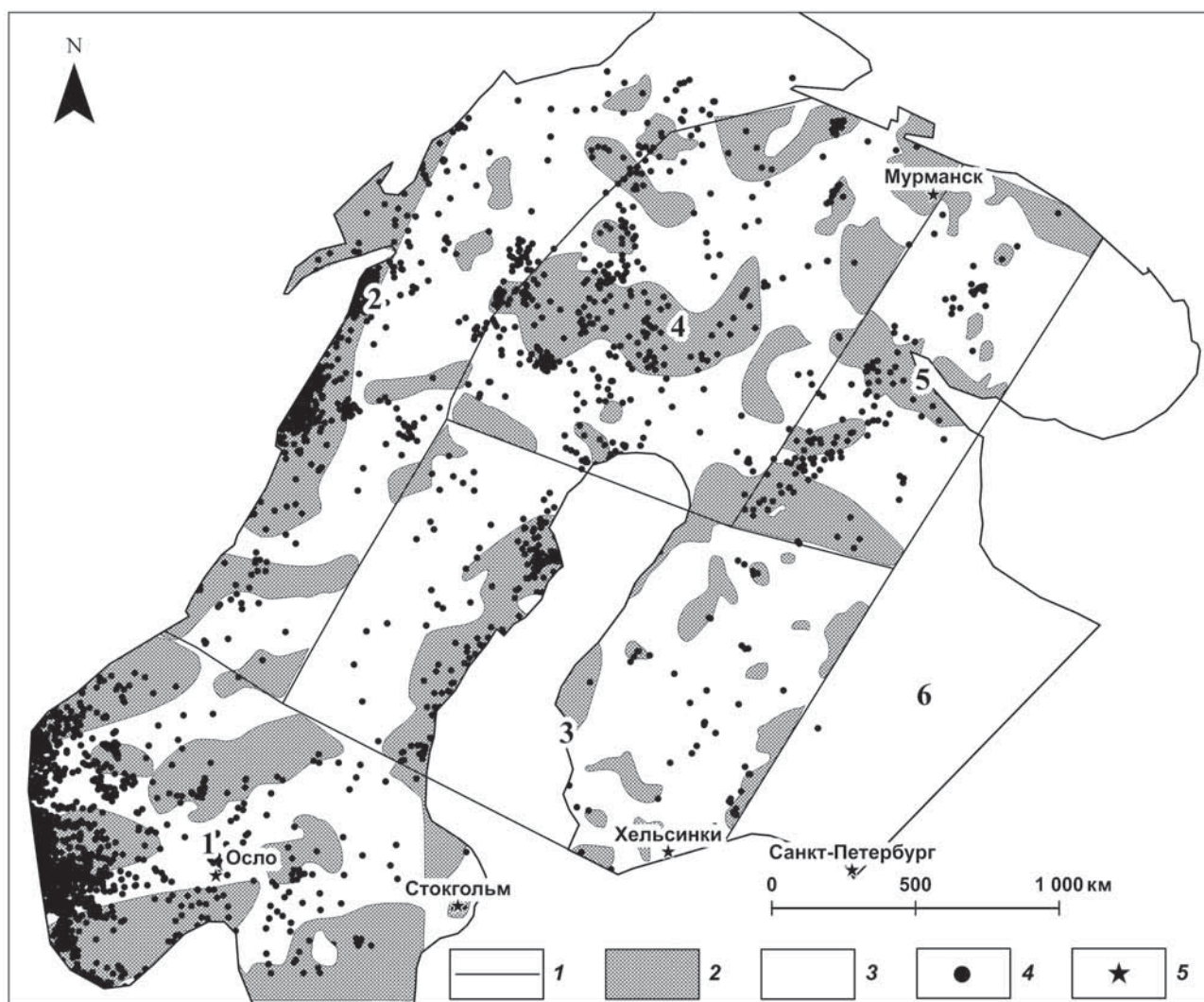


Рис. 3. Схема участков формирования новых разрывов малой протяженности Фенноскандии, составленная по данным компьютерного геодинамического моделирования: 1 — границы блоков, различающихся по ориентировкам главных нормальных осей напряжений в новейшее время; 2 — участки, для которых вероятность образования разломов малой протяженности превышает 0,80; 3 — участки, для которых вероятность образования разломов малой протяженности $< 0,80$; 4 — эпицентры землетрясений; 5 — населенные пункты. Цифрами обозначены номера блоков: 1 — Венусланд, 2 — Фьордланд, 3 — Инсаммер, 4 — Портипипадан, 5 — Ярвидол, 6 — Ладога

береговой линии. Очаги почти всех землетрясений расположены в глубинном интервале 10–20 км. Лишь у 64 сейсмических событий очаг находился на большей глубине. По данным о характере распределения эпицентров землетрясений и участков наиболее вероятного формирования новых разрывов малой протяженности построена схема зон ВОЗ (рис. 4, табл. 2). При этом выделенная нами Финско-Российская зона ВОЗ частично совпадает с показанной в работе [Панасенко, 1969] Куусамо-Порьегубской ВОЗ, Беломорская — с континентальной частью Кандалакшской ВОЗ, Апатитовая — частично совпадает с Хибинско-Ловозерской ВОЗ, Ботническая, Финско-Российская и Шведско-Российская подтверждают Ботний-Финмаркскую ВОЗ. Согласованность расположения зон ВОЗ, установленных разными методами, свидетельствует в пользу достоверности полученных результатов.

Сопоставление выделившейся средней сейсмической энергии с гравитационными вариациями, измеренными с помощью системы GRACE в виде отклонений от поверхности геоида (мм), позволило установить численную корреляцию между этими параметрами, рассмотренными за временной интервал с 2001 по 2008 г. Коэффициент корреляции Пирсона равен 0,46 при осреднении значения сейсмической энергии в пределах ± 3 месяцев от экстремума на графике отклонений от поверхности геоида (рис. 5).

Заключение. Проведенные исследования позволили разделить территорию Фенноскандии на 6 блоков, в пределах которых на новейшем этапе проявляются разные типы напряженного состояния. В целом центральная часть Фенноскандии испытывает северо-западное растяжение, а на периферии преобладают обстановки сжатия и сдвига с осями сжатия, ориентированными в

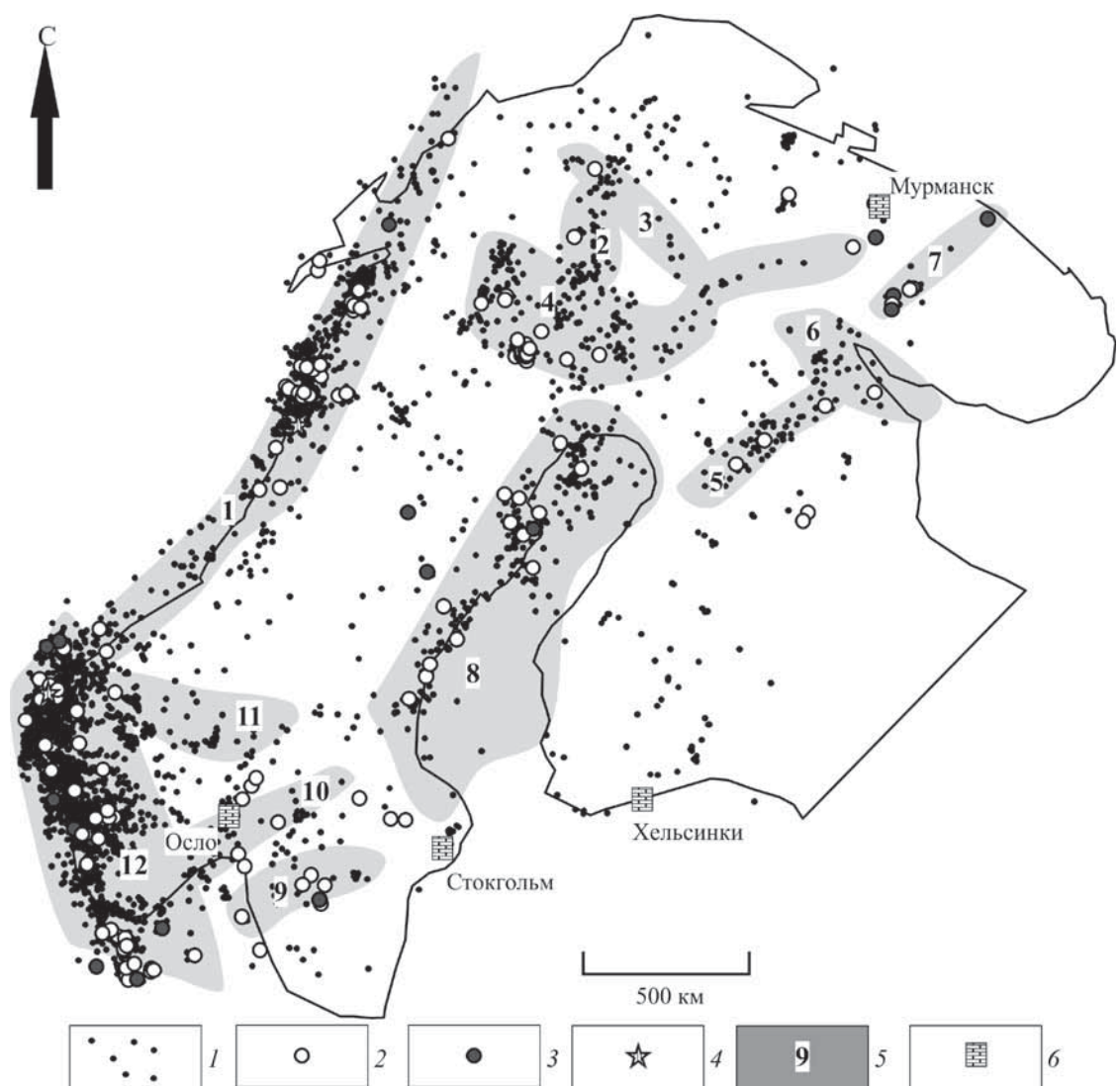


Рис. 4. Карта зон ВОЗ территории Фенноскандии: 1–4 – эпицентры современных землетрясений с магнитудами: 1 – <3; 2 – 3–4; 3 – 4–5; 4 – >5; 5 – зоны ВОЗ и их номера: 1 – Норвежская, 2 – Финско-Шведско-Норвежская, 3 – Финско-Норвежская, 4 – Шведско-Российская, 5 – Финско-Российская, 6 – Беломорская, 7 – Апатитовая, 8 – Ботническая, 9 – Венернская, 10 – Осло, 11 – Центрально-Норвежская, 12 – Бергенская; 6 – города

Таблица 2

Краткое описание выделенных зон ВОЗ

№ п/п	Название зоны ВОЗ	Максимальная магнитуда землетрясений	Тип напряженного состояния и ориентировка оси сжатия	
			по данным компьютерного моделирования	по данным о решении фокальных механизмов очагов землетрясений
1	Норвежская	5,4	сдвиг, 315°	сдвиг, 300–315°
2	Финско-Шведско-Норвежская	3,3	сжатие, 315°	сжатие, 315–330°
3	Финско-Норвежская	3,7	сжатие, 315°	сжатие, 315–330°
4	Шведско-Российская	3,6	сжатие, 315°	сжатие, 315–330° или 45–60°
5	Финско-Российская	3,5	растяжение, 330°	растяжение/ сдвиг, 240°
6	Беломорская	3,2	сжатие, 330°	-
7	Апатитовая	4,7	сжатие, 330°	-
8	Ботническая	4,1	растяжение, 330°	растяжение, 315–330°
9	Венернская	4,8	сдвиг, 285°	сдвиг, 300°
10	Осло	3,8	сдвиг, 285°	сбросо-сдвиг, 210°
11	Центрально-Норвежская	3,9	сдвиг, 285°	сдвиг, 270°
12	Бергенская	5,2	сдвиг, 285°	взбросо-сдвиг, 210°

Примечание. Максимальные магнитуды землетрясений указаны по [Сейсмологический..., 2019а-в], данные о решении фокальных механизмов очагов землетрясений приведены согласно [Keiding et al., 2015].

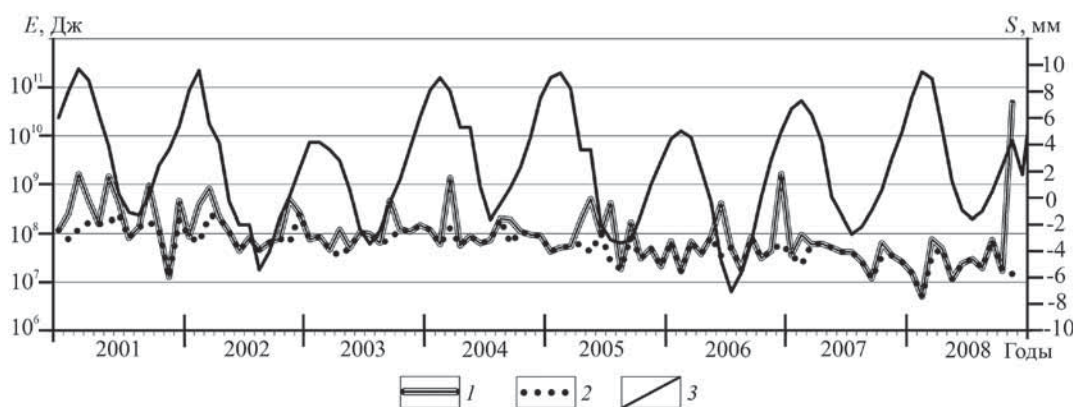


Рис. 5. Сравнение временных вариаций сейсмической энергии (E) и гравитационными вариациями (в отклонении от поверхности геоида) по данным системы GRACE (S): 1 — сейсмическая энергия (E , Дж); 2 — сейсмическая энергия землетрясений с магнитудами 3 (Дж); 3 — отклонения от поверхности геоида (S , мм)

северо-западном направлении. Для каждого блока были разработаны геодинамические модели, объясняющие современную сейсмичность. Полученные путем компьютерного моделирования данные о вероятности формирования разрывов малой протяженности наряду с картой плотности эпицентров землетрясений, построенной на основе составленного авторами сводного сейсмологического каталога, позволили выделить 12 зон ВОЗ. Согласованность схем зон ВОЗ, составленных нами и Г.Д. Панасенко [Панасенко, 1969], свидетельствует в пользу достоверности полученных результатов и указывает на возможность применения компьютерного геодинамического моделирования

для выделения сейсмоактивных участков. Кроме того, была установлена корреляция между средней сейсмической энергией и гравитационными вариациями по данным системы GRACE для всей территории Фенноскандии. Эти данные могут быть в дальнейшем использованы для прогноза землетрясений по времени.

Благодарности. Авторы выражают благодарность российско-шведскому коллективу «InSamer» за возможность использовать название в работе.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловчинко, Ю.К. Щукина. Кн. 1. Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 381 с.

Костенко Н.П. Геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 379 с.

Михайлов В.О., Тимошкина Е.П., Ляховский В. Сравнительный анализ временных вариаций глобального гравитационного поля по данным спутников ГРЕЙС в областях трех недавних гигантских землетрясений // Физика Земли. 2014. № 2. С. 29–40.

Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Мат-лы Междунар. конф. «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». Нью-Йорк, 2015. С. 243–251.

Панасенко Г.Д. Сейсмические особенности северо-востока Балтийского щита. Л.: Наука, 1969, 184 с.

Руководство пользователя «Analysis Package Reservoir Modelling System (RMS)», 2012. URL: www.geodisaster.ru/index.php?page=uchebnye-posobiya-2 (дата обращения: 01.12.2019).

Сейсмологический каталог Американской геологической службы. URL: <https://earthquake.usgs.gov/> (дата обращения: 01.12.2019а).

Сейсмологический каталог единой геофизической службы РАН. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl> (дата обращения: 01.12.2019б).

Сейсмологический каталог Хельсинского университета. URL: <http://www.seismo.helsinki.fi/english> (дата обращения: 01.12.2019в).

Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Главная геодинамическая граница и сейсмическая визуализация плюмов Восточно-Европейской платформы // Геофизический журнал. 2019. Т. 41, № 1. С. 137–152.

Юдахин Ф.Н. Геодинамические процессы в земной коре и сейсмичность континентальной части европейского Севера // Литосфера. 2002. № 2. С. 3–23.

Becker J.J., Sandwell D.T., Smith W.H.F. et al. Global bathymetry and elevation data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS // Marine Geodesy. 2009. Vol. 32 (4). P. 355–371.

Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Mission. URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/grace> (дата обращения: 01.12.2019).

Keiding M., Kreemer C., Lindholm C.D. et al. A comparison of strain rates and seismicity for Fennoscandia: depth dependency of deformation from glacial isostatic adjustment // Geophys. J. Intern. 2015. Vol. 202. P. 1021–1028.

King G.C.P., Cocco M. Fault interaction by elastic stress changes: New clues from earthquake sequences. Advances in Geophysics. 2001. Vol. 44. P. 1–38.

Kukkonen I.T., Olesen O., Ask M. V.S. PFDP Working Group Postglacial Faults in Fennoscandia: Targets for scientific drilling // GFF. 2010. Vol. 132. P. 71–81.

Mikhailov V.O., Timoshkina E.P., Hayan M. et al. Comparative study of temporal variations in the Earth's gravity field using GRACE gravity models in the regions of three

recent giant earthquakes // *Physics of the Solid Earth*. 2014. Vol. 50 (2). P. 177–191.

Mörner N.-A. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden. Primary structures and secondary effects // *Tectonophysics*. 2004. Vol. 380. P. 139–157.

Ojala A.E.K., Mattila J., Ruskeeniemi T. et al. Postglacial seismic activity along the Isovaara–Riikonkumpu fault complex // *Global and Planet. Change*. 2017. Vol. 157. P. 59–72.

Olesen O., Bungum H., Dehls J. et al. Neotectonics, seismicity and contemporary stress field in Norway — mech-

anisms and implications // *Quaternary Geology of Norway*, Geological Survey of Norway. Spec. Publ. 2013. Vol. 13. P. 145–174.

Smith C.A., Sundh M., Mikko H. Surficial geology indicates early Holocene faulting and seismicity, Central Sweden // *Intern. J. Earth Sci.* 2014. Vol. 103. P. 1711–1724.

Sutinen R., Hyvönen E., Kukkonen I. LiDAR detection of paleolandslides in the vicinity of the Suasselkäpostglacial fault, Finnish Lapland // *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. Vol. 27. P. 91–97.

Поступила в редакцию 29.09.2020

Поступила с доработки 30.10.2020

Принята к публикации 30.10.2020