

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.831.23:550.312

DOI:10.23671/VNC.2019.2.31979

Эксперимент по изучению синхронных континентальных микросейсм в Северной Евразии методом комплексирования гравиметрических и сейсмических наблюдений

М. Н. Дробышев¹, Д. В. Абрамов¹, С. Г. Бычков², В. Н. Конешов¹,
М. И. Герман³, О. А. Храпенко⁴, С. В. Горожанцев⁵, С. А. Красилов⁵,
А. С. Бебнев^{6,7}, А. В. Овчаренко⁷

¹ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, e-mail: drnika88@gmail.com;

²ФГБУН Горный институт Уральского отделения РАН, Россия, 614007, Пермский кр., г. Пермь, ул. Сибирская, 78-а, e-mail: bsg@mi-perm.ru;

³Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья, Россия, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 55;

⁴ООО «НИИМоргеофизика-Сервис. ком», Россия, 183039, г. Мурманск, ул. Книповича, 49/1;

⁵ФГБУН Геофизическая служба РАН, Россия, 249035, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, 189;

⁶Геофизическая лаборатория-обсерватория «Арти», Россия, 623341, Свердловская обл., п. Арти, ул. Геофизическая, 2а;

⁷ФГБУН Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича Уральского отделения РАН, Россия, 620016, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.

Аннотация: Исследованы неперiodические повышения интенсивности микросейсмического шума. На протяжении четырех месяцев осуществлялись синхронные геофизические наблюдения гравиметрами ScintrexCG-5 Autograv в Обнинске, Мурманске, Екатеринбурге и Красноярске. При проведении измерений были зарегистрированы множественные случаи синхронного повышения интенсивности микросейсмических шумов, как в пунктах гравиметрических наблюдений, так и в ряде сейсмометрических пунктов северо-восточной части Евразии. Продолжительность зарегистрированного аномального повышения микровибраций составляет от нескольких часов до нескольких суток. Высокочувствительные гравиметры регистрируют не только гравитационное поле и его вариации, связанные с приливными изменениями силы тяжести и другими неприливными и метеорологическими явлениями, но и высокочастотные вариации, связанные в первую очередь с воздействием процессов инерциального характера. Гравиметры и сейсмографы обладают различными характеристиками, однако, высокочастотное воздействие, от общего источника регистрируется обоими приборами, с той лишь разницей, что в гравиметре оно считается помехой и характеризуется среднеквадратичным отклонением (СКО). СКО гравиметрических данных, и СКО, посчитанное по рядам измерений сейсмометров, обнаруживают высокое сходство. Сопоставление с микросейсмическими шумами позволяет говорить об инерциальной, а не о гравиметрической природе зарегистрированных гравиметрами аномалий. Результаты исследования корреляционных связей сигналов объясняются крупными локальными вариациями микросейсм и метеорологических характеристик, их влиянием на тонкую структуру геофизических сигналов, регистрируемых гравиметрами. Кратковре-

менные полугодовые наблюдения обнаружили особенности геофизических процессов на обширной территории Евразии. Дальнейшие исследования позволят выявить тонкую структуру взаимных влияний геофизических процессов по данным наблюдений чувствительными гравиметрами и сейсмометрами. Учет этого явления необходим при планировании и выполнении высокоточных гравиметрических съемок и долговременных гравиметрических наблюдений.

Ключевые слова: гравиметр, среднеквадратичное отклонение, сейсмометр, штормовые микросейсм, метеорологические процессы.

Благодарности: Данная работа выполнена в рамках Гос. задания ИФЗ РАН. Авторы выражают благодарность А. В. Николаеву за помощь и внимание к работе.

Для цитирования: Дробышев М. Н., Абрамов Д. В., Бычков С. Г., Конешов В. Н., Герман М. И., Храпенко О. А., Горожанцев С. В., Красилов С. А., Бебнев А. С., Овчаренко А. В. Эксперимент по изучению синхронных континентальных микросейсм в Северной Евразии методом комплексирования гравиметрических и сейсмических наблюдений. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019; 9 (2): 83-94. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31979.

Введение

При проведении долговременных высокоточных гравиметрических измерений иногда наблюдаются резкие возрастания амплитуды колебаний датчика гравиметра, они имеют непериодический характер и продолжаются от нескольких часов до нескольких суток [Малышева и др., 2018; Ovcharenko, 2018]. Наблюдаемые повышения уровня шума не связаны с конструктивными особенностями различных приборов, поскольку фиксируются гравиметрами и сейсмометрами, удаленными друг от друга на значительное расстояние [Антонов, 2017].

Повышение шумовой активности может быть связано с различными внешними факторами, такими как землетрясения [Абрамов, Бычков, 2018; Михайлов, 2005], метеоритные потоки, с процессами, происходящими на Солнце, в частности с вариациями магнитотеллурического поля [Антонов, 2016], изменением метеорологических факторов [Абрамов и др., 2013; Адушкин и др., 2008; Малышева и др., 2018; Warburton et al., 1977; Spratt, 1982; Muller et al., 1983; Meurers, 1999], в том числе с распространением циклонов над водной поверхностью океанов [Табулевич, 1986]. Распространенность шума по площади может объясняться воздействием волн Релея, вызванных экзогенными штормовыми микросейсмами первого и второго рода, морским и океаническим прибоем [Монахов, 1977; Рыкунов, 1967; Strobach, 1957]. Гипотез процессов, приводящих к повышению шума гравиметрических рядов, много, причем непонятно, имеем ли мы дело действительно с возможными изменениями гравитационного поля или повышенной дисперсией отсчетов гравиметра, то есть с инерциальной помехой.

Кроме того, по результатам многолетних наблюдений была установлена сезонность повышения уровня микросейсмического шума и его связь со строением земной коры на северо-восточной части Русской платформы [Абрамов и др., 2013, 2019; Антонов, 2017; Бебнев, 2017], учитывая это, а также тот факт, что повышенная дисперсия отсчетов является помехой при высокоточных гравиметрических съемках, в частности при мониторинговых гравиметрических работах [Бычков и др., 2017], то актуальность изучения данного явления несомненна.

С целью определения источника и характера микросейсмических шумов, регистрируемых синхронно в различных пунктах на значительном расстоянии, приборами с различными конструкционными особенностями, а также выявления связей строения земной коры с характеристиками микросейсм нами проведен эксперимент по синхронной записи гравиметров в пунктах, расположенных в северо-восточной части Евразийского континента, дополненный данными ряда сейсмических станций.

Условия проведения эксперимента

По проведенным ранее исследованиям были сделаны выводы о том, что гравиметры, разнесенные между собой почти на 1500 км (Обнинск – Пермь), зарегистрировали один и тот же сигнал или процесс, при этом среднеквадратичное отклонение (СКО) гравиметрических отсчетов и сами отсчеты изменялись синхронно, коэффициент корреляции между показаниями гравиметров составил 0,97 [Абрамов, Бычков, 2018]. В подтверждение сделанных выводов, было решено расширить географию проведения эксперимента.

Сотрудниками Института Физики Земли РАН при содействии сотрудников Горного института ГИ УрО РАН (Пермь), Института геологии и минерального сырья КНИИГиМС (Красноярск), Единой геофизической службы РАН (Обнинск), Института геофизики ИГФ УрО РАН (Екатеринбург) и ООО «НИИМоргеофизика-Сервис.ком» (Мурманск) в течение четырех месяцев (февраль-май 2018 г.) осуществлялась синхронная запись гравиметрических данных в пунктах, расположенных в северо-восточной части Евразийского континента. В эксперимент также были включены данные с сейсмических станций международной организации Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS).

Расположение пунктов наблюдений и основные геологические границы [Хаин, 2001] приведены на рисунке 1. Для сейсмических станций на рисунке применены условные обозначения пунктов, принятые организацией IRIS, а для пунктов гравиметрических наблюдений использованы сокращенные названия городов (Mrm, Obn, Ekb, Krs).

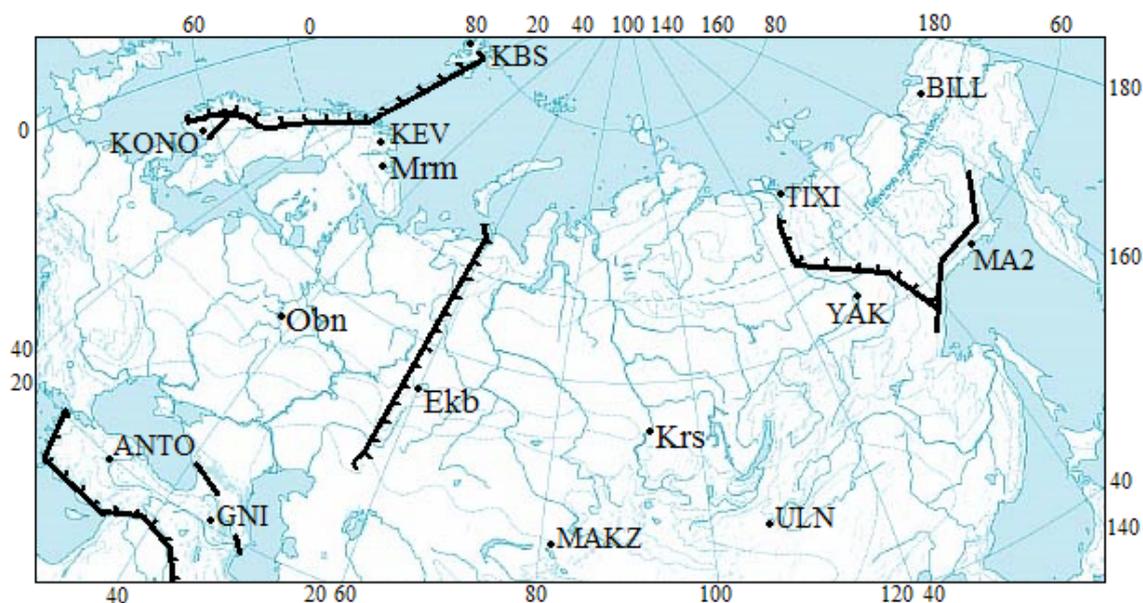


Рис. 1. Карта расположения пунктов и основных геологических границ: Нью-Олесунн (KBS), Конгсберг (KONO), Утсйоки (KEV), Мурманск (Mrm), Обнинск (Obn), Анкара (ANTO), Гарни (GNI), Екатеринбург (Ekb), Маканчи (MAKZ), Красноярск (Krs), Улан-Батор (ULN), Якутск (YAK), Магадан (MA2), Тикси (TIXI), Билибино (BILL). /

Fig. 1. Map of locations: Ny-Alesund (KBS), Kongsberg (KONO), Utsjoki (KEV), Murmansk (Mrm), Obninsk (Obn), Ankara (ANTO), Garni (GNI), Ekaterinburg (Ekb), Makanchi (MAKZ), Krasnoyarsk (Krs), Ulan Bator (ULN), Yakutsk (YAK), Magadan (MA2), Tiksi (TIXI), Bilibino (BILL).

Гравиметрические измерения проводились в Мурманске, Обнинске, Екатеринбургe и Красноярске, в остальных пунктах использовались широкополосные сейсмические станции организации IRIS.

В эксперименте использовались относительные автоматизированные гравиметры CG-5 Autograv компании Scintrex, имеющие разрешающую способность, превышающую 1 мкГал и широкий диапазон частот регистрируемых процессов. Гравиметры этого типа регистрируют измерения с частотой 6 замеров за 1 секунду, после чего вычисляются гравиметрические отсчеты и их СКО. Отсчеты вычисляются средним арифметическим из выборки 6 измерений в секунду в течение всего установленного оператором периода накопления данных [CG-5, 2002]. В нашем эксперименте использовался период накопления данных равный 1 минуте, т.е. отсчет представлял собой усреднение из 60 выборок по 6 отсчетов. Для корректного сопоставления сейсмических и гравиметрических данных было использовано СКО [Дробышев, Конешов, 2013]. Сопоставления гравиметрических и сейсмических данных объясняется тем, что они содержат информацию о реакции земной поверхности на внешние воздействия и имеют общий диапазон частот.

Сейсмические ряды изменений интенсивности микросейсм, используемые в эксперименте, дифференцировались, после чего рассчитывалось СКО по алгоритму, аналогичному алгоритму гравиметра с единственной поправкой на разную частоту исходных данных [Дробышев, Конешов, 2014].

За время наблюдений было зарегистрировано несколько сильных землетрясений магнитудой выше 6,5: 16 февраля 7,2 в Мексике; 2 апреля 6,8 в Боливии; 4 мая 6,9 на Гавайских островах; несколько в Папуа-Новой Гвинее 25 февраля 7,5; 6 марта 6,7; 8 марта 6,8; 26 марта 6,7; 29 марта 6,9.

По зарегистрированным сильным землетрясениям контролировалась синхронность записей на пунктах, после чего они, а также более слабые сейсмические события были отфильтрованы из рядов СКО, для проведения корреляционного анализа.

Полученные результаты

Ряды СКО гравиметрических и сейсмических данных, полученные в результате четырех месяцев измерений были профильтрованы скользящим 1-часовым фильтром чтобы выделить возрастание амплитуды зашумленности в периоде от одного часа и ниже. Результаты измерений в пунктах, расположенных в северо-восточной части Евразийского континента, представлены на рисунке 2.

По изображенным на рисунке 2 графикам можно заметить явное сходство между шумами, зарегистрированными в Европе на всей продолжительности измерений, кроме пункта Конгсберг (рисунки 2.1-2.6). На восток от Урала также периодически наблюдается общее сходство, например, с 19 по 28 февраля и с 5 по 15 марта (трассы 9-15). Во временном промежутке с 20 апреля по 5 мая северо-восточные пункты регистрируют повышение шума, не достигающее до южных и европейских районов (трассы 12-15). С 21 по 30 марта в Обнинске зарегистрировано возмущение синхронное с Анкарой, Гарни и некоторыми другими южными пунктами (трассы 4-9).

Может сложиться впечатление, что в период с 17 по 20 марта происходило синхронное увеличение амплитуды на всех пунктах наблюдения, однако северо-вос-

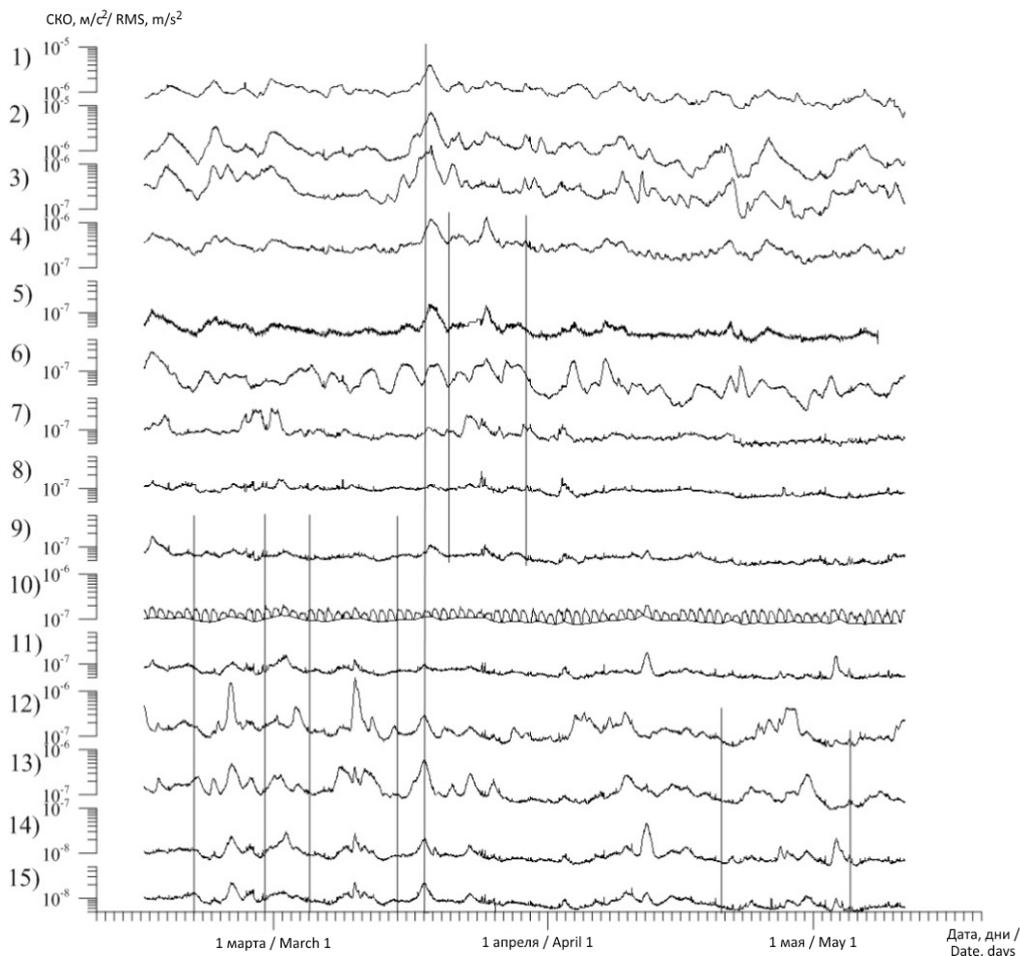


Рис. 2. СКО гравиметрических и сейсмических данных фильтрованные 1 – часовым фильтром, полученных в пунктах, расположенных в северо-восточной части Евразийского континента:

1 – Мурманск (Mrm), 2 – Утсйоки (KEV), 3 – Нью-Олесунн (KBS), 4 – Обнинск (Obn), 5 – Екатеринбург (Ekb), 6 – Конгсберг (KONO), 7 – Анкара (ANTO), 8 – Гарни GNI, 9 – Маканчи (MAKZ), 10 – Красноярск (Krs), 11 – Улан-Батор (ULN), 12 – Магадан (MA2), 13 – Билибино (BILL), 14 – Якутск (YAK), 15 – Тикси (TIXI). Вертикальными линиями обозначены временные промежутки, описанные ниже. /

Fig. 2. RMS of gravimetric and seismic data filtered by a 1-hour filter obtained at points located in the north-eastern part of the Eurasian continent: 1 – Murmansk (Mrm), 2 – Utsjoki (KEV), 3 – Ny-Alesund (KBS), 4 – Obninsk (Obn), 5 – Ekaterinburg (Ekb), 6 – Kongsberg (KONO), 7 – Ankara (ANTO), 8 – Garni GNI, 9 – Makanchi (MAKZ), 10 – Krasnoyarsk (Krs), 11 – Ulan-Bator (ULN), 12 – Magadan (MA2), 13 – Bilibino (BILL), 14 – Yakutsk (YAK), 15 – Tiksi (TIXI). The vertical lines indicate the time intervals described below.

точные пункты зарегистрировали пиковое значение амплитуды раньше остальных более чем на сутки.

Для большей объективности оценки синхронности изменения амплитуды использовался корреляционный анализ. При проведении анализа рассчитывался коэффициент парной корреляции между всеми пунктами по полному ряду данных. По причине значительного ежесуточного перепада уровня СКО в Красноярске, связанного с влиянием техногенных факторов, при сравнении использовалась нижняя граница зашумленности. Результаты корреляционного анализа представлены в виде корреляционной матрицы таблица 1.

Таблица 1 / Table 1.

Корреляционная матрица СКО данных /

Correlation matrix of the RMS data

	KBS	KONO	KEV	Mrm	Obn	Erb	MAKZ	Krs	ULN	YAK	TIXI	BILL	MA2	ANTO	GNI
KBS	1														
KONO	0,25	1													
KEV	0,84	0,35	1												
Mrm	0,75	0,37	0,93	1											
Obn	0,66	0,62	0,82	0,77	1										
Erb	0,67	0,72	0,75	0,71	0,93	1									
MAKZ	0,44	0,67	0,42	0,42	0,59	0,75	1								
Krs	0,52	0,32	0,42	0,46	0,44	0,16	0,65	1							
ULN	0,32	0,21	0,25	0,30	0,24	0,30	0,60	0,79	1						
YAK	0,27	0,02	0,18	0,19	0,09	0,12	0,37	0,70	0,87	1					
TIXI	0,46	0,15	0,32	0,38	0,22	0,27	0,50	0,71	0,69	0,72	1				
BILL	0,40	0,07	0,28	0,35	0,24	0,25	0,32	0,54	0,44	0,53	0,86	1			
MA2	0,14	0,28	0,43	0,10	0,03	0,04	0,18	0,27	0,28	0,38	0,57	0,46	1		
ANTO	0,40	0,26	0,29	0,32	0,30	0,37	0,44	0,45	0,38	0,20	0,37	0,26	0,07	1	
GNI	0,34	0,40	0,35	0,42	0,41	0,45	0,68	0,72	0,63	0,40	0,61	0,43	0,20	0,58	1

Полученные результаты корреляционного анализа можно объяснить геологическими особенностями территории, на которой проводился эксперимент (рис. 1), а также факторами, влияющими на СКО сейсмических и гравиметрических измерений, например, метеорологическими условиями, как в пунктах наблюдений, так и в источниках сейсмических и гравитационных вариаций этих полей. В этой таблице жирным шрифтом выделены большие значения коэффициентов корреляции, которые видны на глаз при рассмотрении таблицы. Анализ таблицы должен учитывать доверительные интервалы для коэффициентов корреляции, которые зависят от сравниваемых сигналов. Для длинных рядов значимость коэффициентов повышается и даже небольшие значения 0,3-0,5 становятся значимыми, расширяется база экспериментальных данных, можно увидеть закономерности, скрытые при анализе коротких рядов. Это указывает на необходимость продолжения наблюдений, анализа более длинных рядов.

Морфологические характеристики полей СКО

Пара пунктов Утсйоки, Мурманск и пункт Нью-Олесунн расположены по разные стороны разлома, однако имеют общий характер зашумленности. В этом можно увидеть влияние основного источника помех в этом регионе – Баренцева моря.

Пункт Конгсберг расположен на Осло-грабене, что значительно снижает влияние событий на Белом и Баренцевом морях. Пункты Утсйоки, Мурманск и Обнинск, расположенные на Восточно-Европейской платформе, вместе с пунктом Нью-Олесунн демонстрируют постепенное затухание шумового эффекта.

Екатеринбургские данные, несмотря на расположение пункта на Уральском хребте, имеют лучшую корреляцию с европейскими пунктами. Это связано с платформенным характером рельефа в этом районе.

Пункты, расположенные к востоку от Уральского хребта характеризуются, в основном, высокой корреляцией между собой, за исключением пункта в Маканчи, ко-

торый имеет лучшую корреляцию с европейскими. Вероятно, микросейсмические колебания проходят от Баренцева моря в Маканчи через Уральский хребет в районе Екатеринбурга. Высокую корреляцию данных из Гарни и Красноярска можно объяснить сходством расположения пунктов вдоль Альпийского складчатого пояса.

Магадан, расположенный на Охотско-Чукотском палеовулканическом поясе Верхояно-Чукотской складчатой области, отделен от остальных пунктов хребтом Черского. Пункты Тикси и Билибино расположены на одном горном массиве, при этом имеют высокую корреляцию данных. Пункты Анкара и Гарни, также расположены в складчатой области и отделены Кавказским хребтом от европейских пунктов. Низкая корреляция для этих пунктов, вероятно, объясняется влиянием Таврских гор.

Эти морфологические особенности взаимной корреляции СКО микросейсм связаны, прежде всего, с геологическими условиями, строением земной коры и ее поверхностным рельефом, а также с особенностями распределения источников микросейсм на акваториях. Источники помех на Востоке определить сложнее, в силу недостаточного числа пунктов и более сложного геологического строения региона.

Интенсивность микросейсм к востоку от Урала сравнительно невысока, что связано с явлением экранирования горными системами затуханием континентальных микросейсм от севера к югу, увеличением расстояния до акваторий и пути штормовых микросейсм.

Проведенные работы по сопоставлению СКО отсчетов гравиметра с количеством землетрясений $M > 3$ в сутки [Абрамов, Бычков, 2018] косвенно подтверждают отнесение микросейсмических шумов к штормовым микросейсмам [Науменко, 1979].

Обсуждение результатов

Основной результат нашего исследования – это экспериментальное подтверждение факта взаимосвязи СКО измерений на сейсмических станциях и пунктах высокоточных гравиметрических наблюдений, разнесенных на значительные расстояния.

Наблюдаемый непериодический сейсмический шум в европейской части России, в основном, является результатом воздействия, возникающего в северных морях.

Невозможность преодоления Релеевскими волнами резких изменений поверхностного рельефа, неоднородности сейсмических характеристик верхней части земной коры при их распространении вглубь континента на юг позволяют сделать вывод о поверхностном типе сейсмических волн, вызванных штормовыми микросейсмами.

Этот методический вывод, полученный по данным четырехмесячных наблюдений, поддержан геологическими результатами, показывающими влияние строения земной коры и ее рельефа на уровень СКО сейсмических и гравиметрических наблюдений.

Заключение

В результате проделанной работы показана перспективность и направление дальнейших исследований:

– необходимо продолжить наблюдения микросейсм и высокоточные гравиметрические исследования, повысить статистическую значимость корреляционных связей и включить в анализ данные о метеорологической и штормовой обстановке на акваториях – источнике микросейсм, их прямого и опосредованного воздействия на показания гравиметров;

– необходимо исследовать влияние внешних факторов на СКО измерений приборов, гравиметров и сейсмометров, в том числе значительно удаленных от источников помех, определить дальности распространения эффекта от источников.

Продолжение работы представляет перспективу дальнейшей совместной интерпретации сейсмических и гравиметрических наблюдений по предложенной методике. Это существенно улучшит предельные возможности высокоточных гравиметрических исследований.

Литература

1. Абрамов Д. В., Бебнев А. С., Бычков С. Г., Горожанцев С. В., Дробышев М. Н., Овчаренко А. В., Храпенко О. А. Проведение синхронных экспериментальных гравиметрических наблюдений в 2017-2018 годах в точках, разнесённых на большие расстояния // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). – Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. – С. 8-11.

2. Абрамов Д. В., Бычков С. Г. Возможная природа пульсаций гравитационного поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. – Казань: Казанский университет, 2018. – С. 16-18.

3. Абрамов Д. В., Дробышев М. Н., Конешов В. Н. Оценка влияния сейсмических и метеорологических факторов на точность измерений относительным гравиметром // Физика Земли – 2013. – №4. – С. 105-110.

4. Антонов Ю. В. Всплески неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика. – 2017. – № 1. – С. 28-34.

5. Антонов Ю. В. Пульсации гравитационного поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. – Воронеж: ВГУ, 2016. – С. 17-19.

6. Адушкин В. В., Локтев Д. Н., Спивак А. А. Влияние барических возмущений атмосферы на микросейсмические процессы в земной коре // Физика Земли. – 2008. – № 6. – С. 77-85.

7. Бебнев А. С. Сезонная составляющая по результатам мониторинговых наблюдений гравитационного поля на обсерватории «Арти» // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Девятое научные чтения памяти Ю. П. Булашевича. – Екатеринбург: ИГфУрО РАН, 2017. – С. 51-54.

8. Бычков С. Г., Мичурин А. В., Симанов А. А. Гравиметрический мониторинг аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь: ПГНИУ, 2017. – С. 132-137.

9. Дробышев М. Н., Конешов В. Н. Оценка предельной точности гравиметра CG-5 Autograv // Сейсмические приборы. – 2013. – Т. 49. №2. – С. 39-43.

10. Дробышев М. Н., Конешов В. Н. Учет сейсмического воздействия на высокоточные измерения гравиметром CG-5 Autograv // Физика Земли. – 2014. – №4. – С. 131-134.
11. Малышева Д. А., Абрамов Д. В., Дробышев М. Н., Конешов В. Н. Влияние метеофакторов на уровень микросейсмического фона при долговременных гравиметрических наблюдениях с погрешностью порядка первых микрогал // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54. № 1. – С. 19-28.
12. Михайлов И. Н. Новые результаты по регистрации краткосрочных предвестников катастрофических событий (землетрясений) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2005. – С. 193-194.
13. Монахов Ф. И. Низкочастотный сейсмический шум Земли. – М.: Наука, 1977. – 94 с.
14. Науменко Б. Н. Явление частичной ликвидации тектонических напряжений штормовыми микросейсмами // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1979. – №8. – С. 72-75.
15. Рыкунов Л. Н. Микросейсмы. Экспериментальные характеристики естественных микровибраций грунта в диапазоне периодов 0,07-8 сек. – М.: Наука, 1967. – 86 с. (Результаты МГП, №7).
16. Собакарь Г. Т. Неприливные изменения силы тяжести. – Киев: Наукова думка, 1982. – 136 с.
17. Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний. – Новосибирск: Наука, 1986. – 151 с.
18. Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов. – М.: Научный мир, 2001. – 606 с.
19. CG-5. Гравиметрический комплекс Autograv компании Scintrex. Руководство по эксплуатации: пер. с англ. AGT Systems. – М.: 2002. – 248 с.
20. Meurers B. Gravitational effects of atmospheric processes in SG gravity data. // Ducarme B and Barthelemy J (eds.) Proceedings of the workshop: 'High Precision Gravity Measurements with Application to Geodynamics and Second GGP Workshop', vol. 17, pp. 57-65. Luxembourg: 1999, ECGS Caheirs.
21. Muller T., Zurn W. Observation of gravity changes during the passage of cold fronts // J. Geophys. – 1983. – V. 53. №3. – Pp. 155-160.
22. Ovcharenko A. V. Processing and interpretation of time series high precision gravimetric monitoring // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. – Казань: Казанский университет, 2018. – С. 143.
23. Spratt R. S. Modelling the effect of atmospheric pressure variations on gravity. Geophys. // J. R. astr. Soc. – 1982. – V. 71. – Pp. 173-186.
24. Strobach K. Stereoskopische Vectorre registrierung. // Z. f. Geophys. – 1957. – 23 p.
25. Warburton R. J., Goodkind J. M. The influence of barometric pressure variations on gravity. Geophys. // J. R. astr. Soc. – 1977. – V. 48. – Pp. 281-292.

GEOFYSICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31979

An experiment on the study of synchronous continental microseisms in northern Eurasia using a combination of gravimetric and seismic observations

M. N. Drobyshev¹, D. V. Abramov¹, S. G. Bychkov², V. N. Koneshov¹,
M. I. German³, O. A. Khrapenko⁴, S. V. Gorozhantsev⁵, S. A. Krasilov⁵,
A. S. Bebnev^{6, 7}, A. V. Ovcharenko⁷

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 10/1
B. Gruzinskaya Str., Moscow 123995, Russia
e-mail: drmika88@gmail. com;

²Mining Institute of the Ural Branch the Russian Academy of Sciences, 78-a
Sibirskaya Str., Perm 614007, Perm region, Russia
e-mail: bsg@mi-perm. ru;

³Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources, 55Mira Ave.,
Krasnoyarsk 660049, Krasnoyarsk region, Russia;

⁴NIIMorgeofizika-Service. com, Россия, 49/1 Книповича
Str., Murmansk 183039, Russia;

⁵Geophysical Survey the Russian Academy of Sciences, 189 Lenina Av., Obninsk
249035, Kaluga region, Russia;

⁶Geophysical laboratory-observatory «Arti», 2ast. Geophysical, Arti 623341,
Sverdlovsk region, Russia;

⁷Institute of Geophysics them. Yu. P. Bulashevich of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, 100, Amundsen Str., Yekaterinburg 620016,
Sverdlovsk region, Russia

Abstract: Non-periodic intensity increase of microseismic noise was researched. During four months, synchronous geophysical observations were carried out using Scintrex CG-5 Autograv gravimeters in Obninsk, Murmansk, Yekaterinburg and Krasnoyarsk. During the measurements, multiple cases of synchronous intensity increase of microseismic noise were recorded, both at the gravimetric observation points and at a number of seismometric points in northeastern Eurasia. The duration of the registered anomalous increase in microvibrations ranges from several hours to several days. Highly sensitive gravimeters register not only the gravitational field and its variations associated with tidal changes of gravity and other non-tidal and meteorological phenomena, but also high-frequency variations associated primarily with the effects of inertial processes. Gravimeters and seismographs have different characteristics, however, both instruments record high-frequency effects from a common source, with the only difference that in the gravimeter it is considered interference and is characterized by standard deviation (RMS). RMS of gravimetric data, and RMS, calculated by series of seismometers measurements, show high similarity. Comparison with microseismic noise suggests an inertial rather than a gravimetric nature of anomalies recorded by gravimeters. The results of the signals correlation study are explained by large local variations of microseisms and meteorological characteristics, their influence on the fine structure of geophysical signals recorded by gravimeters. Short-term semi-annual observations revealed features

of geophysical processes in the vast territory of Eurasia. Further studies will reveal the fine structure of the mutual influences of geophysical processes according to observation data by sensitive gravimeters and seismometers. Consideration of this phenomenon is necessary when planning, performing high-precision gravimetric surveys, and long-term gravimetric observations.

Keywords: gravimetry, relative gravimeter, seismometer, standard deviation, storm microseisms, meteorological processes.

Acknowledgments: This work was performed in the framework of the state assignment of the IPE RAS. The authors are grateful to A. V. Nikolaev for the help and attention to work.

For citation: Drobyshev M. N., Abramov D. V., Bychkov S. G., Koneshov V. N., German M. I., Khrapenko O. A., Gorozhantsev S. V., Krasilov S. A., Bebnev A. S., Ovcharenko A. V. An experiment on the study of synchronous continental microseisms in northern Eurasia using a combination of gravimetric and seismic observations. *Geology of the South of Russia*. (in Russ.). 2019; 9 (2): 83-94. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31979.

References

1. Abramov D. V., Bebnev A. S., Bychkov S. G., Gorozhantsev S. V., Drobyshev M. N., Ovcharenko A. V., Khrapenko O. A. Simultaneous experimental gravimetric observations in 2017-2018 at points separated by large distances. Questions of the theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields. Collection of scientific papers. Issue 1 (46). Perm: GI UB RAS, PGNIU, 2019. Pp. 8-11. (in Russ.)
2. Abramov D. V., Bychkov S. G. The possible nature of gravitational field pulsations. Questions of the theory and practice of geological interpretation of geophysical fields. Kazan, Kazan University, 2018. Pp. 16-18. (in Russ.)
3. Abramov D. V., Drobyshev M. N., Koneshov V. N. Evaluation of the influence of seismic and meteorological factors on the accuracy of measurements with a relative gravimeter. *Izvestiya-Physics of The Solid Earth*. 2013, No. 4. Pp. 105-110. (in Russ.)
4. Antonov Yu. V. Bursts of non-tidal variations of gravity. *Geophysics*. 2017. No. 1. Pp. 28-34. (in Russ.)
5. Antonov Yu. V. Pulsations of the gravitational field. Questions of the theory and practice of geological interpretation of geophysical fields. Voronezh: VSU, 2016. Pp. 17-19. (in Russ.)
6. Adushkin V. V., Loktev D. N., Spivak A. A. Influence of atmospheric pressure disturbances on microseismic processes in the earth's crust. *Izvestiya-Physics of The Solid Earth*. 2008. No. 6. Pp. 77-85. (in Russ.)
7. Bebnev A. S. Seasonal component according to the results of monitoring observations of the gravitational field at the "Arti" Observatory. Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields: Ninth scientific readings on the memory of Yu. P. Bulashevich. Yekaterinburg: IGfURO RAS, 2017. Pp. 51-54. (in Russ.)
8. Bychkov S. G., Michurin A. V., Simanov A. A. Gravimetric monitoring of emergency sites of the mines of the Verkhnekamsk potassium salt deposit. *Geology and minerals of the Western Urals*. Perm: PGNIU, 2017. Pp. 132-137. (in Russ.)
9. Drobyshev M. N., Koneshov V. N. Estimation of the limiting accuracy of gravimeter CG-5 Autograv. *Seismic devices*. 2013. Vol. 49. No. 2. Pp. 39-43. (in Russ.)
10. Drobyshev M. N., Koneshov V. N. Accounting for seismic effects on high-precision measurements using a CG-5 Autograv gravimeter. *Izvestiya-Physics of The Solid Earth*. 2014. No. 4. Pp. 131-134. (in Russ.)
11. Malysheva D. A., Abramov D. V., Drobyshev M. N., Koneshov V. N. Influence of meteorological factors on the level of microseismic background in long-term gravimetric observations with an error of the first microgal order. *Seismic instruments*. 2018. Vol. 54. No. 1. Pp. 19-28. (in Russ.)
12. Mikhailov I. N. New results on the registration of short-term precursors of catastrophic events (earthquakes). Questions of the theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields. Perm: GI UB RAS, 2005. pp. 193-194. (in Russ.)

13. Monakhov F.I. Low frequency seismic noise of the Earth. M.: Science, 1977. 94 p. (in Russ.)
14. Naumenko B.N. The phenomenon of partial elimination of tectonic stresses by storm microseisms. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Physics of the Earth.* 1979. No. 8. Pp. 72-75. (in Russ.)
15. Rykunov L.N. Microseisms Experimental characteristics of natural soil microvibrations in the period range of 0.07-8 sec. M.: Nauka, 1967. 86 p. (Results of MGP, No. 7). (in Russ.)
16. Sobakar' G.T. Non-tidal gravity changes. Kiev: Naukova Dumka, 1982. 136 p. (in Russ.)
17. Tabulevich V.N. Comprehensive studies of microseismic vibrations. Novosibirsk: Nauka, 1986. 151 p. (in Russ.)
18. Khain V.E. Tectonics of the continents and oceans. M.: Nauchnyi mir, 2001. 606 p. (in Russ.)
19. CG-5. Gravimetric complex Autograv company Scintrex. Operation manual: trans. from Engl. AGT Systems. M.: 2002. 248 p. (in Russ.)
20. Meurers B. Gravitational effects of atmospheric processes in SG gravity data. Ducarme B and Barthelemy J (eds.) *Proceedings of the workshop: 'High Precision Gravity Measurements with Application to Geodynamics and Second GGP Workshop'*, Vol. 17. Pp. 57-65. Luxembourg: 1999, ECGS Caheirs.
21. Muller T., Zurn W. Observation of gravity changes during the passage of cold fronts. *J. Geophys.* 1983. V. 53. No. 3. Pp. 155-160.
22. Ovcharenko A.V. Processing and interpretation of time series high precision gravimetric monitoring. Questions of the theory and practice of geological interpretation of geophysical fields. Kazan: Kazan University, 2018. Pp. 143.
23. Spratt R. S. Modelling the effect of atmospheric pressure variations on gravity. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1982. V. 71. Pp. 173-186.
24. Strobach K. Stereoskopische Vectorre registrierung. *Z. f. Geophys.* 1957. 23 p.
25. Warburton R.J., Goodkind J.M. The influence of barometric pressure variations on gravity. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1977. V. 48. Pp. 281-292.