

УДК 550.34.01

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

Лютюев В.А., Лютюева Н.В.

*ФГБУН Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, Сыктывкар, e-mail: VALutoev@geo.komisc.ru*

В данной работе выполнен обобщающий анализ ранее полученных научных решений по сейсмическому районированию Республики Коми. Построена схема сейсмогенных зон, соответствующая современной сейсмичности, которая в значительной мере опирается на критерии вероятности. Для проверки степени ее достоверности проведено сопоставление сейсмогеологической модели и реальной картины сейсмической обстановки на территории Республики Коми за последние 15 лет. Определены диссипативные особенности геологических структур северной части Русской плиты – Волго-Уральской антеклизы, Вычегодского прогиба и Ижемской впадины, относящейся к Печорской плите. На основе данных о пластовых скоростях продольных и поперечных волн рассчитаны упругие и прочностные параметры горных пород по сейсмоструктурным этажам, определены зоны инициации и глубины возможных очагов землетрясений. В результате существенно обновлена карта сейсмического районирования Республики Коми масштаба 1:2500000.

Ключевые слова: Республика Коми, сейсмологическая модель, сейсмогенная зона, активный разрыв, диссипация, упругая емкость, очаг, землетрясение, магнитуда, плейстосейстовая область, сейсмическое районирование

FEATURES OF SEISMIC ZONING PLATFORM AREAS (ON EXAMPLE OF KOMI REPUBLIC)

Lutoev V.A., Lutoeva N.V.

*Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktvykar, e-mail: VALutoev@ geo.komisc.ru*

In this paper we performed a synthesis of previously received scientific results on the seismic zoning of Komi Republic. We made a diagram of seismogenic zones, corresponding to the modern seismicity, which mainly relies on the criterion of probability. To test its reliability we compared a seismic-geological model and the real picture of seismic situation in Komi Republic within last 15 years. We determined dissipative features of the geological structures of the northern part of Russian plate – Volgo-Ural anteclise, Vychehda trough and Izhma depression related to Pechora plate. Based on the stratal velocities of longitudinal and transverse waves we calculated the elastic and strength parameters of the rocks for seismic floors, delineated initiation zones and the depth of possible earthquakes focuses. As a result, we significantly updated the seismic zoning map of Komi Republic of scale 1:2500000.

Keywords: Komi Republic, seismic model, the seismogenic area of the active gap, dissipation, elastic capacity, the hearth, earthquake, magnitude, plasmocytoma region, seismic zoning

На начальном этапе сейсмического районирования использовались преимущественно сейсмостатистические данные, на основе которых на карте отображалось площадное распределение землетрясений. Схемы и карты, построенные таким образом в 1937, 1940, 1957, 1968, 1978, 1980 гг., получили название нормативные карты общего сейсмического районирования (ОСР). Далее данный способ районирования был несколько изменен – карты заменили комплектами карт ОСР-97, на которых вся территория была поделена на зоны равной интенсивности (в баллах MSK-64 по отношению к средним грунтам II категории СНиП-II-7-81) с разной вероятностью превышения максимальной интенсивности землетрясений (0,1; 0,05; 0,01; 0,005) в течение 50 лет (500, 1000, 5000), т.е. произошло изменение первоначальной статистической парадигмы на вероятностную – ВАСО (ве-

роятностно-статистический анализ сейсмической опасности) [10].

Сейсмическому районированию платформенных территорий уделялось значительно меньше внимания, чем предгорным и горным областям, ввиду того, что здесь сейсмические события проявлялись значительно реже. Проблемой платформенной сейсмичности в XX веке на глобальном уровне занимались Г.Д. Панасенко, А.Ф. Грачев, И.В. Ананьин, Ю.К. Щукин, Ф.Н. Юдахин и др. Вопросы региональной сейсмичности Республики Коми были затронуты впервые Н.И. Тимониным, В.А. Дедеевым, Н.А. Малышевым; научно-практическим решением этих вопросов уже на базе инструментальных наблюдений в настоящее время занимаются В.В. Удоратин, В.А. Лютюев, Н.Н. Носкова, В.И. Арихина, Н.В. Лютюева и др.

Актуальность изучения слабой сейсмичности Республики Коми логически следует

из работ И.В. Ананьина, объясняющих особенности энергетического проявления землетрясений на Русской плите, в которых он утверждает, что необходимо учитывать сейсмические толчки с магнитудами не только $M \geq 5$, но и $M \geq 4$ ввиду того, что коэффициенты затухания интенсивности землетрясений на платформах ($S = 2$) меньше, чем в современных районах горообразования ($S = 3,5-4,5$), поэтому происходит усиление величины балльности землетрясений на платформах, и часто она не соответствует магнитудам в очаге [1]. С точки зрения практических интересов актуальность исходит из крайне высокой экологической опасности территории Республики Коми, насыщенной линейными многокилометровыми сооружениями по перекачке нефти и газа с севера на юг; извлечения из недр в крупных промышленных масштабах Воркутинского и Интинского угля, бокситов Тимана; наличия в южной части Республики Коми ряда предприятий, связанных с производством бумаги.

Целью исследований является построение карты сейсмогенных зон, соответствующей масштабу детального сейсмического районирования для платформенной части Республики Коми и переходной зоны Урала, способной служить проектным основам при определении исходной сейсмичности на площадках строительства линейных и других особо ответственных объектов.

Сейсмологическая модель

Для формирования очага землетрясения должны присутствовать следующие генетические предпосылки:

- определенное местоположение внутриплатформенных надпорядковых геологических структур по отношению к границам литосферных плит, где формируются основные тензоры полей касательных и нормальных напряжений с последующим распределением и фокусировкой этих сил в земной коре и литосфере;

- наличие тектонических разломов, являющихся границами геологических структур различного порядка, имеющих определенную кинематику движения, способствующую сейсмической активизации разлома;

- возможности накопления и расходования сейсмической энергии, которая в асейсмичных районах убывает в основном через процессы релаксации с малой скоростью протекания. В сейсмических районах медленные процессы не могут обеспечить нужную скорость ее диссипации, так как скорость деформирования среды высокая [8].

Из множества гипотез, описывающих развитие сейсмического процесса в очаге, нами выбраны две – Э. Зюсса – Б.Б. Голицына и Х. Рейда. Обе гипотезы своим содержанием дополняют друг друга по отношению к крайним зонам литосферных плит и к складчатым областям. Однако вторая гипотеза, скорее всего, говорит о сейсмических процессах, происходящих во внутриплитных областях, где фиксируется меньшее количество сейсмических толчков. Таким образом, в крупных структурных элементах среды происходит накопление упругой энергии с последующей периодической разрядкой в виде землетрясения или микроземлетрясения по ближайшим слабо сцепленным линейamentным зонам, которые названы сейсмогенными зонами [3]. Кроме того, землетрясения могут возникать и внутри структуры без линейных зон, если в ней есть локальные ослабленные зоны, приобретенные в процессе тектонических движений, но сейсмические толчки в таких зонах будут иметь гораздо меньшую силу – такую сейсмичность называют рассеянной.

Материалы и методы сейсмических исследований

Для составления схемы сейсмического районирования Республики Коми были использованы инструментальные и исторические сведения о землетрясениях (см. табл. 1), региональные геолого-геофизические материалы разломной тектоники, неотектоники, современной геоморфологии, глубинного строения земной коры и осадочного чехла и др. Их последовательная интерпретация позволила определить критерии условно-сейсмического потенциала ряда геологических структур региона. В результате была построена сейсмологическая модель Республики Коми, состоящая из четырех разнотипных сейсмогенных зон [5]:

- первый тип (I-1) – зоны, в которых инструментально зарегистрированы сейсмические толчки с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$), или имеются исторические достоверные сведения о произошедших землетрясениях;

- второй тип (I-2) – зоны, подобные зонам I-1 по сейсмогеологическому строению, но отсутствует сейсмологическая информация на данный момент;

- третий тип (II-1) – зоны, в которых инструментально зарегистрированы землетрясения с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$), или есть также достоверные исторические сведения;

- четвертый тип (II-2) – зоны, подобные зонам II-1 по сейсмогеологическому строению, но отсутствует сейсмологическая информация на данный момент.

Таблица 1

Каталог местных землетрясений и исторических сведений по Республике Коми
(на момент построения схемы сейсмического районирования – 2000 г.)

№ п/п	Дата	Время	Координаты		h, км	M, ед.	I, балл	Эпицентр	Источник
			N	E					
1	1626 г. 05.20	–	–	–	–	–	4	н. течение р. Сев. Двины	Двинской летописец
2	1847 г. 08.16	7:00	64.60	40.80	–	–	4	–	Журнал ... 1847 г.
3	1914 г. 04.20	16:00	65.50	53.50	–	–	5	с. Пильгоры,	Ломакин, 1948 г.
4	1939.01.13	16:47:12.4	60.63	51.78	10?	4,5	7	с. Нючпас	Л.С. Чепкунас
5	1985 г.				–	2,0–2,2	–	Притиманская впадина	отчет Яцкевич и др., 1987
6	1991 г.	–	62.98	60.32	–	–	4,5	г. Инта	печатн. сообщ.
7	1998 г. 04.16	00:55:03	61.93	58.37	–	3,2	4,5	Верхнепеч. опускание	с/с Сыктывкар

Примечание. 1. в данной таблице приведены только те землетрясения, в которых авторы уверены с вероятностью близкой к единице. 2. h – глубина очага, M – магнитуда, I – интенсивность.

В дальнейшем предполагалось, что в условиях постоянного наблюдения за сейсмическим режимом региона в зонах I-2 и II-2 также будут зарегистрированы землетрясения. Каждая из этих зон с учетом сейсмологических, тектонических и геологических факторов была охарактеризована предельно возможными параметрами: магнитудой – M; интенсивностью – I; протяженностью – L; шириной сейсмогенной зоны – d; глубиной очага – h; шириной плейстосейстовой области – D, включая зону – d. Ширина плейстосейстовой области для Кировско-Кажимской сейсмогенной зоны была определена на основе макросейсмических сведений по Сысольскому землетрясению, полученных Н.И. Тимониным на основе опросных данных. Для остальных сейсмогенных зон ширина плейстосейстовой области рассчитывалась из известного уравнения макросейсмического поля:

$$I_0 = 1,5 \cdot M_{\max} - 3,5 \cdot \lg \cdot (h^2 + D^2)^{1/2} + 3,$$

где I_0 – величина исходной балльности (в баллах MSK),

M_{\max} – максимально возможная магнитуда землетрясения в ближайшей сейсмогенной зоне,

D – расстояние от оси сейсмогенной зоны по нормали до точки, где величина балльности должна быть равна пяти, как предельно-минимальная величина устойчивости слабых грунтов к интенсивности сотрясения, h – глубина очага землетрясения (расчетная или определенная инструментально).

В итоге были определены размеры плейстосейстовых областей, совпадающие с зонами возможных очагов землетрясений (зона ВОЗ), однако обладающих несколько меньшими силами сейсмических толчков по отношению к областям, содержащим оси сейсмогенных зон. На этапе регистрации землетрясения в зоне ВОЗ вносились его координаты и далее она переводилась в статус сейсмогенных зон (см. рис. 1, табл. 1).

Кировско-Кажимская сейсмогенная зона (I). Эта семибалльная сейсмогенная зона в пределах Республики Коми имеет: $L = 300$ км, $d = 25$ км, $D = 70$ км. Внутри этой зоны известны эпицентры землетрясений: 1939 г. ($M = 4,5 \pm 0,2$) и 2000 г. ($M = 2,7$). Глубина очага землетрясения по инструментальным данным определена $h = 10$ км. На основе всех выкладок, проведенных нами, допускаем возникновение землетрясений вдоль активных разрывов с максимальными магнитудами $5,0 \leq M \leq 6,0$, интенсивностью на поверхности $6,0 \leq I_0 \leq 7,0$. Выделяем также по границе Кировско-Кажимского авлакогена Вычегодскую и Коми-Пермяцкую зоны ВОЗ с такими же параметрами магнитуды и интенсивности. *Восточно-Центрально-Тиманская сейсмогенная зона (II)* до шести баллов MSK с максимальной магнитудой $4,0 \leq M \leq 5,0$, интенсивностью на поверхности $5,0 \leq I_0 \leq 6,0$ при возможных глубинах очагов $h = 3$ и 15 км; $L = 250$ км; $d + D = 170$ км. *Припечорская сейсмоген-*

ная зона (III). Пятибалльное землетрясение 1915 г. произошло в зоне Припечорского разлома, разделяющего Ижемский (стабильный) и Печоро-Колвинский (мобильный) мегаблоки земной коры при $L = 360$ км; $d + D = 45$ км, в южной части в области пересечения разломов $d + D = 80$ км, возможные глубины очагов землетрясений – $h = 3$ км в районах извлечения нефти, а на остальной территории $h = 10$ и 20 км. Здесь мы допускаем возможность возникновения землетрясений с магнитудой $4,0 \leq M \leq 5,0$ и соответственно $5,0 \leq I_0 \leq 6,0$. Южно-Тиманско-Ухтинская сейсмогенная зона (IV). На основе карт и схем разломной тектоники с учетом неотектонической активности ряда линейно вытянутых поднятий, а также инструментально зарегистрированного в процессе выполнения сейсморазведочных работ в 1985–1987 гг. микроземлетрясения с магнитудой $M \leq 2,2$ делаем вывод о действительной тектонической активности в современное время. Поэтому в пределах южной оконечности Центрально-Тиманского, а также в средней части Восточно-Тиманского, имеющих глубинные разрывы были намечены сейсмоактивные участки. В соответствии с серией глубинных разрывов в пределах большой территории параметры активной Южно-Тиманско-Ухтинской объединенной сейсмогенной зоны составляют $L = 270$ км; $d + D = 120$ км; $h = 3$ и 5 км. Южно-Печорская сейсмогенная зона (V). В этой зоне двумя сейсмостанциями «Сыктывкар» и «Зимстан» 16.04.1998 г. было зафиксировано землетрясение с магнитудой $M \leq 3,3$, что подтверждает ее активность в современное время (рис. 1). Протяженность активной ее части составляет $L = 80$ км, общая ширина $d + D = 50$ км. Максимально допустимая величина магнитуды сейсмических событий принята здесь $4,0 \leq M \leq 5,0$ и, соответственно $5,0 \leq I_0 \leq 6,0$ по шкале MSK. Возможные глубины очагов землетрясений в момент выполнения районирования для данной сейсмогенной зоны еще не были установлены.

Интинская (VI) и Воркутинская (VIII) сейсмогенные зоны выделяются нами как зоны, в которых возможны природно-техногенные события, связанные с выемкой большого объема и масс горных пород, ведущей к нарушению баланса упруго-деформационных сил геологической среды. На это указывает ряд Интинских (1991, 1994 г.) горных ударов. Размеры актив-

ной части сейсмогенной зоны, скорее всего небольшие $L = 100$ км, $d + D = 30$ км. Магнитуды слабые, но интенсивность местных природно-техногенных землетрясений вблизи шахт может быть достаточно ощутимой $4,0 \leq I_0 \leq 5,0$ по шкале MSK, так как глубина очагов в зонах сейсмической разгрузки, скорее всего, будет составлять $h \leq 1$ км.

Усинская сейсмогенная зона (VII) выделена нами в пределах эксплуатируемых нефтяных месторождений: Усинское, Возейское и др. – где, возможно, уже случались микроземлетрясения, приведшие к прихватам бурильных инструментов и утечке нефтепродуктов. Длина активной части сейсмогенной зоны $L = 80$ км, ширина $d + D = 30$ км. Предположительно, величины интенсивности локальных сейсмических толчков будут небольшими $4,0 \leq I_0 \leq 5,0$ по шкале MSK. Глубина природно-техногенных очагов землетрясений для этой зоны, скорее всего, будет составлять $2,0 \leq h \leq 4,0$ км.

Восточная область Республики Коми, приходящаяся на западный склон Урала, также относится к современным геодинамически активным регионам. Здесь активность обусловлена проявлением неорогенетических процессов, приведших к новому росту Уральских гор. Эти процессы сопровождаются подвижками вдоль современных активных разломов и инициацией землетрясений $2,5 \leq M \leq 5,5$. В течение последних 200 лет здесь произошло порядка 46 землетрясений [4]. Установленные сейсмогенные зоны рассматриваются нами в целом как сумма плейстоценовых областей семи- и шестибалльных зон или только шестибалльной зоны.

Ранее нами уже отмечалось, что сейсмогенная зона второй категории может перейти в первую, а четвертая – в третью. Так, например, 30 ноября 2000 г. произошло природно-техногенное землетрясение в Воркутинской сейсмогенной зоне, которое ощущалось жителями г. Воркуты и зарегистрировано местной сейсмической станцией. Интенсивность толчка по макросейсмическим данным достигала четырех баллов по шкале MSK. Следовательно, зону ВОЗ второй категории (четвертый тип) по факту землетрясения можно перевести в третий тип той же категории.

На основе этой модели, в условиях редкой сейсмичности платформ, к наиболее опасной сейсмической зоне были отнесены

структуры Кировско-Кажимского авлакогена и прилегающие к нему края сводовых поднятий (первый тип), к опасной зоне – Южно-Тиманское сочленение южной оконечности Печорской плиты и Урала, которое контролируется Западно-Тиманской зоной разломов, названной нами Южно-Печорской сейсмогенерирующей зоной (третий тип). К опасным зонам в равной степени относятся Припечорская, Восточно-Центрально-Тиманская, Южно-Тиман-

ско-Ухтинская сейсмогенные зоны (третий тип). Также следует обратить внимание на природно-техногенные зоны землетрясений, в пределах которых расположены гг. Воркута, Инта и Усинск. Ввиду острого дефицита сейсмического материала мы вынуждены были искать новые методы для помощи в решении задач сейсмического районирования. Далее мы приводим краткое описание физических основ этих методов и результатов.

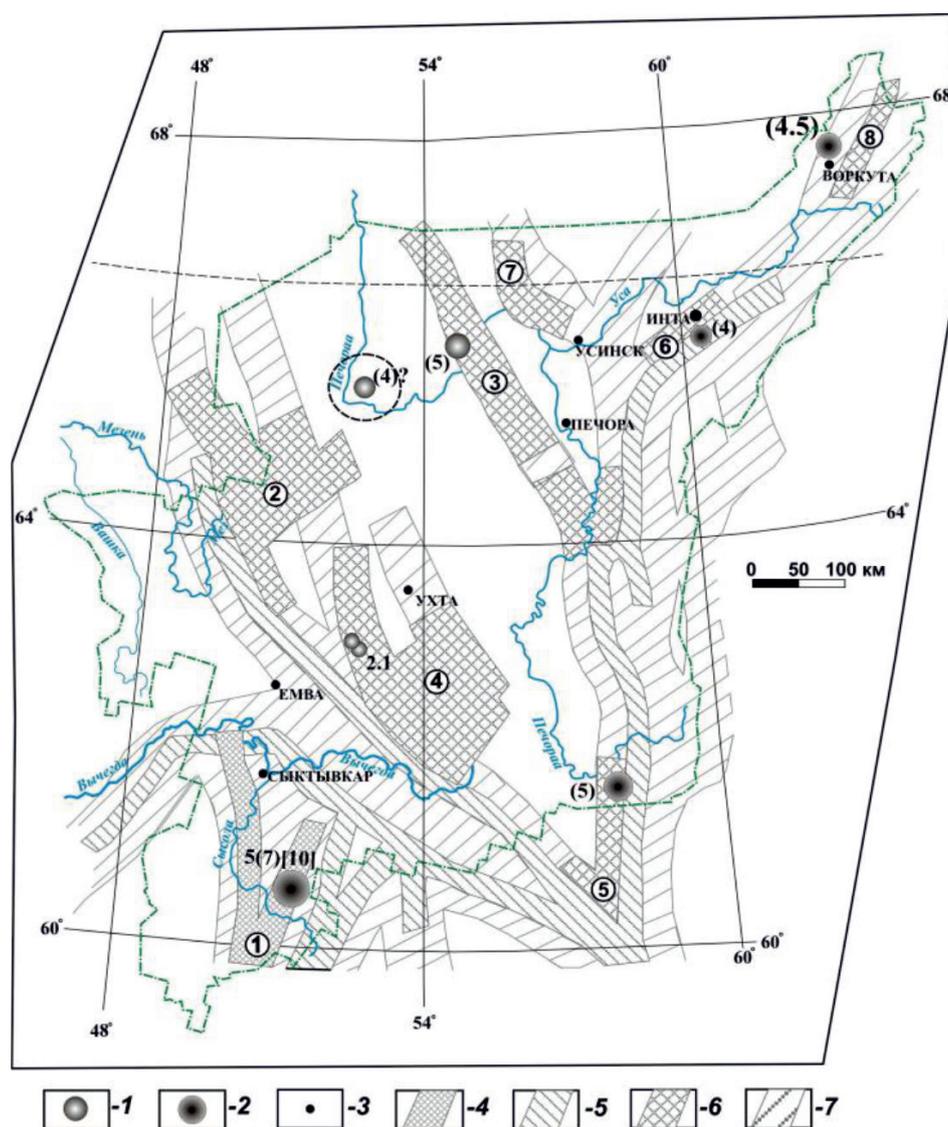
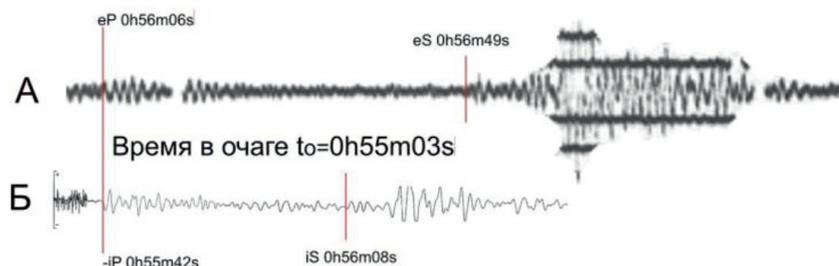


Рис. 1. Сейсмическое районирование Республики Коми на основе сеймотектонического анализа и исторических сведений о землетрясениях [5]. 1 – эпицентры землетрясений по историческим данным; 2 – эпицентры землетрясений по инструментальным данным; 3 – административные центры; 4 – сейсмогенные зоны категории I-1 с известными землетрясениями с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 5 – Сейсмогенные зоны категории I-2 с возможными землетрясениями с магнитудой ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 6 – Сейсмогенные зоны категории II-1 с известными землетрясениями с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$); 7 – Сейсмогенные зоны категории II-2 с возможными землетрясениями с магнитудой ($4,0 \leq M \leq 5,0$)

П.н. «Сыктывкар»- Верхнепечорское поперечное опускание
S-P=43 сек, эпицентральное расстояние равно 400 км



П.н. «Зимстан»- Верхнепечорское поперечное опускание
S-P=26 сек, эпицентральное расстояние равно 222 км

Рис. 2. Сейсмограммы с соответствующими временами пробега по составляющим вертикальных компонент, полученные при регистрации Верхнепечорского землетрясения из п.н. «Сыктывкар» и «Зимстан» (А – сейсмограмма аналоговой с/с «РС-II», Б – сейсмограмма цифровой с/с «Дельта-01»)

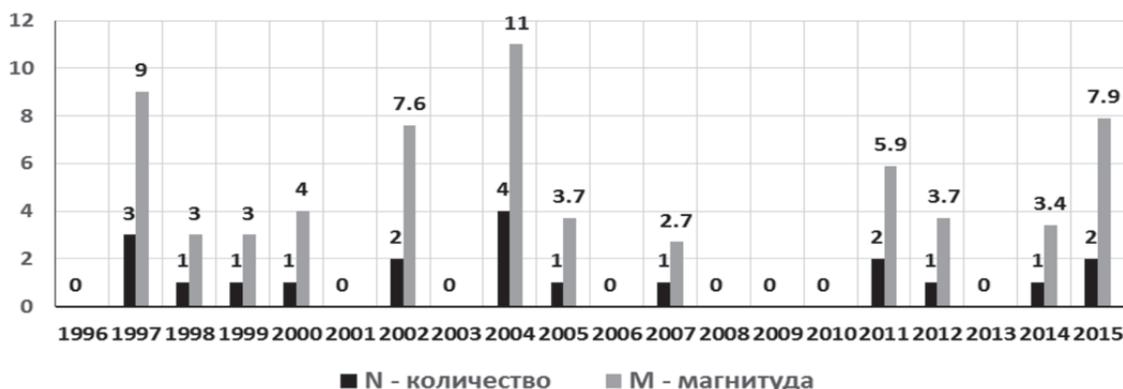


Рис. 3. Статистическое соотношение общего количества землетрясений и магнитуд в пределах Республики Коми

Новые методы в решении задач сейсмического районирования

С появлением в 2002 г. современных сейсмических станций SDAS с программной обработкой WSG, способных регистрировать местные и близкие землетрясения, мы смогли увидеть более реальную картину сейсмичности, что подтверждается тем, что сейсмодатчики ежегодно фиксируют примерно одно-два местных или близких сейсмических события с $M \leq 3,5$ единиц и один раз в несколько лет – с $M > 3,5$ единиц (см. рис. 3). В качестве примера приведены два землетрясения: первое с $M = 3,5$ единиц зафиксировано в пределах Западно-Тиман-

ской разломной зоны на северо-западе от г. Сыктывкара на удалении 130 км и отвечает условию «близкого события»; второе с $M = 2,6$ единиц – на границе структур Сысольского свода и Кировско-Кажимского авлакогена юго-восточнее г. Сыктывкара на удалении 27 км, оно отвечает условию «местного события» (см. рис. 4).

В связи с тем, что координаты землетрясений, зарегистрированных в последние полтора десятка лет, в большинстве своем, попадают в предварительно выделенные сейсмогенные зоны, подтверждает выбранную нами модель сейсмического районирования (см. табл. 2).

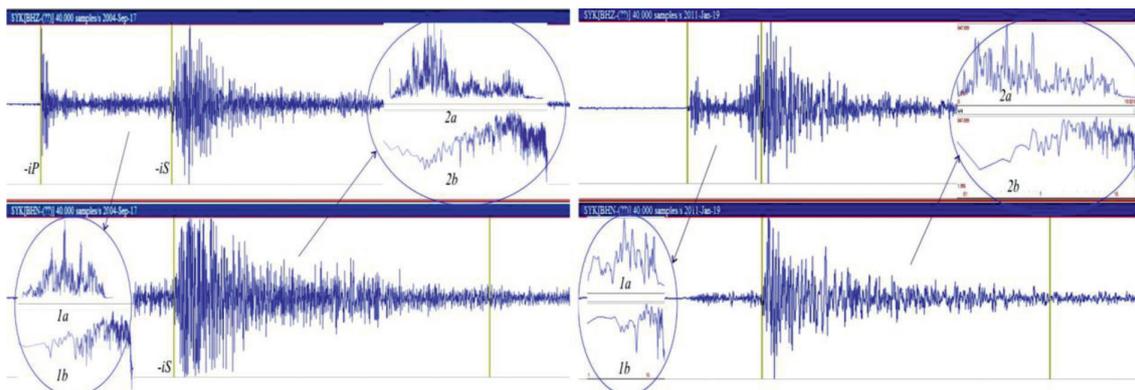


Рис. 4. Сейсмограммы и спектры ответа близкого Емвинского и местного Сыктывдинского землетрясений в г. Сыктывкаре, где: $-iP$, $-iS$ – отрицательные первовступления P и S волн; $1a$, $2a$ – спектры Фурье P и S волн; $1b$, $2b$ – логарифмические спектры P и S волн

Таблица 2

Каталог местных землетрясений в пределах Республики Коми за период 2002–2017 гг. (после построения схемы сейсмического районирования)

№ п/п	Дата, время	Координаты		Н, км	М, ед.	I, балл	Эпицентр администрат.	Источник
1	2002.02.25 18:38:09	63.70	47.60		2.8	4	Республика Коми (граница)	Землетрясения..., Чепкунас, 2006
2	2002.11.09 06:47:00	60.35	50.17	30–40	3.6		Республика Коми Койгород. р-н	Землетрясения..., Чепкунас, 2006
3	2004.05.28 19:59	61.78	51.38		2.8–3.0		Республика Коми Корткерос. р-н	Землетрясения России, в 2004–2007 г.
4	2004.09.17 18:58:08	62.85	51.25	11	3.5	5.0	Республика Коми г. Емва, п. Ракпас	Землетрясения России, в 2004–2007 г.
5	2005.05.23 19:17:11	67.75	64.19		3.8	5.5	Республика Коми р-н г. Воркуты	Землетрясения России, в 2005–2007 г.
6	2007.04.20 17:39:28.6	60.34	60.24	10	3.9		Район Уральск. гор	Землетрясения России, в 2007–2009 г.
7	2008.09.07 23:21:28.6	60.32	51.01		3.3		Республика Коми Койгородский р-н	Голубева, Верхованц., Белевская, 2008
8	2011.01.19 17:18:12.6	61.43	50.97	10	2.6		Республика Коми Сыктывдинский р-н	с/с «Сыктывкар», «Сыктывкар»,
9	2012.12.24 06:22:39	66.768	64.360	11	3.7		Центр. часть Полярного Урала	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
10	2014.01.28 04:41:38	62.361	59.539	5	3.4		Республика Коми истоки р. Печоры	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
11	2015.01.04 13:58:06	64.552	60.720	14	4.8		Республика Коми Приполярн. Урал	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»
12	2015.03.21 14:14:19	62.926	58.221	12	3.1		Республика Коми Верхн. Печ. опуск.	Коми НЦ УрО РАН Институт геологии с/с «Сыктывкар»

Далее, учитывая инструментальные данные, зоны ВОЗ были переведены из второго (I-2) в первый тип (I-1), из четвертого (II-2) – в третий тип (II-1), т.е. в сейсмогенные

зоны (см. рис. 5). Одновременно с накоплением базы данных о землетрясениях проводились полевые исследования по определению степени воздействия приливных сил

атмосферного давления на земную кору для определения диссипативных особенностей геологических структур Волго-Уральской антеклизы, Печорской плиты, Вычегодского прогиба. В результате, с помощью уравнения кросскорреляции, объединяющего функциональные зависимости изменения атмосферного давления и микросейсмического поля геологических структур, были определены: параметры релаксации (t_R), указывающие на время, в течение которого структуры переходят в равновесное состояние после внешнего воздействия; параметры скорости рассеивания упругой энергии (v); параметры потенциала сейсмичности (Π) [6] (см. табл. 3).

определенные с помощью ГСЗ, которые позволили провести расчеты прочностных и упругих динамических и статистических параметров геологических структур по сейсмоструктурным этажам (ССЭ) в масштабе первого порядка [2]. Расчеты проводились с помощью номограмм В.Н. Никитина и формул В.И. Бондарева [9]. В результате для каждого ССЭ выбранной геологической структуры были рассчитаны $E \rightarrow E_c$ – модули Юнга, ν_d – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, $E_{деф}$ – модуль общей деформации, $\sigma_{сж}$ – предел прочности сжатия. Далее, с помощью математической операции, известной как пересечение множеств, из ранее полученных

Таблица 3

Диссипативные эффективные параметры геологических структур $\{t_R, v, \Pi\} = F(P)$

№ п/п	Наименование структур	t_{Rx} час	t_{Ry} час	$v^{ср.кв.}_{мин}$ нм/час	$v^{ср.кв.}_{max}$ нм/час	$\Pi^{мин}$ (нм/час ²) ⁻¹	Π^{max} (нм/час ²) ⁻¹	$\Delta\Pi$ (нм/час ²) ⁻¹	кол-во земл.
1	Сысольский свод	23,5	23,8	3,95	8,68	6,03	2,74	3,29	4
2	Вычегодский прогиб	15	13	2,97	4,86	5,05	3,09	1,96	3
3	Коми-Пермяцкий свод	8,5	5,8	5,26	11,01	1,62	0,77	0,85	–
4	Кировско-Кажимский авлакоген	15,8	10,2	4,53	6,75	3,49	2,34	1,15	2
5	Ижемская впадина	8,57	8,57	8,82	21,64	0,97	0,40	0,57	–

Таким образом, соотношение эффективных параметров диссипации геологических структур (t_R, v, Π) позволяет получить сравнительные данные потенциала сейсмичности по отношению к распределению произошедших сейсмических событий на платформенной части Республики Коми. Так, например, Ижемская впадина, являющаяся геологическим образованием Печорской плиты, фактически не имеет потенциала для создания очагов землетрясения. Коми-Пермяцкий свод по потенциалу сейсмичности чуть выше геологической структуры Ижемской впадины, поэтому его можно отнести к зоне слабой сейсмичности. Остальные же рассмотренные геологические структуры обладают относительно большим потенциалом сейсмичности.

В рамках сейсмического районирования важен также вопрос выбора глубины инициации очага землетрясения, относительно которого наряду с параметром удаленности сейсмогенных зон определяется исходная величина балльности для площадки строительства. Для этого были использованы скорости поперечных и продольных волн разреза земной коры,

прочностных параметров горных пород в пределах одного ССЭ составлялась его единая индивидуальная характеристика [7]. Эта характеристика, одновременно принадлежащая каждому из множеств параметров (сдвиговой, сжимающей и общей прочности), получила название «параметр упругой емкости» (Ω). Чем больше этот параметр, тем выше способность накопления упругой энергии в ССЭ, и наоборот. Таким образом, мы исключаем анализ каждого параметра отдельно и рассматриваем только их общую эффективную составляющую Ω , позволяющую избежать предвзятости характеристик ССЭ, составленных только на основе одного параметра при наличии еще и других, возможно даже противоречивых показателей, которые используются при определении возможных глубин очагов землетрясений. Для закрепления наших выводов воспользуемся авторитетными мнениями ведущих сейсмологов: М.А. Садовского и В.Ф. Писаренко, – которые утверждают, что формирование очага землетрясения в блоковой среде земной коры происходит, прежде всего, вследствие накопления упругих деформаций в объ-

еме самого блока [8]. Результаты расчетов по параметру Ω позволили обнаружить достаточно хорошо дифференцированную картину изменения упругих свойств горных пород в ССЭ геологических структур. Их можно представить следующими неравенствами:

- 1) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} < \Omega_I$ – в кровле III и в подошве I (небольшой силы) ССЭ;
- 2) при $\Omega_{III} \approx \Omega_{II} > \Omega_I$ – в кровле II ССЭ;
- 3) при $\Omega_{III} < \Omega_{II} > \Omega_I$ в – кровле II ССЭ;

4) при $\Omega_{III} \ll \Omega_{II} \gg \Omega_I$ – в подошве и в кровле II ССЭ;

5) при $\Omega_{IV} \gg \Omega_{III} < \Omega_{II} \approx \Omega_I$ – в кровле III ССЭ;

6) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} \gg \Omega_I$ – в кровле III и II ССЭ;

7) при $\Omega_{III} \gg \Omega_{II} > \Omega_I$ – в кровле III и маловероятно во II ССЭ.

Примечание. *В подструктурных сейсмозтажах для формирования возможных очагов землетрясений соотношения неравенств аналогично приведенным выше (1–7).

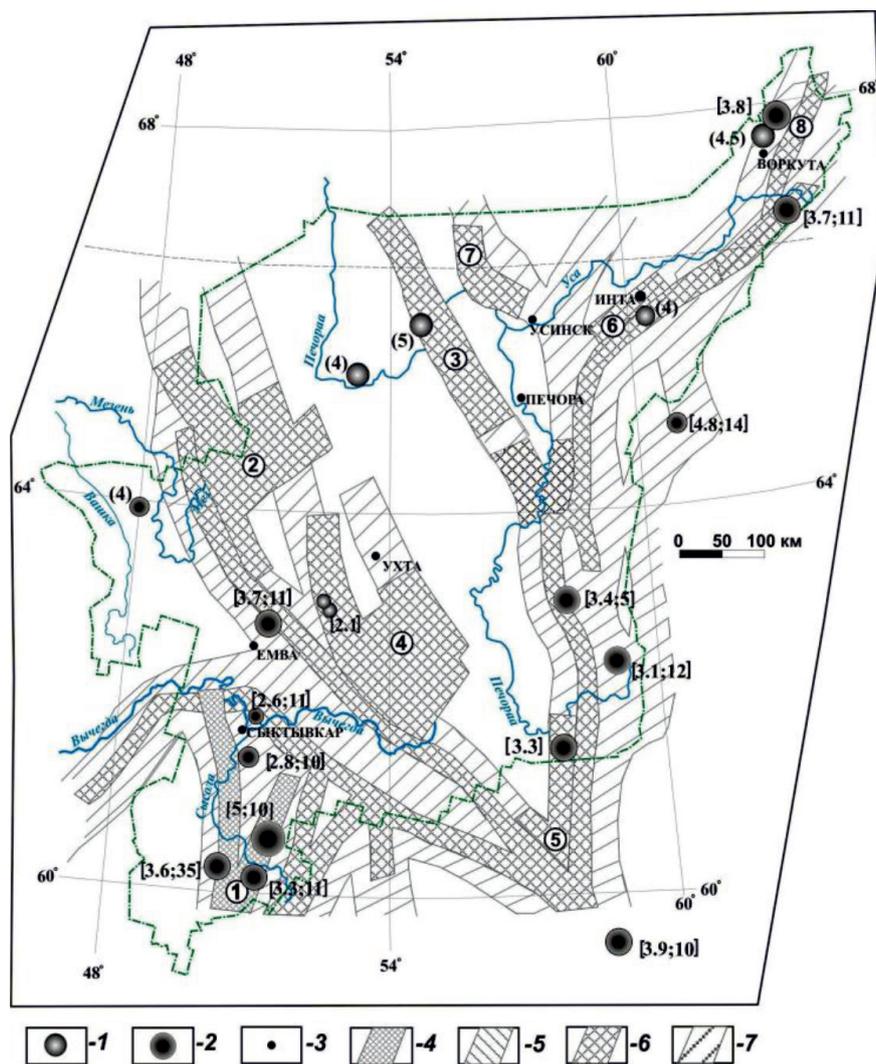


Рис. 5. Сейсмическое районирование Республики Коми на основе сейсмотектонического анализа и инструментальных сведений о землетрясениях. 1 – эпицентры землетрясений по историческим данным; 2 – эпицентры землетрясений по инструментальным данным; 3 – административные центры; 4 – сейсмогенные зоны категории I-1 с известными землетрясениями интенсивностью до 7 баллов по MSK-64 ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 5 – Сейсмогенные зоны категории I-2 с возможными землетрясениями интенсивностью до 7 баллов по MSK-64 ($5,0 \leq M \leq 6,0$); 6 – Сейсмогенные зоны категории II-1 с известными землетрясениями интенсивностью до 5 баллов по MSK-64 ($4,0 \leq M \leq 5,0$); 7 – Сейсмогенные зоны категории II-2 с возможными землетрясениями с интенсивностью до 6 баллов по MSK-64 ($4,0 \leq M \leq 5,0$)

В результате по геологическим структурам первого порядка в пределах границ Республики Коми мы получили следующие глубины ВОЗ: Волго-Уральская антеклиза (Сысольский свод – 12,5 км; Кировско-Кажимский прогиб – 13 км; Коми-Пермяцкий свод – 11 км), Мезенская синеклиза (Пинежский прогиб – 8 км; Сафоновская ступень – 11 км; Вашкинский свод – 7,5 км), Тиманская гряда (Канино-Тиманский меговал – 6 км; Четласко-Цилемский меговал – 14,5 км; Восточно-Тиманский меговал – 11 м), Печорская синеклиза (Ижма-Печорская моноклиналь – 7,5 км; Печоро-Колвинский прогиб – 10 км; Большеземельский свод – 16 км), Предуральский желоб (Варандей-Адзвенский прогиб – 10 км; Пайхойский аллохтон – 3,5 км; Припайхойский прогиб – 6 и 35 км), Уральский кряж (Западно-Уральская складчатая зона – 20 км; Центрально-Уральское поднятие – 21 км; Восточно-Уральская складчатая зона – 11 км).

Для справедливости отметим, что волноводы традиционно рассматриваются как потенциальные области сейсмической разгрузки, а выделенные нами зоны инициации, напротив, являются областями накопления упругих деформаций. Однако очаги землетрясений не всегда будут находиться внутри этих переходных зон ввиду высокой диссипативной скорости, что и отмечается в вышеприведенных соотношениях.

В итоге нами предлагается несколько измененная схема сейсмического районирования Республики Коми в масштабе 1:2500000.

Заключение

Таким образом, сейсмическое районирование Республики Коми проводилось в два этапа. **Первый этап** был выполнен на основе материалов изученности глубинного строения северной и центральной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Для южной части были использованы материалы, связанные с поиском алмазоносных трубок взрыва. Подтверждающим фактором сейсмичности отдельных участков республики являлись исторические сведения о землетрясениях, произошедших в районе Печоро-Колвинского авлакогена. Особое место было отведено Сысольскому семибальному землетрясению с магнитудой, близкой к пяти единицам, которое удалось зарегистрировать одновременно несколькими отечественными и зарубежными сейсмическими станциями. Этот же этап включает и начало работы аналоговой региональной с/с «Сыктывкар», при помощи которой были получены первые записи местных и близких сейсмических событий. В результате были выделены четыре

разнотипные сейсмогенные зоны, две из которых обладают условным сейсмическим потенциалом. **Второй этап** выполнения сейсмического районирования связан с накоплением записей сейсмических событий с помощью современных сейсмических станций. Практически все зарегистрированные землетрясения подтвердили разработанную модель сейсмичности Республики Коми. Одновременно проводился мониторинг геологических структур Волго-Уральской антеклизы, Вычегодского прогиба и Печорской плиты на способность к диссипации. Также были определены зоны инициации возможных очагов землетрясений в разрезе земной коры по ССЭ. В результате карта 2001 г. была существенно обновлена: добавлены и уточнены сейсмогенные зоны, определены глубины очагов землетрясений, найден способ определения потенциала сейсмичности геологических структур. По нашему мнению, данная карта может служить рекомендацией по заданию исходной сейсмичности проектных основ для площадок строительства особо ответственных объектов и линейных сооружений, связанных с транспортировкой нефти и газа.

Работа выполнена при поддержке проекта № 15-18-5-11 Программы фундаментальных исследований РАН.

Список литературы

1. Ананьин И.В. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы / Исследования по сейсмической опасности / И.В. Ананьин // Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука. – 1988. – Вып. 29. – С. 119–123.
2. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям / Н.К. Булин, А.В. Егоркин. – М.: Центр ГЕОН, 2000. – 194 с.
3. Губин И.Е. О детальном сейсмическом районировании / И.Е. Губин // Детальное сейсмическое районирование. – М.: Наука, 1980. – С. 5–26.
4. Дружинин Ф.Ф., Юнусов Ю.С., Парыгин Г.И. Специфика сейсмичности уральского региона // Глубинное строение и развитие Урала: материалы научно-производств. конф., посвящ. 50-летию баженовской геофиз. экспед. (г. Заречный, 28–30 ноября 1994 г.) – Екатеринбург, 1996. – С. 102–109.
5. Лютоев В.А. Сейсмогенные зоны Республики Коми и микросейсмическое районирование города Сыктывкара. / В.А. Лютоев – Сыктывкар: Геопринт, 2001. – 32 с.
6. Лютоев В.А. Использование диссипативных особенностей платформ в сейсмическом районировании / В.А. Лютоев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, – 2011. – № 9. – С. 14–17.
7. Лютоев В.А., Пономарева Т.А. Геолого-геофизическая основа сейсмического районирования Европейского северо-востока России / В.А. Лютоев, Т.А. Пономарева // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2011. – № 12. – С. 7–12.
8. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде / М.А. Садовский, В.Ф. Писаренко. – М.: Наука, 1991. – 96 с.
9. Савич А.И., Ященко З.Г. Исследования упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами / А.И. Савич, З.Г. Ященко. – М.: Недра, 1979. – 214 с.
10. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина // Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. – 57 с.