



**BYSTROV VIBROSEISMIC LANDFILL OF THE GEOPHYSICAL SURVEY
FEDERAL RESEARCH CENTRE RAS AS A UNIQUE FACILITY FOR THE DEVELOPMENT
AND EXPERIMENTAL TESTING OF NEW GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES**

V.M. Solovyev ¹✉, **A.F. Emanov** ¹, **V.S. Seleznev** ², **A.A. Emanov** ¹, **D.G. Korabelschikov** ¹

¹ Altai-Sayan Branch of the Federal Research Center of the Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

² Seismological Branch of the Federal Research Center of the Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT. Information is presented about the Bystrov vibroseismic landfill near Novosibirsk, which houses Large-Scale Research Facilities with no analogues in the world – powerful 50–100-ton vibration sources (GRV-50, CVM-100, CV-40). The infrastructure of the landfill, the composition of the equipment, the tasks of scientific research, Russian and foreign performers of developments are described. The main research results of fundamental and practical importance are presented. One of the main tasks that the created polygon is aimed at is active vibroseismic monitoring with powerful vibrators. The repeatability and accuracy of monitoring, which is one millisecond in kinematic parameters, is shown; the existing monitoring scheme and prospects for increasing the monitoring area due to a stationary seismological network of stations are presented. An example of one of the promising fundamental developments is shown – the study of seismic emission during the excitation of a powerful low-frequency impact on the environment.

KEYWORDS: unbalanced vibrator of 40 and 100 tons of force; regime vibroseismic observations; monitoring accuracy; seismic emission

FUNDING: The work was performed under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (as a part of the state assignment 075-01471-22) and with the use of the data obtained from the Large-Scale Research Facilities "Seismic and infrasonic monitoring of the Arctic cryolite zone and continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent areas and the world".

SHORT COMMUNICATION

Received: December 9, 2021

Revised: January 15, 2022

Accepted: January 20, 2022

Correspondence: Victor M. Solovyev, solov@gs.nsc.ru

FOR CITATION: Solovyev V.M., Emanov A.F., Seleznev V.S., Emanov A.A., Korabelschikov D.G., 2022. Bystrov Vibroseismic Landfill of the Geophysical Survey Federal Research Centre RAS as a Unique Facility for the Development and Experimental Testing of New Geophysical Technologies. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2), 0592. doi:10.5800/GT-2022-13-2-0592

БЫСТРОВСКИЙ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ФИЦ ЕГС РАН КАК УНИКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРОБОВАНИЯ НОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.М. Соловьев¹, А.Ф. Еманов¹, В.С. Селезнев², А.А. Еманов¹, Д.Г. Корабельщиков¹

¹ Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

² Сейсмологический филиал ФИЦ ЕГС РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. Представлена информация о Быстровском вибросейсмическом полигоне под Новосибирском, на котором размещены не имеющие мировых аналогов уникальные научные установки – мощные 50–100-тонные виброисточники (ГРВ-50, ЦВМ-100, ЦВ-40). Приведена инфраструктура полигона, состав оборудования, описаны задачи научных исследований, указаны российские и зарубежные исполнители разработок. Приведены главные результаты исследований, имеющие фундаментальное и практическое значение. Одной из главных задач, на которые нацелен созданный полигон, является активный вибросейсмический мониторинг с мощными вибраторами. Показана повторяемость и точность мониторинга, составляющая по кинематическим параметрам одну миллисекунду; приведена существующая схема мониторинга и перспективы наращивания площади мониторинга за счет стационарной сейсмологической сети станций. Показан пример одной из перспективных фундаментальных разработок – изучение сейсмической эмиссии при возбуждении мощного низкочастотного воздействия на среду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дебалансный вибратор 40 и 100 т силы; режимные вибросейсмические наблюдения; точность мониторинга; сейсмическая эмиссия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

1. ВВЕДЕНИЕ

Быстровский вибросейсмический полигон создан в конце семидесятых годов прошлого столетия для испытания искусственных управляемых источников сейсмических волн, предназначенных для исследования внутренних оболочек Земли, проведения экспериментальных исследований по ряду фундаментальных проблем геофизики (таких, как исследование напряженного и метастабильного состояния твердой среды), разработки и опробования новых методик выявления предвестников опасных сейсмических событий, изучения нелинейных взаимодействий геофизических полей разной природы и др. [Alekseev et al., 2002, 2004; Mihailenko, Eпов, 2010; Emanov et al., 1999]. На полигоне испытываются также новые технологии, предназначенные для применения при проведении геофизических исследований земной коры.

2. СТРУКТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ПОЛИГОНА

Быстровский вибросейсмический полигон ФИЦ ЕГС РАН расположен в 80 км к юго-западу от Новосибирска на площади 62000 м² (рис. 1, а). На полигоне размещаются подразделения АСФ ФИЦ ЕГС РАН, ИНГГ и ИВМиМГ СО РАН.

Состав имеющегося оборудования на полигоне:

1–3 – уникальные научные установки, не имеющие мировых аналогов:

1) стационарный дебалансный виброисточник ЦВ-100 с частотой излучения 4.0–12.5 Гц и амплитудой излучающей силы 100 т,

2) гидрорезонансный вибратор ГРВ-50 с амплитудой излучающей силы 50 т,

3) передвижной (сборно-разборный) дебалансный виброисточник ЦВ-40; частота излучения 5–15 Гц, амплитуда 40–60 т,

4) скважина глубиной 200 м для размещения сейсмического 3-компонентного зонда,

5) сейсмологическая станция Guralp,

6) регистрирующая аппаратура «Байкал-11», «Байкал-8.1»,

7) скважинный температурный измерительный зонд до глубины 5 м,

8) типовая подстанция КПТН 650 КВА.

Социально-бытовые условия. На полигоне имеется автотранспорт; оборудованные места для проживания научно-технического персонала; электропитание от комплектной трансформаторной подстанции наружной, дизель-электростанции 100 и 5 кВт; связь: телефон, мобильный телефон, передача данных по спутниковому модему.

3. ГЛАВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БЫСТРОВСКОМ ПОЛИГОНЕ

При совместных исследованиях по научным проектам РАН и СО РАН, РФФИ, МНТЦ специалистами ряда

институтов РАН и СО РАН (ФИЦ ЕГС, ИФЗ, ИНГГ, ИВМиГ, ИГД), АО «СНИИГГиМС» и др. с мощными (40–100 тонн силы) дебалансными вибраторами в районе Быстровского вибросейсмического полигона получен ряд выдающихся результатов мирового уровня [Alekseev et al., 2002, 2004; Mihailenko, Erov, 2010; Seleznev et al., 2018; Solovyev et al., 2005]:

1. От стационарных и передвижных 40–100-тонных виброисточников зарегистрированы монохроматические сигналы на удалениях до 1000 км и получены

коррелограммы с записями волн в первых вступлениях на удалениях свыше 450 км.

2. Создана новая технология детальных глубинных сейсмических исследований с использованием мощных стационарных и передвижных виброисточников, и впервые в мире отработано несколько профилей глубинного сейсмического зондирования.

3. Разработаны и опробованы технологии по использованию мощных передвижных вибраторов для активного вибросейсмического мониторинга среды и

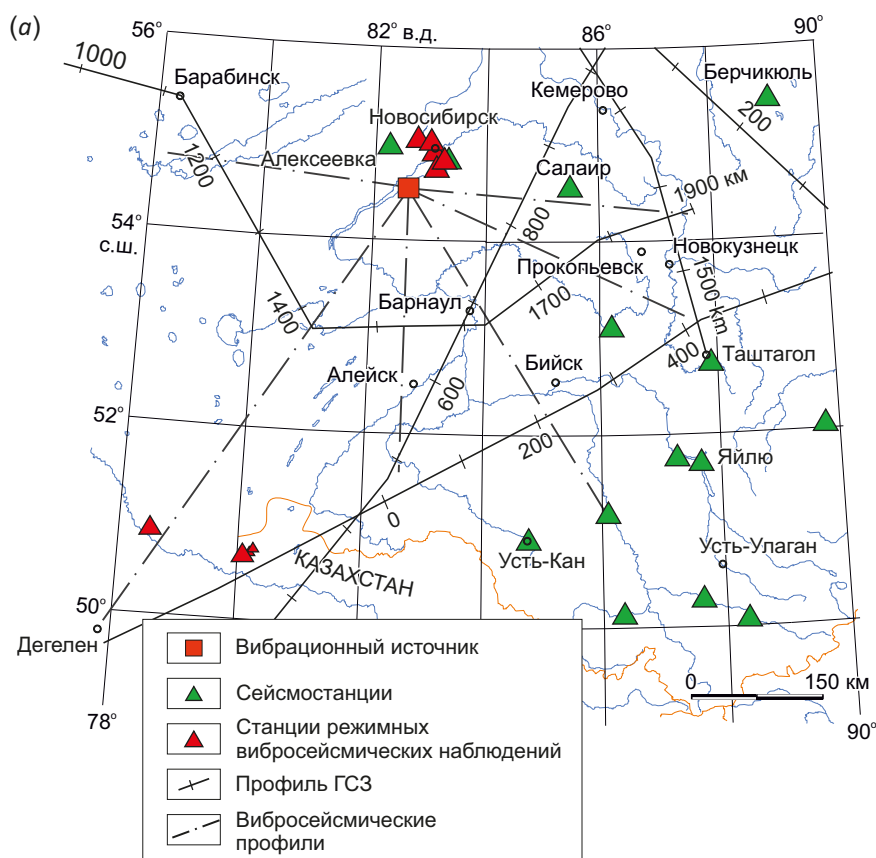


Рис. 1. Схема вибросейсмических исследований в Алтае-Саянском регионе (а) и используемые виброисточники ЦВ-100 (б) и ЦВ-40 (е).

Fig. 1. The scheme of vibroseismic studies in the Altai-Sayan region (a) and the used vibration sources CV-100 (b) and CV-40 (e).

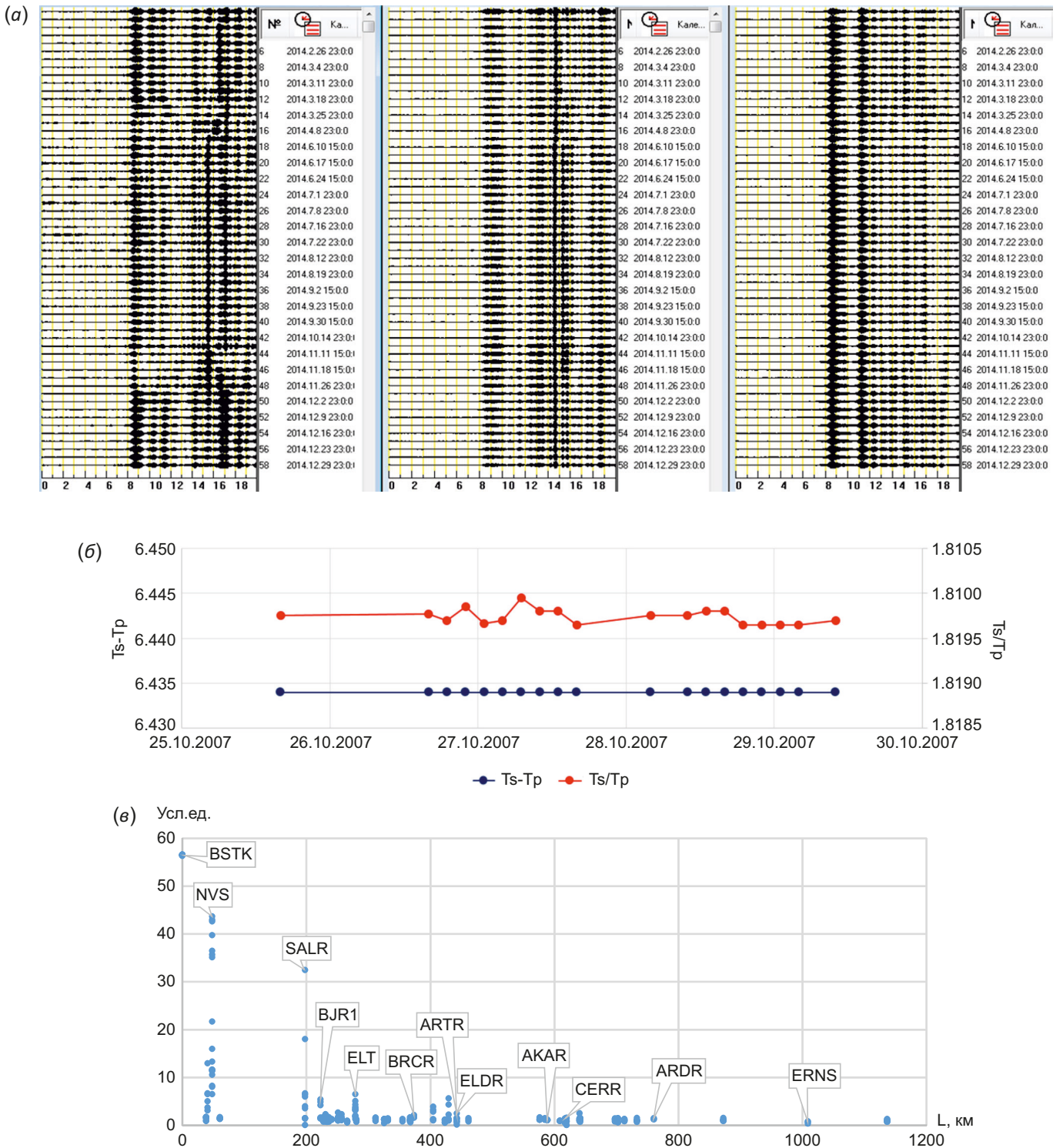


Рис. 2. Динамические и кинематические параметры при проведении вибросейсмического мониторинга. (а) – ряды наблюдений на сейсмостанции «Новосибирск» (удаление ~50 км) в 2014 г. (слева направо – X-, Y-, Z-компоненты); (б) – графики разности и отношений времен регистрации S- и P-волн, зарегистрированных на удалении 50 км при четырехдневном эксперименте; (в) – сводный график отношений амплитуд монохромов к среднеквадратическим амплитудам шумов от удалений для частоты 10.5 Гц за 2016–2017 гг.

Fig. 2. Dynamic and kinematic parameters during vibroseismic monitoring. (a) – series of observations at the Novosibirsk satellite station (distance ~50 km) in 2014 (from left to right – X-, Y-, Z-components); (b) – graphs of the difference and the ratio of the registration times of S- and P-waves recorded at a distance of 50 km during a four-day experiment; (c) – a summary graph of the ratio of the amplitudes of monochromes to the rms amplitudes of noise from the distances for the frequency of 10.5 Hz for 2016–2017.

инженерно-геофизических исследований (изучение сейсмостойкости зданий и сооружений).

4. Совместно с ИВМиМГ СО РАН выполнен международный проект МНТЦ 1067, доказывающий возможность и перспективность применения мощных вибраторов для целей калибровки станций международной сейсмологической сети.

5. Доказана возможность и эффективность группирования на малой апертуре тяжелых (40–60 т) дебалансных вибраторов.

6. Показано, что при монохроматическом воздействии вибраторов в низкочастотном диапазоне (6–12 Гц) происходит существенное возрастание сейсмической эмиссии в более высокочастотном диапазоне (40–60 Гц), в том числе и после отключения вибратора.

В разные годы совместно с российскими организациями в научно-исследовательских работах по вибрационной тематике участвовали зарубежные – из Китая, Японии и США.

Ниже представлены две ключевые разработки в рамках Быстровского полигона, имеющие важное фундаментальное и практическое значение.

Одним из главных направлений исследований на Быстровском полигоне являются режимные вибросейсмические наблюдения (рис. 1, а). За длительный период вибросейсмических исследований отработана методика и техника режимных наблюдений, изучены волновые поля от вибраторов на удалениях до 500 км и прохождение монохроматических сигналов по площади на удалениях до тысячи километров [Alekseev et al., 2002, 2004; Mihailenko, Eпов, 2010; Chichinin, Yushin, 2018], получены длительные ряды режимных наблюдений в ряде контрольных точек (рис. 2, а). Результаты неоднократных многодневных экспериментов показали, что по кинематическим параметрам повторяемость волновых полей в ближней и дальней зоне составляет 10^{-3} с (рис. 2, б). Это на порядок меньше выявляемых по данным мониторинга сезонных вариаций кинематических параметров Р- и S-волн по трассе Быстровка – Ключи вдоль Новосибирского водохранилища [Alekseev et al., 2004; Mihailenko, Eпов, 2010; Seleznev et al., 2018; Solovyev et al., 2005].

С целью расширения точек для режимных вибросейсмических просвечиваний проведен анализ прохождения монохроматических сигналов на сейсмологических станциях Алтае-Саянского региона на удалении до 1200 км от вибратора ЦВ-40 (см. рис. 1, в); установлено, что хорошее накопление монохромов на нескольких частотах осуществляется на ряде станций до удалений ~450 км на юге Алтая (см. рис. 2, в).

В последние годы значительно возросла роль техногенных факторов в возникновении сейсмичности [Emanov et al., 2020]. В настоящее время начаты вибросейсмические наблюдения на сейсмостанциях в районе Бачатского (220 км) и Колыванского (65–70 км) угольных разрезов; накопление рядов режимных вибросейсмических наблюдений на этих станциях в непосредственной близости от разрезов (не более 6–10 км)

позволит отследить процесс подготовки ощутимых техногенных землетрясений в осадочной толще угледобывающих карьеров.

Еще одним перспективным направлением исследований с мощными вибраторами является изучение сейсмической эмиссии, возникающей при работе вибратора. Неоднократными экспериментами на Быстровском полигоне было показано, что при включении мощного низкочастотного виброисточника в диапазоне 6–12 Гц резко, примерно на порядок, возрастает количество высокочастотных сейсмических импульсов в диапазоне 40–60 Гц. При выключении вибратора количество импульсов резко уменьшается и становится на полпорядка меньше среднего уровня, отмечаемого в начале эксперимента. Этот и другие подобные эксперименты с мощными вибраторами [Mirzoev, Negmatulaev, 1983; Bryksin, Seleznev, 2012] свидетельствуют о разгружающем эффекте напряжений в горных породах при мощных вибрационных воздействиях. Управление процессами изменения напряженного состояния среды – важнейшая задача не только для сейсмоактивных регионов; она актуальна и для территорий нефтяных, газовых и угольных месторождений с мощным техногенным воздействием на среду, где фиксируются достаточно ощутимые техногенные землетрясения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Быстровский вибросейсмический полигон с уникальными научными установками – мощными 50–100-тонными вибраторами и сопутствующей инфраструктурой – является уникальным объектом для разработки многих фундаментальных проблем геофизики и их экспериментального опробования. Ряд выполненных на полигоне разработок уже широко используются в геофизических исследованиях.

5. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

6. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

7. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Alekseev A.S., Glinsky B.M., Emanov A.F., Kashun V.N., Kovalevsky V.V., Manstein A.K., Seleznev V.S., Serdyukov S.V. et al., 2002. New Geotechnologies and Complex Geophysical Methods for Studying the Internal Structure and Dynamics of Geospheres. Vibrational Geotechnologies. Moscow, 474 p.

(in Russian) [Алексеев А.С., Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Ковалевский В.В., Манштейн А.К., Селезнев В.С., Сердюков С.В. и др. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер // Вибрационные геотехнологии. М., 2002. 474 с.].

Alekseev A.S., Glinsky B.M., Geza N.I., Emanov A.F., Kashun V.N., Kovalevsky V.V., Manstein A.K., Seleznev V.S. et al., 2004. Active Seismology with Powerful Vibration Sources. GEO, Novosibirsk, 350 p. (in Russian) [Алексеев А.С., Глинский Б.М., Геца Н.И., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Ковалевский В.В., Манштейн А.К., Селезнев В.С. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. Новосибирск: Гео, 2004. 350 с.].

Bryksin A.A., Seleznev V.S., 2012. The Impact of Technogenic Factors on the Seismicity of the Kuznetsk Basin Region and Lake Baikal. Russian Geology and Geophysics 53 (3), 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.02.007>.

Chichinin I.S., Yushin V.I., 2018. Vibrobracy. Memoirs of Geophysicists. Publishing House of SB RAS, Novosibirsk, 108 p. (in Russian) [Чичинин И.С., Юшин В.И. Вибробрация: Воспоминания геофизиков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 108 с.].

Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., 2020. Bachatskiy Induced Earthquake on June 18, 2013, $M_L=6.1$, $I_0=7$ (Kuzbass). Russian Seismological Journal 2 (1), 48–61 (in Russian) [Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $M_L=6.1$, $I_0=7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 1. С. 48–61].

Emanov A.F., Seleznev V.S., Solovyev V.M., Chichinin I.S., Kaprtsov O.V., Kashun V.N., Zhemchugova I.V., Duchkov A.D., 1999. Investigation of Dynamic Peculiarities of Seasonal Variations of Wave Fields on Vibroseismic Monitoring of a Medium. Russian Geology and Geophysics 40 (3), 474–486 (in Russian) [Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Чичинин И.С., Капцов О.В., Кашун В.Н., Жемчугова И.В., Дучков А.Д. Исследование динамических особенностей сезонных изменений волновых полей при вибросейсмическом мониторинге среды // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 3. С. 474–486].

Mihailenko B.G., Epov M.I. (Eds), 2010. Methods of Solving Direct and Inverse Problems of Seismology, Electromagnetism and Experimental Studies in the Problems of Studying Geodynamic Processes in the Crust and Upper Mantle of

the Earth. Integration Projects of SB RAS. Iss. 27. Publishing House of SB RAS, Novosibirsk, 310 p. (in Russian) [Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли // Интеграционные проекты СО РАН / Ред. Б.Г. Михайленко, М.И. Эпов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. Вып. 27. 310 с.].

Mirzoev K.M., Negmatulaev S.H., 1983. The Influence of Mechanical Vibrations on the Release of Seismic Energies. Earthquake Prediction 4, 365–372 (in Russian) [Мирзоев К.М., Негматулаев С.Х. Влияние механических вибраций на выделение сейсмических энергий // Прогноз землетрясений. 1983. № 4. С. 365–372].

Seleznev V.S., Emanov A.F., Solovyev V.M., Sal'nikov A.S., Yushin V.I., Kashun V.N., Elagin S.A., Galeva N.A., 2018. Active Seismology and DSS with Powerful Vibrators in Siberia. In: Computational Mathematics and Mathematical Geophysics. Marchuk Scientific Readings – 2018. Proceedings of the International Conference Dedicated to the 90th Anniversary of Academician A.S. Alekseev (October 8–12, 2018). Vol. 4. ICMG SB RAS, Novosibirsk, p. 349–356 (in Russian) [Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Соловьев В.М., Сальников А.С., Юшин В.И., Кашун В.Н., Елагин С.А., Галева Н.А. Активная сейсмология и ГСЗ с мощными вибраторами в Сибири // Вычислительная математика и математическая геофизика. Марчуковские научные чтения – 2018: Труды Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика А.С. Алексеева (8–12 октября 2018 г.). Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2018. № 4. С. 349–356].

Solovyev V.M., Seleznev V.S., Emanov A.F., Kashun V.N., Zhemchugova I.V., 2005. Active Vibroseismic Monitoring in the North-Western Part of the Altai-Sayan Folded Region. In: Gol'din S.V. (Ed.), Active Geophysical Monitoring of the Earth's Lithosphere. Proceedings of the 2nd International Symposium (September 12–16, 2005). Publishing House of SB RAS, Novosibirsk, p. 64–70 (in Russian) [Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Жемчугова И.В. Активный вибросейсмический мониторинг в северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы 2-го Международного симпозиума (12–16 сентября 2005 г.) / Ред. С.В. Гольдин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. С. 64–70].