

**К ГЕОДИНАМИКЕ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА
В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ:
ОБЗОР И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

С. Б. Николаева, В. Я. Евзеров

Геологический институт Кольского научного центра РАН

Поступила в редакцию 3 ноября 2017 г.

Аннотация: охарактеризованы основные составляющие геодинамики Кольского региона. Наряду с относительно медленными основными рельефообразующими и гляциоизостатическими процессами в позднем плейстоцене и голоцене имели место быстро протекающие сейсмотектонические процессы. Рассматриваются различные типы палеосейсмодеформаций – геологических свидетельств сильных палеоземлетрясений, приводятся новые данные об их возрасте, интенсивности, соотношении со структурами, с характером гляциоизостатического поднятия и перемещениями отдельных блоков. Снижение сейсмической активности от позднеледниковья к настоящему времени обусловлено затухающим гляциоизостатическим поднятием щита и переходом ведущей роли от вертикально направленных сил гляциоизостазии к горизонтально сжимающим напряжениям.

Ключевые слова: геодинамика, гляциоизостазия, сейсмичность, землетрясения, палеосейсмодеформации, Голоцен, Кольский регион, Балтийский щит.

**ON GEODYNAMICS OF THE KOLA REGION IN THE LATER PLEISTOCENE
AND HOLOCENE: THE REVIEW AND RESULTS OF THE STUDIES**

Abstract: the main components of the geodynamics of the Kola region are characterized. It is shown that, along with relatively slow main relief-forming and glacioisostatic processes in the Late Pleistocene and Holocene, fast seismotectonic processes occurred. Various types of palaeoseismic events – geological evidence of strong earthquakes are considered, new data are given about their age, intensity, correlation with structures and movements. The decrease in seismic activity from the Late glaciation to date is due to the dying down glacioisostatic uplift of the shield and the transition of the leading role from vertically directed forces of glacioisostasy to horizontally compressive stresses.

Key words: geodynamics, glacioisostasy, seismicity, earthquakes, palaeoseismic events, Holocene, Kola region, Baltic Shield.

Введение

Новейшая геодинамика Кольского региона, входящего в состав Балтийского кристаллического щита (БКЩ), представлена тектоническими, гляциоизостатическими движениями и сейсмотектоническими проявлениями. Движения земной коры на щите развивались преимущественно в форме региональных (медленных восходящих) и локальных движений. Региональные движения, в послеледниковое время осложнялись гляциоизостатическим поднятием и локальными перемещениями отдельных блоков по зонам разломов. В последнее десятилетие появились данные о быстрых наложенных сейсмотектонических перемещениях на БКЩ.

В статье представлены материалы по собственно тектоническим и гляциоизостатическим перемещениям

и результаты палеосейсмогеологических исследований. Цель статьи: реконструкция геодинамической активности за последние 10–12 тысяч лет на базе обобщения всех имеющихся материалов по четвертичной тектонике Кольского региона, существенная часть которых получена самими авторами или при их участии.

Все возрастающий в последние годы интерес к неотектоническим проявлениям и деформациям на платформенных территориях связан с обеспечением экологической безопасности и прогнозами различных природных катастроф, особенно в таких освоенных регионах Российской Арктики как Кольский полуостров.

Перемещения отдельных блоков земной коры

БКЩ представляет собой крупный выступ раннедокембрийского кристаллического фундамента Во-

сточно-Европейского кратона с выведенными на поверхность архей-протерозойскими глубокометаморфизованными кристаллическими породами с широким развитием денудационных поверхностей выравнивания. Кристаллические породы разбиты разломами и разрывами разного ранга и масштаба на сложную систему блоков [1]. Неотектоническая активизация территории началась в олигоцене [2]. С этого времени в ходе дифференцированных движений по обновленным и вновь заложенным разломам происходило оформление ее морфоструктурного плана. Современный рельеф и главные элементы новейшей тектоники показаны на рис. 1.

Конкретные материалы по тектоническим движениям блоков в Кольском регионе в четвертичное время имеются по последним 10–12 тысячам лет, то есть по заключительному периоду деградации поздневалдайского оледенения и послеледниковью. По геологическим и геоморфологическим данным установлено, что Хибинский и Ловозерский горные массивы (тундры) поднимаются в послеледниковое время со скоростью 0,15–0,20 мм/год и 1,2 мм/год соответственно [3, 4]. Кроме того, главным образом по результатам определения положения разновозрастных береговых линий морских бассейнов голоцена, выделены

на Кольском полуострове поднятия Чуна-Монче-Волчьих, Колвицких и Кандалакшских тундр, а на западе Кольского региона – Печенгское и Сариселян-Сальнотундровское [5]. Скорость относительного поднятия Печенгских тундр составляет 2 мм/год в расчете на весь голоцен или до 8 мм/год, если движения ограничивались только ранним голоценом [6]. Поднятие гор Сариселян-Тунтури на западе Кольского полуострова со скоростью 2,2 мм/год устанавливается только для позднего голоцена. Локальные позднечетвертичные перемещения блоков установлены в среднем течении реки Лотта, в верховьях реки Колы у озера Колозеро [6], в Верхнепонойской депрессии [7]. Относительное поднятие всех упоминавшихся горных массивов за голоцен составило несколько метров, максимум 10–20 м.

Блочные перемещения установлены в последние годы и в районе Кандалакшского залива Белого моря. Исследования геодинамической активности Беломорской котловины показали, что образование Колвицкого и углубление Кандалакшского грабенов (рис. 1) имели место вследствие противоположной направленности вращения Кольского и Карельского кристаллических массивов [8]. Переход от рифтогенной дивергенции к трансформному режиму, вероятно,



Рис. 1. Физическая карта Кольского региона с грабенами и крупнейшими разломами, обновлявшимися или сформировавшимися в позднем плейстоцене-голоцене по [8, 9].

произошел в начале голоцена. О предполагаемых тектонических перемещениях блоков меньшего масштаба в этом же районе сообщается в работе [10]. На основании морфоструктурного анализа и обработки результатов датирования поднятых береговых линий рассмотрены скорости поднятия отдельных разных блоков земной коры на Карельском берегу Кандалакшского залива. Авторами показано, что дифференцированные движения и разные скорости воздымания свойственны как крупным блокам с размерами в первые десятки километров, так и микроблокам с размерами в первые километры или сотни метров.

Блочные перемещения, вероятно, происходили по разломам разного ранга и разной кинематики. Известны данные о новейших сдвиговых смещениях по субмеридиональным разломам. В качестве примера можно привести установленные Д.С. Зыковым право- и левосторонние сдвиги в восточной половине побережья Мурмана, правда без уточнения времени их проявления [11], а также и районе Кольского залива [12]. Наиболее крупный из них, Волшепахский (рис. 1) ограничивает северное колено Кольского залива с востока. Геолого-геоморфологические данные свидетельствуют, что по нему произошло небольшое смещение после позднего дриаса. Блок, расположенный западнее северного колена, также испытал небольшое смещение. В его пределах по результатам изучения донных осадков озер, изолировавшихся от моря вследствие поднятия территории и расположенных на одинаковых высотных отметках, установлено новейшее перемещение, при котором проявилась не только гляциоизостатическая, но и собственно тектоническая составляющая, приведшая к его небольшому перекоосу [13].

Сведения о современных межблоковых движениях получены в результате инструментальных наблюдений, проводившихся в последние 15 лет в зонах активных разломов Хибинского горного массива [14]. Скорости смещений (поднятий) в разных блоках одного из таких разломов – Саамского, составляют 0,24–

0,72 мм/год, а относительная амплитуда – от нескольких метров до сотен метров. В целом же проблема движений отдельных блоков Кольского региона нуждается в дальнейшей разработке.

Гляциоизостазия

В периоды покровных оледенений под тяжестью льда прогибалась земная кора, а в процессе стаяния ледников происходило гляциоизостатическое поднятие территории. В обоих случаях в земной коре возникали напряжения, порождавшие землетрясения [15]. Поднятие земной коры было наибольшим там, где лед имел максимальную мощность. Гляциотектонические последствия поздневалдайского оледенения впервые были восстановлены В. Рамзаем [16] по высотному положению флювиогляциальных дельт вблизи краевой зоны ледника. Он реконструировал схему поднятия для всей Фенноскандии, которая в целом отвечала сложившимся представлениям об изменениях мощности ледникового покрова на указанной территории. Позднее реконструкции гляциоизостатического поднятия уделили внимание М. А. Лаврова [17] и Б. И. Кошечкин [5].

К настоящему времени получены более надежные данные о поднятии региона в послеледниковое время [18]. Изучались осадки озер прибрежно-морской зоны, расположенных в полосе между верхней морской границей и современным уровнем моря. Диагностировались озерные и морские осадки, и радиоуглеродным методом датировались отложения переходных зон между ними. В итоге строились графики перемещения береговой линии моря, а затем проводились изобазы поднятия. Появилась возможность реконструировать изобазы по разным временным срезам (рис. 2). Вновь полученные данные позволили установить, что скорость поднятия убывает во времени.

Уточненная схема изобаз поднятия побережья Кандалакшского залива за последние 8 тыс. лет (рис. 2Б), полностью подтвердила первоначальные наблю-

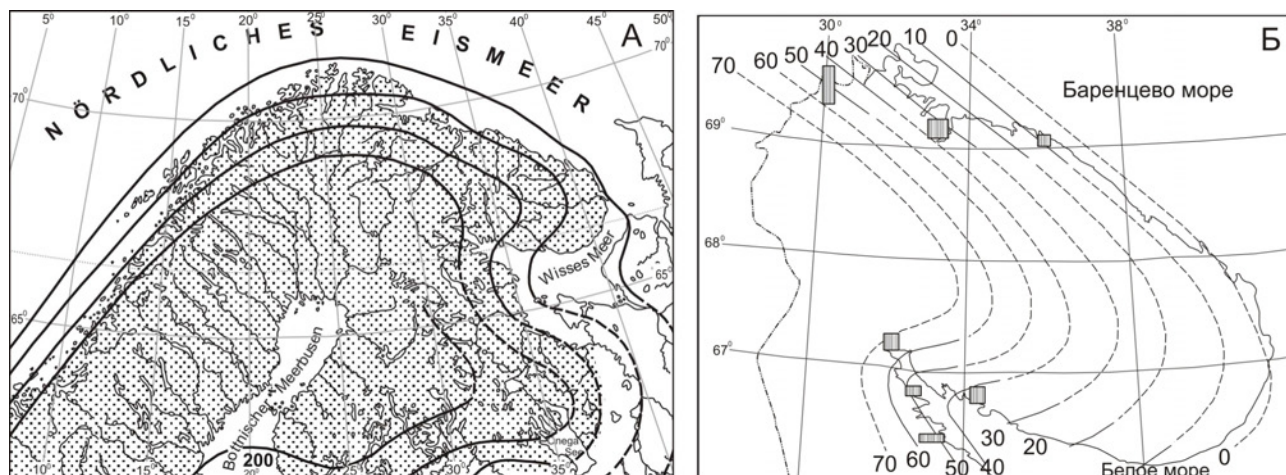


Рис. 2. Положение изобаз гляциоизостатического поднятия Кольского региона: А – схема изобаз поднятия Фенноскандии по [16]; Б – схема изобаз поднятия Кольского региона за последние 8 тыс. лет [18]. На рис. 2Б сплошными линиями показаны изобазы установленные, пунктиром – предполагаемые; прямоугольниками обозначены участки детальных работ по изучению осадков озерных котловин, изолировавшихся от моря в результате гляциоизостатического поднятия континента.

дения В. Рамзая. В этом районе нарушено ключевое положение гляциоизостатической модели: «чем толще ледник, тем выше воздымается территория после его стаивания». Мощность поздневалдайского ледника в заливе была, конечно же, больше, чем на прилегающих к заливу территориях. Однако изобазы огибают залив, поскольку в тектоническое погружение при образовании Колвицкого и углублении Кандакшского грабена, были вовлечены и окружающие породы.

Результаты

палеосейсмогеологических исследований

Один из ярких показателей новейшей и современной геодинамической активности территории – сейсмичность. Уровень сейсмической активности Балтийского щита оценивают как низкий [19]. Такие представления основываются преимущественно на данных современного мониторинга сейсмичности. И действительно, в настоящее время сейсмостанциями регулярно регистрируется большое количество слабых землетрясений магнитудой (M) $M \leq 3$. Однако результаты развивающихся в последнее время палеосейсмогеологических исследований существенно изменили эти представления. Независимыми группами исследователей в разных частях Фенноскандии, в том числе и в Кольском регионе обнаружены следы древних землетрясений – палеосейсмодеформации (ПСД), свидетельствующие о сильных сейсмических событиях позднего плейстоцена и голоцена [20–24]. Результаты таких исследований наряду с сеймотектоникой и изучением послеледниковых разломов открывают возможность определения пространственных и временных закономерностей возникновения сильных землетрясений и позволяют рассматривать сейсмогенез на платформах (щитах) как следствие гляциоизостази, так и тектоники.

Палеосейсмодеформации. В Кольском регионе выделены локальные сейсмонарушения в скальном субстрате и в рыхлых отложениях. Дислокации в скальном субстрате, следуя модифицированной классификации, приведенной в [25], можно разделить на две группы: (1) сеймотектонические, отражающие выход очага землетрясения на поверхность (первичные), (2) сейсмогравитационные и гравитационно-сеймотектонические, представляющие собой следствие сейсмических сотрясений (вторичные). Сеймотектонические дислокации образуются в результате косейсмических подвижек по плоскостям разломов и прямо отражают деформационные процессы в очаге. Это особый вид разрывных структур, связанных с сильными ($I_0 > VIII$ баллов, $M=6-6,5$) землетрясениями (I_0 – интенсивность, M – магнитуда). Разрывные смещения затрагивают как скальные, так и рыхлые породы преимущественно в плейстосейстовых областях и связаны с конкретными сейсмогенерирующими разломами. Вторичные ПСД образуются при сейсмических сотрясениях или за счет эрозионных и седиментационных откликов на сотрясения и

косейсмические поднятия и опускания.

Сеймотектонические дислокации Кольского региона представлены непротяженными (≤ 5 км) разрывами и разломами в фундаменте, часто развивающимися по древним (AR-PR) тектоническим зонам. В рельефе это приразломные уступы, ущелья, системы трещин и рвы, нарушающие морену последнего покровного оледенения или ледниковую полировку скальных пород (рис. 3). Длина отдельных сместителей в зонах разломов в основном составляет первые десятки-сотни метров, редко первые км. Таких послеледниковых нарушений немного.



Рис. 3. Фрагмент сброса в архейских гнейсах с опущенным юго-восточным крылом, нарушающий морену на водоразделе озер Бабинская Имандра – Вадозеро, юго-запад Кольского региона.

Значительно шире в рельефе и отложениях представлена группа вторичных нарушений. Сейсмогравитационные деформации – это крупные и крупноглыбовые вывалы и обвалы, блоки отседания от склонов, оползни, провалы, расседания вершин хребтов. Среди гравитационно-тектонических преобладают раздробления массивов, срывы, расщеления шириной ≥ 10 см, выколы-выдвиги отдельных блоков (средние размеры блоков $0,2 \times 0,5 \times 0,7$ м) по плоскостям отдельностей в горизонтальном направлении, глыбы-отторженцы от трещиноватых бортов массива, выбитые из основного тела массива блоки и пр. (рис. 4, 5). Все они отличаются от структур, образованных в результате морозного выветривания и обладают отчетливыми признаками сейсмогенности [23, 24].



Рис. 4. Стенки срыва сбросо-обвалов в борту уступа в гранулитах с обратным углом падения сместителя. Район Кандалакшских тундр.

Особое внимание заслуживает обнаружение сейсмодетформаций в рыхлых осадках Кольского региона, объединенных термином «сейсмиды» по [26]. Они выделены в разных генетических типах осадочного чехла: аллювиальных, озерных, морских, ледниково-морских, озерно-ледниковых, флювиогляциальных [27, 28]. Сейсмиды разнообразны и часто представлены конволютными и оползевыми текстурами, просадками в мягких грунтах, явлениями спонтанного разжижения песков (ликвифакцией), кластическими микродайками, отложениями мутьевых потоков, системами микросбросов, взбросов и надвигов. В кернах



Рис. 5. Расколы и трещины зияния в гнейсо-гранитах, нарушающие ледниковую полировку скал на севере Кольского полуострова, район пос. Шонгуй.

донных осадков озер, расположенных в зонах разломов, обнаружено несогласное и дислоцированное залегание, брекчированные слои, прослой песка и гравия в органогенных толщах, резкие изменения диатомовых комплексов и пр. [29–31].

Интенсивность и магнитуда палеоземлетрясений.

Определения интенсивности и магнитуд палеоземлетрясений все еще носит оценочный характер, и параметризация проведена лишь для нескольких участков. Один из них расположен на юго-западе Кольского региона – на западном борту впадины озера Экостровская Имандра, где проводились детальные палеосейсмогеологические исследования. Изучение различных типов ПСД в зоне новейшего разлома показало, что они могли быть образованы в результате сильных сейсмических событий, интенсивностью $I_0 \geq VII-VIII$ баллов [24]. На высокую интенсивность и магнитуду палеоземлетрясений ($M \geq 6$) за последние 13–14 тысяч лет указывает морфология и масштабы проявления ПСД и в других районах региона, прежде всего в крупных линейных зонах, ограничивающих полуостров с юга и севера [32]. Период повторения событий по разным линейам намечается пока только в первом приближении и составляет 1–2 тыс. лет [32].

Возраст палеоземлетрясений. Для определения возраста палеосейсмодеформаций использовались разные методы: радиоуглеродного датирования (^{14}C) соответствующих слоев, инфракрасной стимулированной люминесценции зерен калиевого полевого шпата (ИК-ОСЛ), микропалеонтологические (спорово-пыльцевой и диатомовый) анализы, палеогеографические реконструкции. Возраст ПСД и/или их временные интервалы сведены в табл. 1. Из множества изученных объектов в таблицу включены лишь те, по

которым к настоящему времени имеются опубликованные радиоуглеродные датировки (за исключением археологических данных и данных по историческим землетрясениям).

Представленная таблица не претендует на полноту, поскольку сейсмостатистика палеосейсмических событий к настоящему времени все еще недостаточна. Несмотря на это, нетрудно заметить, что наиболее часто, и, как будет показано в дальнейшем, наиболее мощные сейсмические события проявлялись в период дегляциации и раннего голоцена.

Пространственная локализация сейсмодеформаций и соотношение со структурами и движениями. На рис. 6 показаны участки, где проводилось наземное полевое изучение ПСД, а также по материалам дешифрирования аэрофото- и космоматериалов и анализа топографических карт масштаба 1:25000; 1:50000 выделены области концентрации остаточных деформаций земной коры (ОКС). Эти области локализируются в пределах небольших участков территории и возможно отвечают положению эпицентральных областей сильных палеоземлетрясений. Полевыми исследованиями выделены две такие области: к югу от Кольского фиорда, в районе г. Мурманска и его окрестностях и в центральной части, в районе Имандры [23, 24].

ОКС неравномерно распределены по территории региона: очевидные сгущения наблюдаются в западной половине, характеризующейся наиболее интенсивной величиной суммарных поздне- и послеледниковых поднятий, по сравнению с восточной частью (см. рис. 2Б). Увеличение амплитуд и скорости поднятия убывало с запада на восток. В раннем голоцене величина поднятия в районе Кандалакши составляла 40 м,

Таблица 1

Время проявления палеосейсмических событий на территории Мурманской области по материалам публикаций [23, 24, 27–31, 33, 34].

| № п/п | Район | Возраст | | Кол-во событий |
|-------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|
| | | по ^{14}C | Кал. | |
| 1 | Печенга | 8500(±100) | 9481(±81) | 1 |
| | | ≥ 10300 | ≥ 11843 | 3 |
| 2 | Ура | ≥ 10300 | ≥ 11843 | не менее 3-х |
| 3 | Сайда-губа | ≥ 10300 | ≥ 11843 | не менее 3-х |
| 4 | Полярный | 8000(± 200) | 8904(± 266) | 1 |
| 5 | Мурманск | 8950(± 100) | 100366(± 150) | 1 |
| 6 | Кола | ≥ 10300 | ≥ 11843 | не менее 3-х |
| 7 | Хибины | 11800 | 14148 | не менее 3-х |
| 8 | Экостровская Имандра | - | ~13000(± 500) | 3 |
| | | 7110 (± 80) – 10000 (± 200) | 7931 (± 72) – 11625(± 338) | |
| | | 2140 (± 30) – 2630 (± 125) | 2172 (± 95) – 2695 (± 172) | |
| 9 | Бабинская Имандра | 5620 (± 300) | 6440 (± 340) | 1 |
| 10 | Ковдор | 6500 (± 200) – 6679 (± 80) | 7357 (± 186) – 7546 (± 60) | 1 |
| 11 | Кандалакшский залив | - | 1800–1900 400–500 | 2 |

Примечания: 1. Порядковый номер соответствует номеру участка на карте рис. 6. 2. Значения календарного возраста (Кал.) приведены на основании калибровочной программы, опубликованной на сайте CalPal <http://www.calpal-online.de/>

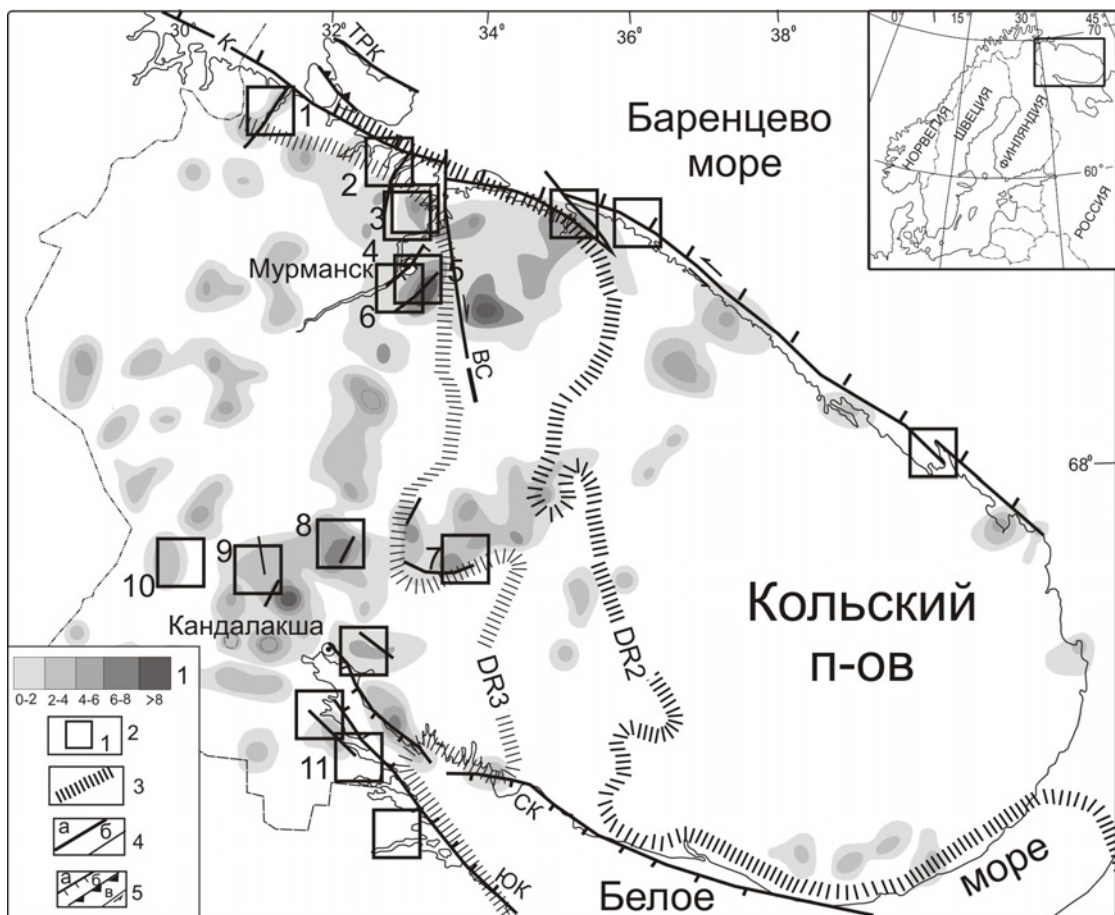


Рис. 6. Опорные участки изучения палеосейсмодеформаций Кольского региона и их соотношение с новейшими структурами и движениями. Условные обозначения: 1 – плотности остаточных деформаций на единицу площади (15x15км); 2 – участки полевого изучения ПСД и их номера; 3 – положение края активного льда в периоды среднего (DR2) и позднего (DR3) дриаса по [35]. 4-5: Разломы с признаками активизации в голоцене. 4 – главные (а), второстепенные (б), 5 – сбросы и взбросы (а), надвиги (б), сдвиги (в). Названия разломов: К – Карпинского, СК – Северо-Кандалакшский, ЮК – Южно-Кандалакшский, ВС – Волшепахский сдвиг, ТРК - линиямент Троллефьорд-Рыбачий-Кильдин (сдвиго-надвиг).

а в юго-западной части Мурманской области у государственной границы доходила до 100–120 м [18]. Кроме того, эти области концентрируются в пределах территории, которая была занята активным льдом в течение позднего и среднего дриаса, или вблизи краевых образований среднего дриаса, с внешней стороны (рис. 6). Такое распределение ОКС обусловлено, вероятно, наиболее быстрой дегляциацией территории в позднем дриасе, и наибольшим градиентом поверхности ледника в среднем дриасе и, соответственно, вероятно, и большей, по сравнению с предшествующими стадиями эволюции ледника, контрастностью напряжений, возникающих в земной коре, как при наступлениях ледника, так и при последующей дегляциации территории [36]. Отсутствие ОКС на востоке, скорее всего, связано не с недостаточной изученностью палеосейсмических проявлений ввиду труднодоступности этой территории, а с разницей в величине и амплитудах поднятий западной и восточной половин полуострова. Следует учитывать и то, что вся восточная часть Кольского полуострова, испытавшая в целом незначительное поднятие, в настоящее время начавшая опускаться [37], практически

асейсмична (за исключением самой прибрежной зоны сочленения Балтийского щита и Баренцевской плиты).

В структурно-тектоническом отношении ОКС наследуют зоны новейших крупных грабенов и разломов региона и тяготеют к локальным участкам активизированных разломов и блоков меньших масштабов. Так, ОКС маркируют тектоническую зону Кандалакшского залива – крупнейшую активную структуру рифейский грабен, наследующую и возрождающую рифейский грабен, а также Мурманскую зону с разломом «Карпинского» – тектонической границей первого порядка между Баренцевой плитой и БКЩ (рис. 6). Эти разломные зоны, заложенные еще в протерозое, продолжали унаследовано формироваться в палеозое, и подверглись обновлению в новейшее время, вплоть до голоцена.

Раздробленность и блоковое строение Балтийского щита определяет кинематическую и динамическую разнородность различных межблоковых движений. Подтверждением этому может быть относительно высокая палеосейсмическая активность в центральной части Кольского региона: грабенообразной депрессии

Имандровской неотектонической впадины и поднимающихся Хибинском и Ловозерском горных массивов, то есть в зонах наиболее интенсивных вертикальных перемещений.

Сопоставление схем распределения изолиний максимальных и минимальных горизонтальных напряжений с остаточными деформациями земной коры отражает определенную корреляцию неотектонических проявлений и, через плотностную модель литосферы, напряженного состояния верхнего уровня земной коры [38] (рис. 7, карты А и Б).

На основе сейсмических, гравиметрических и петрофизических материалов был произведен практический расчет величин действующих напряжений в верхней части земной коры северо-востока Балтийского щита, который показывает значительный вклад напряжений от плотностных неоднородностей в коре и от рельефа дневной поверхности [39]. На карте 7В показано, что максимальные касательные напряжения зафиксированы в основном в западной части региона, где их плотность на единицу площади больше, чем в восточной части. Кроме того, ориентировка площадок максимальных горизонтальных напряжений в пределах нескольких опорных участков изучения палеосейсмодеформаций (№ 3–6, 8, 9) совпадает с разломными зонами (или их сейсмогенерирующими фрагментами) имеющими северо-восточное простирание [24]. С областью максимальных горизонтальных растяжений совпадает район Кандалакшского залива и линия его продолжения на суше, где находятся области концентрации сейсмодеформаций и отмечается повышенная современная сейсмическая активность.

Во временном аспекте определенно просматривается следующая закономерность: большее число сеймотектонических событий приходится на период позднеледниковья и раннего голоцена (табл. 1). К этому же периоду приурочены и наиболее сильные события, что согласуется с распределением магнитуд и во всей Фенноскандии (рис. 8). В среднем и позднем голоцене число событий сокращается. В последнее тысячелетие такие события редки. Иными словами сейсмический режим в позднем плейстоцене и в начале голоцена был существенно выше, чем в настоящее время.

Совокупность и закономерности пространственного распределения различных деформаций земной коры определяются геодинамическими процессами разного генезиса. Это и латеральное воздействие на платформы со стороны смежных областей (как активных, так и относительно пассивных, в том числе соседних платформенных массивов) и воздействие глубинных источников тектонических сил. Для Кольского региона, как периферии Фенноскандинавского щита, на разрядку напряжений оказали воздействие локальные факторы, а дегляциация послужила спусковым механизмом, запустившим процессы дифференцированного блокового воздымания, развития трещиноватости и разломообразования, обусловившего начальные фазы деструкции земной коры и сейсмичность.

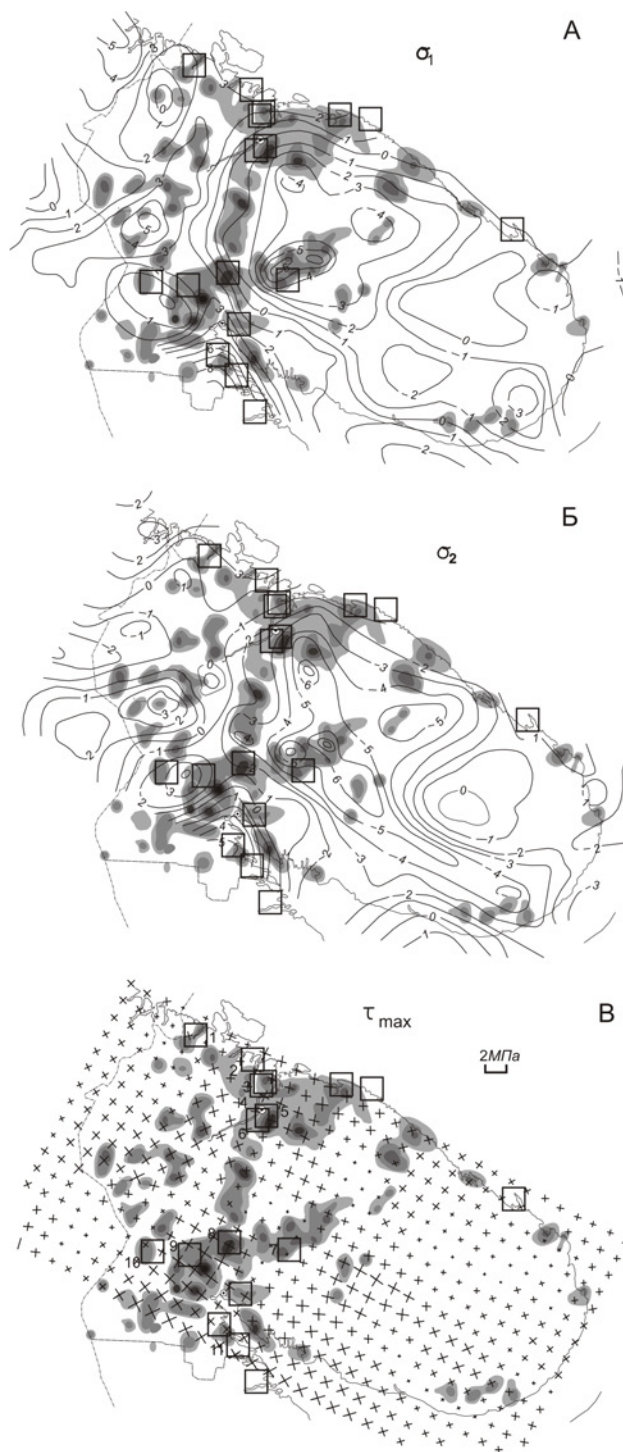


Рис. 7. Соотношение областей концентрации остаточных деформаций с главными горизонтальными напряжениями (изолинии в МПа) σ_1 и σ_2 (А, Б) и ориентацией площадок максимальных касательных напряжений (длина отрезков указывает величины τ_{max}) (В) по [39].

Снижение уровня сейсмической активности к настоящему времени, вероятно, также связано с несколькими причинами, одна из них – исчезновение ледниковой нагрузки. Влияние гляциоизостатического фактора в позднем плейстоцене и раннем голоцене способствовало разрядке напряжений и как следствие

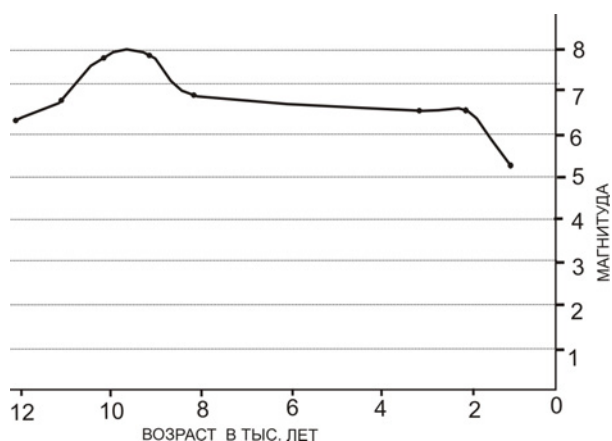


Рис. 8. Распределение максимальных оценочных магнитуд (за 1 тыс. лет) палеоземлетрясений Фенноскандии во времени (за ноль принят 2000г.). Исполнитель Н. Е. Прибылова [40].

– повышенной сейсмичности в этот период. Со временем, в среднем и позднем голоцене сейсмические события стали более редкими, влияние гляциоизостазии свелось к минимуму, а более значимой, вероятно, стала роль тектонического фактора. В последнее тысячелетие и настоящее время ведущая роль в тектоническом режиме перешла от вертикально направленных сил гляциоизостазии к горизонтально сжимающим напряжениям.

Заключение

Обобщение полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Геодинимика Кольского региона в позднем плейстоцене-голоцене определяется сочетанием гляциоизостатического поднятия и внутриплитных перемещений отдельных блоков. В результате этих движений в земной коре возникали и возникают напряжения, разрядка которых приводит к землетрясениям;

2. Кольский регион в течение периода дегляциации и в голоцене (~ 13–14 тыс. лет) был областью возникновения землетрясений различной интенсивности, в том числе и сильных, о чем свидетельствует проявление в рельефе и отложениях многочисленных следов землетрясений – палеосейсмодеформаций.

3. Тренд снижения сейсмической активности от позднеледниковья к настоящему времени связан с затухающим гляциоизостатическим поднятием щита и переходом ведущей роли от вертикально направленных сил гляциоизостазии к горизонтально сжимающим напряжениям.

4. Пространственное распределение палеосейсмодеформаций оказывается неравномерным, в основном оно коррелирует с областями повышенных величин и скоростей суммарных поднятий, а также с линейными разломными зонами новейшей и молодой активизации, часто унаследованными.

В заключение следует отметить, что к настоящему времени гляциоизостатический фактор создания напряжений практически исчерпан и, соответственно,

существенно сократилась и площадь потенциального проявления сильных землетрясений. Тектонический фактор сохранился и продолжает действовать. Поэтому главная задача дальнейших исследований – выделение сейсмогенерирующих тектонических структур и определение в их пределах периода накопления напряжений, вызывающих сильные землетрясения, то есть фактически реальной периодичности таких событий.

Благодарности. Авторы признательны д.ф.-м.н., профессору В. Н. Глазеву за внимательное прочтение, критические замечания и полезное обсуждение рукописи, что способствовало ее улучшению.

Исследования выполнены в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН», Геологический институт (ГИ КНЦ РАН) по темам госзаданий 0231-2015-0010; АААА-А16-116022610105-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земная кора восточной части Балтийского щита. – Л.: Наука, 1977. – 229 с.
2. Стрелков, С. А. Морфоструктуры северо-восточной части Балтийского щита и основные закономерности их формирования / С. А. Стрелков // Палеогеография и морфоструктуры Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1973. – С. 5–80.
3. Арманд, А. Д. Очерк формирования рельефа и четвертичных отложений Хибинских тундр / А. Д. Арманд // Вопросы геоморфологии и геологии осадочного покрова Кольского полуострова. Апатиты, Изд. КФАН СССР – 1960. – С. 32–80.
4. Граве, М. К. Новейшие и современные тектонические движения в центральной части Кольского полуострова / М. К. Граве, В. Я. Евзеров // Современные движения земной коры. – М.: Изд. АН СССР. – 1963. – № 1. – С. 326–333.
5. Кошечкин, Б. И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита / Б. И. Кошечкин. – Л.: Наука, 1979. – 158 с.
6. Никонов, А. А. Голоценовые и современные движения земной коры / А. А. Никонов. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
7. Арманд, А. Д. Новейшие тектонические движения в Верхнепонойской депрессии / А. Д. Арманд, Н. Н. Арманд // Геофизика и тектоника Кольского полуострова. М.-Л.: Наука, 1966. – С. 86–89.
8. Евзеров, В. Я. Новейший этап развития Беломорской котловины / В. Я. Евзеров, А. Н. Виноградов, С. Б. Николаева // ДАН. – 2016. – Т. 471. – № 4. – С. 450–454.
9. Зыков, Д. С. Морфоструктура пограничной зоны между Балтийским щитом и Западно-Арктической платформой как отражение взаимодействия геодинимических систем / Д. С. Зыков, А. В. Полещук, А. А. Никонов // Геоморфология. – 2017. – № 2. – С. 79–89.
10. Баранская, А. В. Дифференцированные вертикальные движения и блоковая тектоника побережий Кандалакшского залива Белого моря / А. В. Баранская, Ф. А. Романенко // Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского, 16–20 февраля 2015 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ». – 2015. – С. 5–9.
11. Зыков, Д. С. Геоморфологические признаки проявления горизонтальной компоненты неотектонических движений вдоль границы Балтийского щита и Западно-Арктической платформы (Мурманская область) / Д. С. Зыков // Геоморфология. – 2015. – №3. – С. 27–38.

12. Шпилов, Э. В. Структура и литологический состав разреза отложений Кольского залива (фиорда) по данным бурения и сейсмоакустики и неотектонические условия его формирования / Э. В. Шпилов, С. И. Шкарубо, Е. А. Ковальчук // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 4 (28). – С. 72–82.
13. Евзеров, В. Я. Рыхлый покров и новейшая геодинамика Кольского залива (первые результаты и перспективы дальнейших работ) / В. Я. Евзеров, С. Б. Николаева, Т. С. Шелехова // Вестник КНЦ. – 2017. – № 1 – С. 24–33.
14. Каспарьян, Э. В. Напряженно-деформированное состояние массива пород Хибинских месторождений и задачи геомеханического районирования / Э. В. Каспарьян, Ю. В. Федотова // Неделя горняка 2015. Москва. ГИАБ. – 2015. – №5. – С. 97–107.
15. Stewart, L. S. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity / L. S. Stewart, J. Sauber, J. Rose // Quaternary Science Reviews. – 2000. – Vol. 19. – P. 1367–1389.
16. Ramsay, W. Über die Geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit / W. Ramsay // Fennia, Helsingfors. – 1898. – Vol. 16. – № 1. – 151 p.
17. Лаврова, М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова / М. А. Лаврова. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1960. – 234 с.
18. Реконструкция палеоэкологических обстановок позднего плейстоцена-голоцена в Кольском регионе / В. Я. Евзеров [и др.] // Строение и история развития литосферы. – М.: Paulsen. – 2010. – С. 491–505.
19. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / под ред. В. В. Адушкина и А. А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.
20. Neotectonic deformation in Norway and its implications: a review / O. Olesen [et al.] // Norwegian Journal of Geology. Trondheim. – 2004. – Vol. 84. – P. 3–34.
21. Mörner, N.-A. Paleoseismicity of Sweden. A novel paradigm / N.-A. Mörner. – Sweden, Stockholm, JOFO Grafiska AB, 2003. – 320 p.
22. Лукашов, А. Д. Геодинамика новейшего времени / А. Д. Лукашов / В кн. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под. ред. Н. В. Шарова. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. – С. 150–178.
23. Николаева, С. Б. Следы разрушительных землетрясений в окрестностях города Мурманска (по историческим и палеосейсмогеологическим данным) / С. Б. Николаева // Вулканология и сейсмология. – 2008. – №3. – С. 52–61.
24. Комплексные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в юго-западной части Кольского полуострова (северо-восток Фенноскандинавского щита) / С. Б. Николаева [и др.] // ДАН. – 2016. – Т. 469. – №2. – С. 199–203.
25. Палеосейсмология в 2-х томах. Т. 2. / ред. Джеймс П. Мак-Калпин. – М.: Научный мир, 2011. – 400 с.
26. Seilacher, A. Fault-graded beds interpreted as seismites / A. Seilacher // Sedimentology. – 1969. – Vol.13. – P. 155–159.
27. Николаева, С. Б. Сейсмичность в позднелайстоцено-голоценовых осадках северо-запада Кольского региона (северная часть Балтийского щита) / С. Б. Николаева // Геология и геофизика. – 2009. – Т.50. – №7. – С. 830–839.
28. Николаева, С. Б. Складчатые деформации в позднелайстоценовых отложениях Хибин (центральная часть Кольского полуострова): морфология и генезис / С. Б. Николаева // Вестник МГТУ.: Труды Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т.17. – №2. – С. 329–339.
29. Николаева, С. Б. Катастрофическое событие голоцена в донных осадках озер Кольского полуострова (СВ Фенноскандинавского щита) / С. Б. Николаева, Н. Б. Лаврова, Д. Б. Денисов // ДАН. – 2017. – Т. 473. – №1. – С. 88–92.
30. Николаева, С. Б. Свидетельства сейсмических событий на побережье Мурмана в позднелайстоценовые и голоцене (северо-восток Балтийского щита) / С. Б. Николаева // Известия РГО. Вып.4. – 2013. – Т.145. – С. 53–65.
31. Николаева, С. Б. Новейшая геодинамика Мурманского побережья Баренцева моря: гляциоизостатические и сеймотектонические аспекты / С. Б. Николаева, Д. С. Толстобров // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания. Том 2. – М.: ГЕОС, – 2016. – С. 38–43.
32. Никонов, А. А. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет / А. А. Никонов, С. В. Шварев // Материалы Международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности» 23–25 сентября 2015 г. Нерюнгри. – 2015. – С. 243–251.
33. Мараханов, А. В. Новые данные о послелайстоценовых сейсмодислокациях Северной Карелии (Карельский берег Белого моря) / А. В. Мараханов, Ф. А. Романенко: [Электронный ресурс] // Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI веке. Матер. Всеросс. конфер. Архангельск. 15–17 сентября 2014. – 2014. – С. 137–140. диск (CD-ROM).
34. Никонов, А. А. Цунами в глубине Кольского полуострова / А. А. Никонов // Природа. – 2007. – №1. – С. 35–38.
35. Евзеров, В. Я. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона / В. Я. Евзеров, С. Б. Николаева // Геоморфология. – 2000. – № 1. – С. 61–73.
36. Евзеров, В. Я. Сеймотектонические последствия развития покровных оледенений четвертичного периода в Кольском регионе / В. Я. Евзеров, С. Б. Николаева // Геоморфология. – 2003. – №2. – С. 61–64.
37. Никонов, А. А. О древнейших долинах северо-восточной части Балтийского щита / А. А. Никонов // ДАН СССР. – 1967. – Т. 177. – № 5. – С. 1155–1158.
38. Glaznev, V. N. A three-dimensional integrated density and thermal model of the Fennoscandian lithosphere / V. N. Glaznev, A. B. Raevsky, G. V. Skopenko // Tectonophysics. – 1996. – Vol. 258. № 1–4. – P. 15–33.
39. Глазнев, В. Н. Оценка напряженного состояния земной коры северо-востока Балтийского щита на основе ее плотностной модели / В. Н. Глазнев, Л. А. Маслов, О. С. Комова // Физика Земли. Изв. АН СССР. – 1988. – №10 – С. 62–66.
40. Геодинамическая опасность промышленных объектов / В. В. Степанов. – М., 2001. – 100 с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Кольского научного центра РАН (ГИ КНЦ РАН), г. Апатиты
Николаева Светлана Борисовна, к.г.-м.н., старший научный сотрудник
E-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru; Тел.: (815 55) 79 571
Евзеров Владимир Яковлевич, д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник
E-mail: yevzerov@geoksc.apatity.ru; Тел.: (815 55) 6 27 93

Geological Institute of Kola Science Center RAS, Apatity

Nikolaeva S. B., Ph.D
E-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru;
Tel: (815 55) 79 571

Yevzerov V. Ya., Dr., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Leading researcher
E-mail: yevzerov@geoksc.apatity.ru
Tel: (815 55) 6-27-9