УДК: 550.343.4+550.348.64

СЕЙСМОЛИНЕАМЕНТЫ И РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОСЛЕДНИХ 13 ТЫСЯЧ ЛЕТ

Никонов А.А., Шварев С.В.

*Институт физики Земли РАН, Москва, ул. Б. Грузинская, 10, e-mail:
nikonov@ifz.ru*

Кратко изложены результаты многолетних исследований авторов, с учетом работ многих сотрудников других учреждений, по выявлению, идентификации и параметризации письменных сведений и натурных проявлений ранних и древних сильных землетрясений в пределах российской части Балтийского щита. В основе подхода лежат два тезиса, а именно, о необходимости создания проверенного, усовершенствованного сейсмического каталога за тысячелетия и рассмотрения сейсмичности совокупно с выделяемыми активными разломами. Главные результаты, представленные в виде карт и таблиц, заключаются в 1) выделении 12 сейсмолинеаментов (вместо одного на Карте ОСР-97) и 2) определении в каждом из них M_{max} и вероятных интервалов повторения сильных событий по градациям магнитуд. Эти разработки в макетах Карт ОСР-2012 и ОСР-2014 остались не использованными.

Ключевые слова: разрушительные землетрясения, сейсмолинеаменты, сейсмическая опасность, сейсмический потенциал, палеосейсмологический метод, каталоги землетрясений, сейсмическое районирование, Балтийский щит, Мурманская зона, Ладожский грабен.

SEISMOGENIC LINEAMENTS AND DESTRUCTIVE EARTHQUAKES IN THE RUSSIAN PART OF THE BALTIC SHIELD: NEW APPROACH FOR LONG-TIME EVALUATIONS (134 YEARS)

Nikonov A.A., Shvarev S.V.

*Schmidt Institute of Earth Physics, RAS, Moscow, Bol. Gruzinskaia str. 10,
nikonov@ifz.ru*

Results of many years authors research including achievements of experts of other Institutions are presented shortly. They concerns with revealing, identification and parameterization of strong past earthquakes within the Russian part of the Baltic shield. The authors focused on two initial presumptions, namely, 1) to prepare newly good basic seismic catalogue for thousand years and 2) to analyze seismicity of the region with active faults in common. Main results of the authors' research seems to be as following: 1) new map with singled out 12 seismolineaments (instead of a single on the map OSR-97) and 2) expert estimation of possible time intervals between events with grades $M \geq 6.0$. Elaborated by the authors assessments of seismic regime haven't to be taken into account in course of the maps OSR-2012 and OSR-2014 preparations, what is seems to be the lost chance.

Key words: destructive earthquakes, seismolineaments, seismic danger, seismic potential, paleoseismological method, seismic catalogues, seismic zoning, Baltic shield, Murmansk zone, Ladoga graben

Вводные замечания

Балтийский (Фенноскандинавский) щит в его российской части никогда не считался и, соответственно не отражался на традиционных картах сейсмического районирования (СР) в качестве сколько-нибудь опасной территория (СР-37, СР-68, СР-78, СР-97). В базовом издании 1977 г на этой огромной территории учтено лишь одно событие с $M=5.4 \pm 1.0$ (1626 г.) [8]. Однако к концу 90-х годов XX в. сначала в северной Фенноскандии (К. Лагербек, П. Андерсон и др.), затем на всей территории Швеции (Н.-А. Мернер) и части Финляндии (А. Куйвамяки, П. Вуорела), были обнаружены и подробно изучены геолого-геоморфологические признаки сильнейших землетрясений позднеледникового времени. Позднее начались и с успехом осуществлялись

палеосейсмогеологические исследования и в Российской части Балтийского щита, в Карелии (А.Д. Лукашов, И.Н. Демидов) и на Кольском п-ове (С.Б. Николаева, А.В. Спиридонов, Н.В. Шевченко и др.). Систематическую обработку с составлением карт (схем) изосейст и оценкой заново параметров событий (исторический период до 1967 г.) осуществлял А.А. Никонов.

Все эти исследования с полной определенностью показали, что разные части Фенноскандии (Балтийский щит, норвежские каледониды, прилежащие с востока части Восточно-Европейской платформы) испытывали в поздне- и послеледниковое время, вплоть до последних столетий, землетрясения, сильные и даже разрушительные. Выяснилось, что определяемая за одно-два последних столетия слабая сейсмичность не отражает ни реальной сейсмической опасности, ни, тем более, потенциала, в действительности Фенноскандия – это недооцененная сейсмогенерирующая провинция [3]. Это побудило авторов к углубленным дополнительным собственным исследованиям и штудированию региональной литературы в сейсмологическом аспекте. Ниже в сжатом виде изложены главные результаты работы.

Основы подхода и методика

Подход авторов предусматривал следующие главные позиции (устремления): 1. Сбор материалов и вовлечение в обработку современными способами геологических, геоморфологических, геофизических и иных материалов разных авторов по проявлениям активных (в поздне- и послеледниковые) разломов и деформаций; 2. Использование всех возможных способов учета и параметризации (с оценками возможных неточностей определения каждого параметра), т.е. сведений получаемых разными методами, за период 12-13 тыс. лет; 3. Обновление каталога землетрясений прошлого, отдельно по периодам ранне-инструментальному, историческому, доисторическому, с последующим, вместе с каталогом периода инструментальных наблюдений, анализом всей совокупности (усовершенствованной базы данных); 4. Выделение сейсмолинеаментов, т.е.

линейных зон с признаками активных разломов и эпицентральных зон землетрясений в них, в том числе с $M \geq 6$, на всей территории; 5. Анализ пространственно-временных закономерностей сейсмического процесса в масштабе столетий и тысячелетий с целью определения $M_{\max}$ и интервалов возможного повторения таковых по зонам ВОЗ.

Особым разделом исследований стала работа над каталогом землетрясений, поскольку каталог – это фундамент для долговременных характеристик сейсмичности, оценок максимальной магнитуды $M_{\max}$, интенсивности сейсмических воздействий, определения потенциальных очагов землетрясений и др. В дополнение к существовавшим для указанной территории каталогам, составлялись три подкаталога, по специфике исходных сведений и способам обработки каждый: исторический, археосейсмический и палеосейсмический. Землетрясения *ранне-инструментального периода* обрабатывались с учетом и инструментальных записей, и собранных, в том числе заново, макросейсмических данных. *Подкаталог исторических землетрясений*, в отличие от каталогов компилятивных, составлялся первым автором как исследовательский, на основе полного пересмотра и переопределения параметров по заново собранным и критически проанализированным первичным макросейсмическим сведениям в соответствии с современными требованиями и методами работы с историческими источниками. Это позволило, во-первых, избежать ряда неточностей, ошибок и путаницы, вкравшихся во вторичные публикации и затем повторявшихся, и усугублявшихся. Удалось также обнаружить целый ряд редких, забытых или неизвестных вовсе публикаций, как на русском языке, так и на европейских, со сведениями о землетрясениях прошлого. Одним из важных результатов явилось исключение из каталога сотрясений нетектонической природы (провальные, морозобойные и др.).

Подкаталог для доисторического периода (палеоземлетрясения) по археосейсмическим и геолого-геоморфологическим данным составлялся с

использованием специфических подходов и новых методических разработок. С 1997 г. первым автором, сначала с А.П. Сергеевым, а с 2006 г. с С.В. Шваревым, систематически велись исследования палеосейсмогеологической направленности с полевыми работами, в основном в пределах Ленинградской области, южной части Республики Карелия, а также по южному побережью Финского залива в пределах республики Эстония (частью с А.М. Мийделом). Помимо геологических сведений в массовом порядке привлечены материалы по вторичным нарушениям рельефа и грунтов. На каждом из участков с наиболее выразительными одиночными и/или группирующимися нарушениями авторы стремились полноценно обследовать не по одному объекту, но по нескольким, с тем, чтобы получить сопоставимые сведения для выявления соотношений и характеристик нарушений на данном участке в пространстве и времени, в частности, для определения возникновения нарушений в одно время или в разные периоды, направлений и силы динамических импульсов. Параметризация в терминах основных параметров землетрясений осуществлялась на основе принятых сеймотектонических соотношений и разработанной методики параметризации нарушений в скальных породах (на щите) [6, 9]. Составленный таким способ подкаталог по палеоземлетрясениям впервые открыл возможность расширить информацию о сильных, $M \geq 5.5$ (5.8), землетрясениях в регионе местами до 12-13 тыс. лет.

В результате нового подхода в пределах российской части Балтийского щита вместо 15 землетрясений, причем, только в северной части региона, в базовом каталоге [8] за историческое время (с XVII в. по 1974 г.) для готовившейся Карты ОСР-12 удалось нарастить их число еще на 21 [6], а к 2015 г. их число, возросло до 173. Львиная доля событий обнаружилась не за счет вновь регистрируемых после 1974 г., т.е. за 40 лет, событий, а благодаря вовлечению событий ранних и древних. Сравнение с каталогом и приложенной к нему картой [8] дает ясное представление и достигнутом прогрессе (Рис. 1).

Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений, отраженных на Карте ОСР-97 (1); согласно каталогу авторов к 2012 г. (2); согласно расширенному авторскому каталогу, конец 2014 г. (3).

Отдельные примеры

Здесь отразим результаты по двум сейсмогенерирующим структурам первостепенной важности – Мурманской и Ладужской. Мурманская зона. В разных частях Мурманского побережья сейсмодетформации обнаруживались, хотя и не определялись как таковые, еще до войны А.Ф. Миддендорфом, И.К. Кузнецовым, В.П. Зенковичем, Н.П. Лупановой. В последние десятилетия их фиксировали и идентифицировали многие исследователи: И.Г. Авенариус, С.Б. Николаева, А.В. Спиридонов, Д.С. Зыков, А.С. Балусев, А.Л. Стром, Н.Н. Верзилин, А.А. Лукашов, Ф.А. Романенко и др. Осуществляется датирование сейсмонарушений, в ИФЗ РАН они теперь параметризуются в терминах сейсмических явлений ($I \geq VIII-IX$) и каталогизируются в виде стандартной

строки. На примере Мурманской зоны, где удалось проработать, примерно в одинаковой мере, материалы по инструментальному, историческому и доисторическому периодам [4], наглядно демонстрируется не только принципиальная важность использования палеосейсмологического (в понимании авторов) метода оценки долговременной сейсмической опасности, но и абсолютная недостаточность использования в этих целях (применительно к Балтийскому щиту) только данных инструментальных наблюдений и недостаточно проработанного каталога событий исторического периода (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение значений $M_{\max}$ в пределах Мурманского сейсмолинеамента, за разные отрезки времени (по разным группам первичных данных)

Длительность / Период фиксации событий	Максимальная за период фиксированная магнитуда $M_{\max}$ / событие
Инструментальный период 1956-2015 гг. / 57 л.	4.3 / 1981 г., устье р. Харловки
Историч. период (поздний) 1750-1955 гг. / 205 л.	(5.8) / 1771 г., Зап. Мурман
Историч. период (ранний) 1500-1754 гг. / 250 л.	6.9 / 1503 г., у Рыбачьего п-ова
Доисторический период (палеоземлетрясения) XII в. до н.э. – 1500 г. / 13 тыс.л.	7-7.5 / несколько палеособытий

По интенсивности проявления палеосейсмических, археологических, исторических землетрясений, а также по структурно-кинематическим характеристикам Мурманскую сейсмоактивную зону можно разделить на 3 сектора, в каждом из которых оценена повторяемость событий по величине магнитуд (табл. 2).

Важный, отмечаемый исследователями почти вдоль всего Мурманского побережья и подтверждаемый разными методами факт состоит в том, что вблизи берега (на суше и на прилежащем шельфе), не только гуще и выразительнее сеть линеаментов (по разломам), но гораздо чаще развиты молодые расщеления и скальные обвалы. Часть вышеописанных, как в скальных породах, так и в

рыхлых отложениях, нарушений квалифицируется как палеосейсмодеформации – следы мощных позднеплейстоцен-голоценовых землетрясений.

Таблица 2

Повторяемость сейсмических событий в Мурманской зоне

Магнитуды	6	6.5	7
I - западный сектор	700-1000	4000±2000	4000±2000
II - средний сектор	2000	1000	700-1000
III – восточный сектор	2000±1000		

Ладожский грабен. По более крупным, и лучше изученным сейсмолинеаментам удалось осуществить экспертные оценки повторяемости сильных ($M \geq 6$) событий по градациям магнитуд. Пример по Ладожскому грабену и Карельскому перешейку, как структуре наиболее приближенной к северной столице и особо ответственным объектам, представлен на рисунке 2, а оценки повторяемости сильных событий, по линеаментам – в таблице 3.

Таблица 3

Экспертные оценки повторяемости землетрясений ($M \geq 6$) в Ладожском грабене

$M_{\max}$	Сейсмолинеаменты	M=5.5	M=6.0	M=6.5	M=7
		1 раз в N лет			
7.0- -6.5	Восточно-Ладожский, СЗ Восточно-Ладожский, ЮВ		2000 нет данных	3000 нет данных	5000 10000
6.7	Северо-Ладожский		1000	2500	5000
7.0	Западно-Ладожский		1000	3000	5000
6.4	Вуоксинский	1000	2000	3000	нет данных

Понятно, что без использования палеосейсмологического подхода подобные оценки, даже в виде допущений, получить было невозможно. Разумеется, полученные оценки носят ориентировочный характер, и они вряд ли могут быть использованы в суждениях о текущем сейсмическом режиме [1, 2, 4, 5, 6, 10]. Но именно и только они дают возможность оценивать и значения $M_{\max}$, и возможные интервалы повторения событий сильных в разные интервалы времени, что необходимо для проектирования объектов особой ответственности. Конкретно по району Ладожского грабена (как и по другим),

во-первых, произведено подразделение его на несколько сейсмогенерирующих зон (зон ВОЗ), во-вторых, определяется (до более подробных разработок) значение $M_{\max}$ в каждом и, в-третьих, обнаруживается средняя повторяемость сотрясений с $M \geq 6$ примерно один раз в тысячу лет (с увеличением интервалов по мере возрастания значений M).

Рис. 2. Карта основных сейсмолинеаментов восточной части Балтийского щита с установленными землетрясениями, $M \geq 6$.

1 – сейсмолинеаменты; 2 – участки, рассмотренные в тексте как примеры

Принципиальным является то обстоятельство, что вместо прежних, сделанных по короткому ряду наблюдений, определений $M_{\max}=5(5.5)$ в целом для Ладожско-Ботнической зоны, теперь получены значения $M_{\max}=6.5-7$ в масштабе тысячелетий, т.е. на совершенно ином уровне. Экспертные оценки тем же способом осуществлены и для большинства других выделенных сейсмолинеаментов (табл. 4).

Некоторые общие результаты. Несколько позиций выделяются особо. Вместо периода около 400 лет рассмотрением охвачен период до 13-12 тыс. лет. Выделить удалось (по возможностям методов), в основном, события с $I \geq VIII$ и $M \geq 6$, т.е. такие события, которые за последние 400 лет ранее почти не фиксировались. Хотя события обнаруживались по всей территории, в основном они сосредоточиваются в виде полос в зонах с геолого-геоморфологическими признаками активных разломов, т.е. образуют сейсмолинеаменты.

Таблица 4

Параметризация сейсмолинеаментов на российской части Балтийского щита в целях сейсмического районирования [Никонов, июнь, 2014 г.]

№ п/п	№ разлома и сектор	$M_{\max}$ в секторе (за 10 тыс. лет)	Возраст опорного события в секторе, исторического – год / палео – тыс. л. н.
1	1А	6.8	1503 /
2	1Б	6.5	/ 2.7 ± 0.5 ; 8.0 ± 0.5
3	1В	6.0	/ 5.0 ± 3
4	2	6.5	/ 5.0 ± 3
5	3А	6.5	1542 / 1.7 ± 1
6	3Б	6.8	1627 / 3.0 ± 0.3 ; 8.0 ± 0.5
7	3В	5.8	/ 5.0 ± 3
8	4	6.5	/ 3.0 ± 2
9	5	6.0	/ 7.0 ± 5
10	6	6.0	/ 4.6 ± 0.1
11	7	6.5	/ 8.0 ± 0.5
12	8	6.5	/ 8.0 ± 3
13	9	7.0	/ 3.0 ± 0.1
14	10	6.8	1300 / 2.4 ± 0.2
15	11	7.0	1500 ± 100 / 5.0 ± 0.1 ; 10.0 ± 1
16	12А	6.0	/ 5.0 ± 2

Таких сейсмолинеаментов (с очагами землетрясений с $M \geq 6$) в российской части Балтийского щита выделено 12. Наиболее крупными и мощными (обеспеченными к настоящему времени исходными данными) являются Мурманский, Кандалакшские, Онежские, Ладожские. Важно, что в каждом сейсмолинеаменте (и/или группе таковых), а на крупнейших – в каждом секторе, установлено по несколько мощных землетрясений прошлого, и в

позднеледниковый период, и в голоцене, включая и поздний голоцен, вплоть до поздних 0.5 тыс. лет.

Вместе с другими признаками и в соответствии с зарубежными данными это означает, что движущей силой сейсмогенеза является не только, а в голоцене не столько гляциоизостатическое выравнивание земной коры, но и общерегиональная геодинамика, т.е. тектогенез в «чистом» виде. В южной части региона (Южное Приладожье, окрестности Финского залива) общий уровень сейсмичности (по плотности событий и предельным магнитудам) заметно слабее, здесь события с $M \geq 6.5$ не выделяются и частота выделенных меньше, но землетрясения с $I = VII-VIII$ и несколько больше случались.

Заключение

На макетах карт ОСР-2012 и ОСР-2014 в пределах Балтийского щита фигурирует только один сейсмолинеамент – Кандалакшский, выделенный на основе единственного сильного исторического землетрясения периода в акватории Белого моря. Одно событие тогда существенно изменило определение сейсмической опасности на Картах ОСР-2012 и ОСР-2014 (в расчете на 500, 1000 лет и более) по сравнению с картой СР-78, где вся территория Балтийского щита в его российской части была показана, как асейсмичная ($I \leq V$). Если бы переданные в сентябре 2014 г. в Рабочую группу по ОСР-2014 карта с 12 линеаментами, усовершенствованный подкаталог исторического периода и заново составленный каталог по доисторическому периоду были включены в обработку, то Карты ОСР-2014 В, С, D, Е, F изменились бы кардинально. Но этого не произошло.

Авторы признательны Л.Д. Флефель за содействие.

Список литературы

1. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Под. ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск. 2004. 352 с.
2. Мараханов А.В., Романенко Ф.А. Новые данные о послеледниковых сейсмодислокациях Северной Карелии (Карельский берег Белого моря) // Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI веке. Матер. Всеросс. конфер. Архангельск. 15-17 сентября 2014. С. 137-140. CD-ROM.
3. Никонов А.А. Фенноскандия – недооцененная сейсмогенерирующая провинция // Геофизика XXI столетия. 2002 год: Сб. трудов IV геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М.: Научный мир, 2003. С. 207-214.
4. Никонов А.А., Николаева С.Б. Линеамент Карпинского на границе Фенноскандинавского кристаллического щита и Баренцевой плиты как активная тектоническая и сейсмическая зона // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Междунар. научной конфер. (Мурманск, 6-8 ноября 2014 г.). Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 232-237.
5. Никонов А.А., Фроль В.В., Шварев С.В. Землетрясения, новейшие разломы и особенности рельефа Беломорского бассейна // Геология морей и океанов. Матер. XX Межд. научной конфер. (школы) по морской геологии. Т. V. М. 2013. С. 204-208.
6. Никонов А.А., Шварев С.В. Землетрясения доисторического периода в системе совершенствования оценок сейсмической опасности (Восточно-Европейская платформа и ее обрамление) // VII Общеросс. конфер. «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ». 15-16 XII 2011 г. М.. С. 224-227.
7. Никонов А.А., Шварев С.В., Сим Л.А., Родкин М.В., Биске Г.С., Маринин А.В. Скальные палеосейсмодеформации на Карельском перешейке (ключевой участок «пещеры Иностранцева», Ленинградская область) // ДАН. 2014. Т. 457. № 5. С. 591–596.
8. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен по 1974 г. Под ред. Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977. 586 с.
9. Родкин М.В., Никонов А.А., Шварев С.В. Оценка величин сейсмических воздействий по нарушениям и смещениям в скальных массивах // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3. P. XX1-33XX.
10. Шварев С.В. Структурная позиция, ледниковый и сейсмогенный рельеф г. Воттоваара (Средняя Карелия) // Всеросс. конфер. «VII Щукинские чтения». Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. М. 2015. С. 202-205.