

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет
Саяно-Шушенский филиал СФУ
ПАО «РусГидро»

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ

Сборник материалов
XI Всероссийской научно-практической конференции

Саяногорск; Черемушки, 21–23 мая 2024 г.



Саяногорск; Черемушки
СШФ СФУ
2024

УДК 621.22
ББК 31.5
Г46

Ответственный за выпуск – *А. В. Толмачев*, канд. с.-х. наук, директор Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета

Г46 **Гидроэлектростанции в XXI веке:** сб. материалов XI Всерос. науч.-практ. конф., Саяногорск; Черемушки, 21–23 мая 2024 г. / отв. за вып. *А. В. Толмачев*. – Саяногорск; Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2024. – 392 с. : ил.

ISBN 978-5-7638-5002-4

Представлены материалы докладов участников XI Всероссийской научно-практической конференции «Гидроэлектростанции в XXI веке», организованной Саяно-Шушенским филиалом Сибирского федерального университета и ПАО «РусГидро».

Материалы, размещенные в сборнике, предназначены специалистам в области электроэнергетики и электротехники, гидротехнического строительства, аспирантам, студентам, обучающимся по соответствующим профилям подготовки.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. В статьях сохранен авторский стиль.

Электронный вариант издания см:
<http://91.224.166.66:44391/Main/Index>

УДК 621.22
ББК 31.5

ISBN 978-5-7638-5002-4

© Саяно-Шушенский филиал
СФУ, 2024

может значительно повысить как качество обучения студентов, так и профессиональный уровень работников, а также принесет ощутимые репутационные преимущества для обеих сторон.

Список источников

1. Рохлов М.Н. Некоторые аспекты взаимодействия высших учебных заведений и предприятий промышленности / М.Н. Рохлов // Молодой ученый. – 2009. – № 3 (3). – С. 83-84.

2. Тихонова А.Д. Сотрудничество вузов и промышленных предприятий для обеспечения регионального развития / А.Д. Тихонова // Journal of Economic Regulation (Вопросы регулирования экономики). – 2016. – Том № 7 (4). – С. 117-129.

УДК 550.348.098.64

**А. А. Еманов^{1,2}, А. Ф. Еманов¹, И. Ф. Ешкунова¹, А. В. Фатеев^{1,2},
Е. В. Шевкунова¹, П. О. Полянский¹, Р. А. Ершов¹, Н. А. Сержников¹,
Е. А. Гладышев¹**

*Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»¹*

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук²*

ДЕТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ И ОЧАГОВЫХ ЗОН КРУПНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Региональные сети станций не обеспечивают регистрации слабых землетрясений, необходимых для понимания физики очаговых зон землетрясений, для оценки сейсмической активности разломов земной коры в местах строительства особо опасных объектов и местах сильного техногенного воздействия на земную кору. В представленной работе обобщен опыт исследований с плотными сетями временных сейсмологических станций в местах размещения особо важных промышленных объектов и очаговых зонах крупных землетрясений. Для повышения точности результатов создаются локальные скоростные модели земной коры, используются

© Еманов А. А., Еманов А. Ф., Ешкунова И. Ф., Фатеев А. В.,
Шевкунова Е. В., Полянский П. О., Ершов Р. А., Сержников Н. А.,
Гладышев Е. А., 2024

современные методы локации очагов землетрясений и методы искусственного интеллекта для взятия времен вступлений волн. Исследования структуры и режима очагов крупных землетрясений позволяет сформировать представления о развитии сейсмичности в пространстве и времени и на новом уровне оценивать сейсмическую опасность в Алтае-Саянской горной области. Исследования в районе особо опасных объектов позволяют дать инструментальную оценку сейсмических воздействий от далеких сильных и местных слабых землетрясений, а также фиксируют уровень развития наведенной сейсмичности, формирующейся при сильном техногенном воздействии на земную кору.

Ключевые слова: *землетрясения, техногенная сейсмичность, гидроэлектростанции, слабая сейсмичность.*

**A. A. Emanov^{1,2}, A. F. Emanov¹, I. F. Eshkunova¹, A. V. Fateev^{1,2},
E. V. Shevkunova¹, P. O. Polyansky¹, R. A. Ershov¹, N. A. Serezhnikov¹,
E. A. Gladyshev¹**

*Altay-Sayan Branch of the Geophysical Survey of Russia Academy of Sciences¹
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics
of Siberian Branch Russian Academy of Sciences²*

DETAILED SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS IN THE AREAS OF PARTICULARLY IMPORTANT OBJECTS. STUDY OF WEAK SEISMICITY AND FOCAL ZONES OF LARGE EARTHQUAKES

Regional networks of stations do not provide registration of weak earthquakes, which are necessary for understanding the physics of earthquake source zones, for assessing the seismic activity of faults in the earth's crust in places of construction of particularly dangerous objects and places of strong technogenic impact on the earth's crust. The presented work summarizes the experience of research with dense networks of temporary seismological stations in the locations of particularly important industrial facilities and focal zones of large earthquakes. To increase the accuracy of the results, local velocity models of the earth's crust are created, modern methods of locating earthquake sources and artificial intelligence methods are used to take wave arrival times. Studying the structure and regime of sources of large earthquakes makes it possible to formulate ideas about the development of seismicity in space and time and to assess seismic hazard in the Altai-Sayan mountain region at a new level. Studies in the area of particularly dangerous objects make it possible to provide an instrumental assessment of seismic impacts from distant strong and local weak earthquakes, and also record the level of development of induced seismicity, which forms under strong technogenic impacts on the earth's crust.

Key words: *Earthquakes, man-made seismicity, hydroelectric power plants, weak seismicity.*

Сейсмичность территории и ее населенность и промышленная инфраструктура все вместе формируют сейсмический риск для региона в целом. Сейсмологические исследования дают информацию для обеспечения безопасности территории Сибири. К сожалению, даже имеющаяся сеть стационарных сейсмологических станций не в полной мере решает эту задачу [17; 12]. В работе [12] дана краткая информация о местах установки временных сейсмологических станций.

Обследования выполняются в очаговых областях крупных землетрясений, из которых возможны сильные сейсмические воздействия на уникальные и особо опасные инженерные объекты: атомные объекты, гидротехнические сооружения, горнодобывающие предприятия, уникальные здания и т.п.

Исследования природной сейсмичности с локальными сетями выполнены в очаговых областях многих крупных землетрясений России [18; 1]: в Горном Алтае при изучении Чуйского землетрясения 2003 г. и Айгулакского землетрясения 2019 г. [7; 14; 2], в очаговой области Урэг-Нурского землетрясения 1970 г. [9], в Западном Саяне при изучении Саянского землетрясения 2011 г. [11], в хребте им. Академика Обручева при изучении Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. [10], в районе г. Камень-на-Оби изучение очаговой зоны Каменского землетрясения 1965 г. [12]. В очаговых областях Хубсугульского землетрясения 2014 г. и Хубсугульского землетрясения 2021 г. [13; 15].

Детальные исследования сейсмичности региона после Чуйского землетрясения 2003 г. в Горном Алтае позволили получить высокоточную информацию об объемной структуре активизированных в очаговой области разломов, о релаксации напряженного состояния в этой зоне и переходе сейсмических активизаций в другие структуры. В Детальных наблюдениях хорошо контролируется продолжительность сейсмической жизни очаговой области крупного землетрясения. В начальный период большинство землетрясений Алтае-Саянской горной области происходило только в очаговой области Чуйского землетрясения 2003 года.

В последующие годы началась сейсмическая активизация смежных структур: Айгулакского, Курайского, Северо-Чуйского, Южно-Чуйского хребтов. Затем наблюдается сейсмическая активизация удаленных структур с разных сторон от очага Чуйского землетрясения. На карте эпицентров за 2022 год (рис.1) показано существование активности очаговой области Чуйского землетрясения почти через два десятилетия и сейсмическая активность Айгулакской очаговой области и районов Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов. Наиболее активной в этот момент является афтершоковая область Цаган-Шибетинского землетрясения с магнитудой 6.2 в одноименном хребте. В этой очаговой зоне наиболее сильный сейсмический процесс за 2022 год. Землетрясение с магнитудой 5.3 зафиксировано в юго-западном окончании

Западного Саяна. Детальные исследования получают информацию об изменении структуры активных очаговых зон, что представляет интерес для оценки опасности территорий и крупных инженерных объектов.

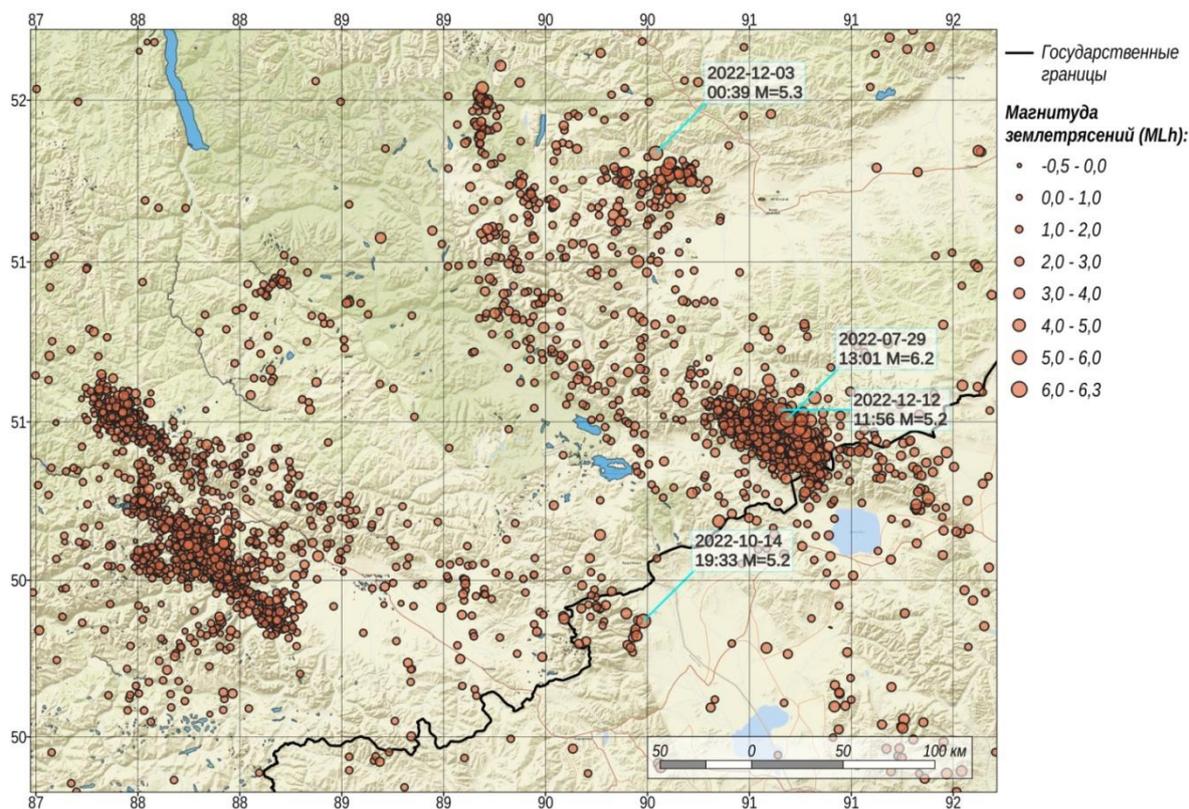


Рис.1 Карта эпицентров землетрясений для фрагмента Алтая и Западной Тувы за 2022 год

Детальные сейсмологические исследования наведенной сейсмичности районов сильного техногенного воздействия на земную кору наиболее сильно развиты в Кузбассе [8; 6], где выполнены исследования как сейсмичности около шахт, так и сейсмичности в районах открытых горных выработок.

Представленная на рис.2 карта плотности землетрясений Кузбасса за два года демонстрирует, что землетрясения происходят в районах горнодобывающих предприятий. Отметим, что активность недр изменяется во времени, то одни предприятия более сейсмически активны, то другие. Даже такая сеть станций как в Кузбассе не позволяет видеть зарождение опасных сейсмических активизаций, начиная с землетрясений малых энергий.

На рис.3 представлено развитие сейсмического процесса около одной шахты недалеко от г. Междуреченск (рис.2). Установка пяти станций в районе шахты принципиально изменило возможности регистрации землетрясений. На рис.3 видно резкое увеличение числа землетрясений с июля 2022 года. В данном случае конкретно фиксируется, что активизация недр в районе Шахты не контролировалась до момента установки локальной сети станций.

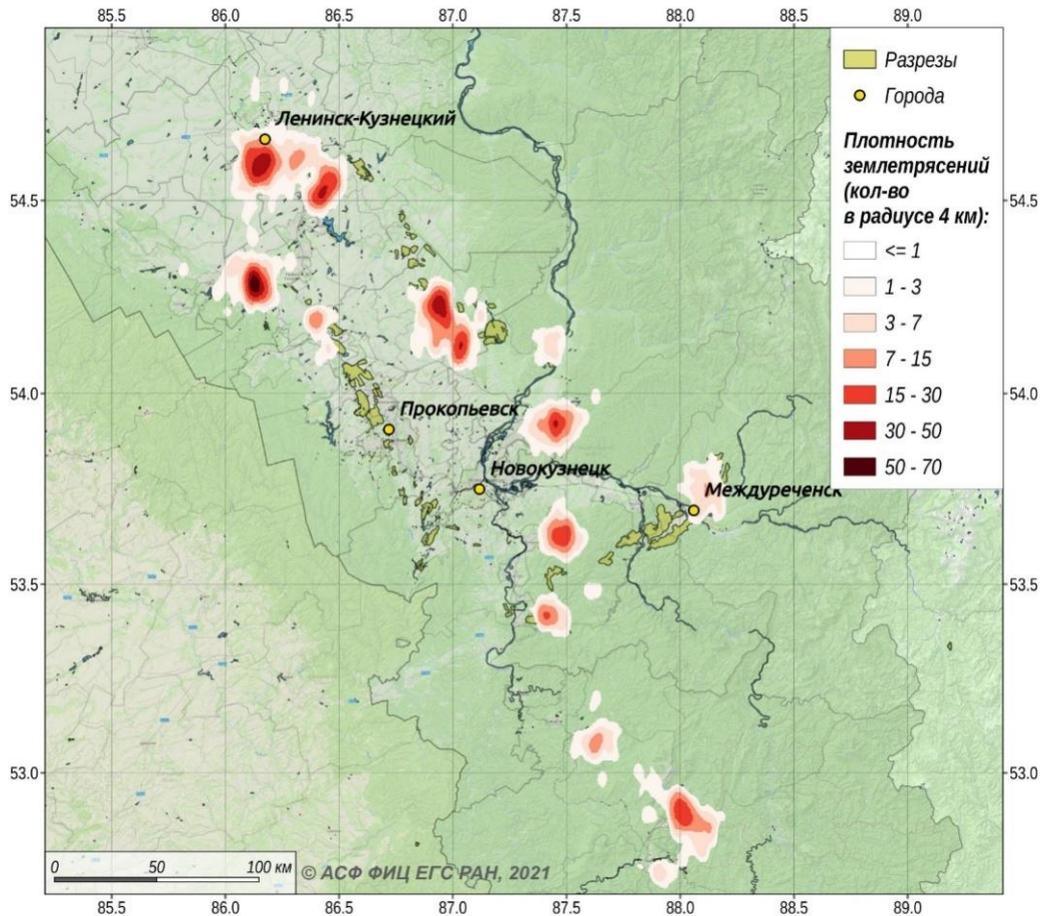


Рис.2 Карта плотности землетрясений Кузбасса в 2020-2021 гг.

Многие районы сильного техногенного воздействия на недра не имеют систем мониторинга, позволяющих заранее обнаруживать сейсмическую активизацию недр и принимать меры для обеспечения сейсмобезопасности.

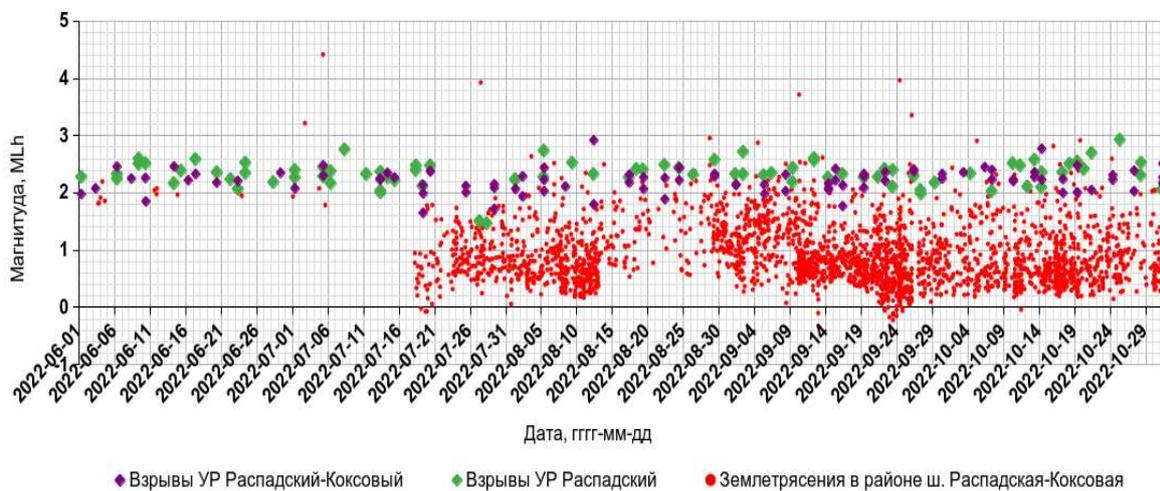


Рис.3 Изменение информативности изучения землетрясений около шахты «Распадская-Коксовая» в момент установки локальной сети станций с июня по октябрь 2022 года

К местам техногенного воздействия на недра, прежде всего, относятся районы ядерных объектов [5], водохранилища и плотины ГЭС и многие крупные производственные предприятия. Исследования выполняются в районе ряда ГЭС с использованием локальных сетей станций [3; 4; 16].

На рис.4 представлена карта землетрясений в Алтае-Саянской горной области за 2023 год. Регион находится под воздействием процессов происходящих после Чуйского землетрясения 2003 г., $M_s=7.3$ с западной стороны и Хубсугульского землетрясения 2021 г., $M_L=6.9$ восточной стороны. Сейсмически активизированы границы блочной структуры восточной части региона. В 2023 году зафиксировано 11 землетрясений в диапазоне $5.0 \leq M_L \leq 5.5$. Ближайшее к СШ ГЭС – на удалении от нее 220 км. За 2023 год на территории Алтае-Саянского региона зафиксировано 58 землетрясений с магнитудой в диапазоне $4.0 \leq M_L < 5.0$. На территории с координатами $51^\circ-54^\circ$ с.ш. и $88^\circ-94^\circ$ в.д. (около 250 км от СШГЭС) в 2023 году зарегистрировано 5082 сейсмических события в диапазоне энергий - $0.4 \leq M_L \leq 4.5$, из них 3149 землетрясения и 1933 взрыва.

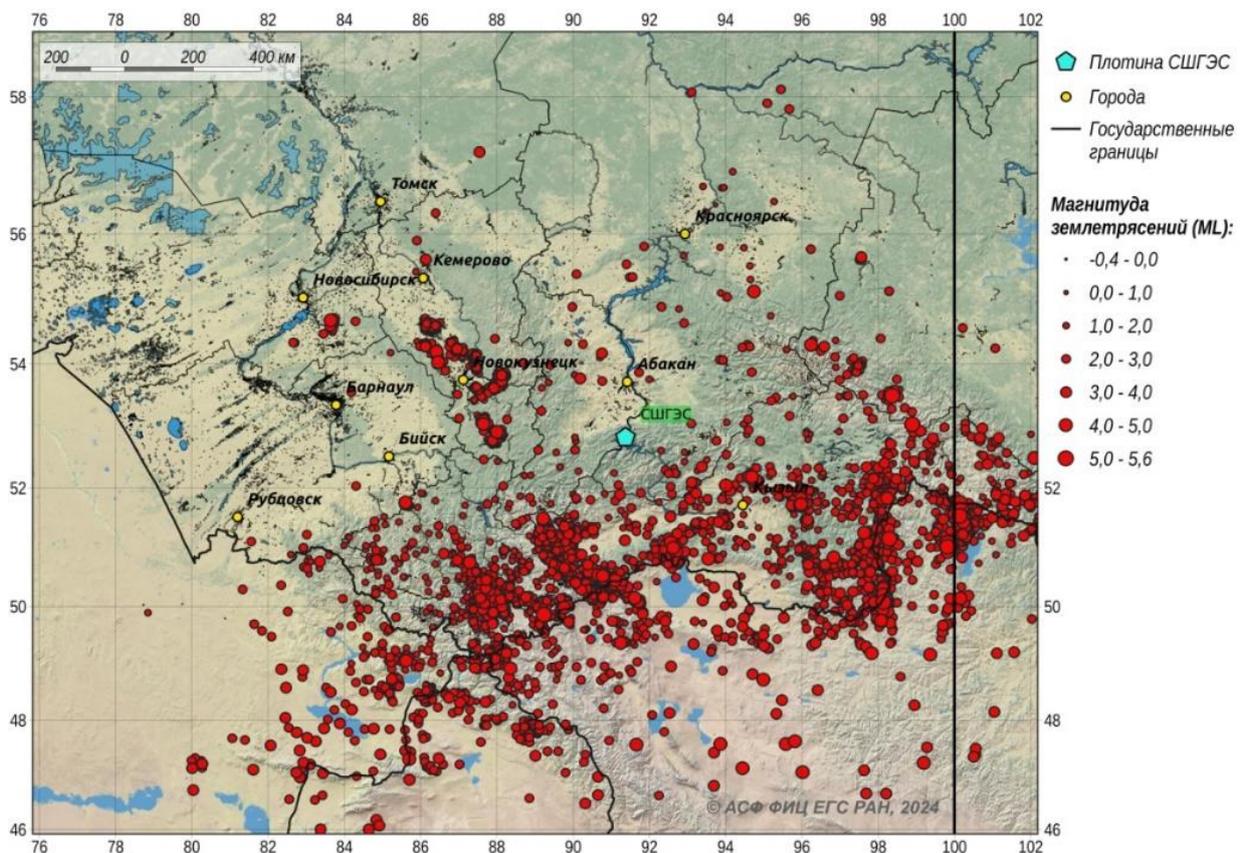


Рис.4 Карта эпицентры землетрясений, зарегистрированных в Алтае-Саянской области в 2023 году

Таблица 1. Интенсивность воздействия землетрясений на плотину Саяно-Шушенской ГЭС (по данным сейсмостанции Черемушки)

<i>Землетрясение</i>	<i>Дата, время</i>	<i>M_L</i>	<i>Расстояние, км</i>	<i>PGA, см/с²</i>	<i>τ, с</i>	<i>I, балл</i>
Первое Тувинское	27.12.2011, 15:21	6.7	322	2.89	26.2	4
Второе Тувинское	26.02.2012, 06:17	6.8	335	2.09	16.0	3.5
Бачатское	18.06.2013, 23:02	6.1	381	0.22	45.6	1.5
Хубсугульское	11.01.2021, 21:33	6.9	640	0.61	38.4	2.5
Землетрясение в Вост. Саяне	10.02.2016, 07:29	5.4	269	0.76	12.3	2.1
Землетрясение в Зап. Саяне	30.03.2022, 12:28	4.8	120	0.84	9.1	2

В табл.1 даны инструментальные оценки воздействия на плотину СШ ГЭС части крупных землетрясений.

Результаты

- Наблюдения с плотными сетями станций в районах природной сейсмичности обеспечивают изучение режима очаговых зон на уровне землетрясений малых энергий и обеспечивают прогноз дальнейшего развития сейсмичности в пространстве Алтае-Саянской горной области.

- Наблюдения с локальными сетями станций в местах сильного техногенного воздействия на земную кору: горно-добывающие предприятия, промышленные предприятия, районы ГЭС позволяют в случаях возникновения сейсмических активизаций, начиная с микроземлетрясений, контролировать процесс, оценивать уровень сейсмического воздействия на объект как от слабых местных землетрясений, так и от сильных далеких.

Список источников

1. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 375 с.

2. Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнев К.Г., Погребченко В.В. Очаг и афтершоки Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 года // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 85-96.

3. Дергачёв А.А., Еманов А.Ф., Толошинов А.В. Землетрясения и сейсмическая активность в районе Саяно-Шушенского гидроузла // Гидротехническое строительство. – 2003. – № 11. – С. 33-38.

4. Дергачёв А.А., Еманов А.Ф., Толошинов А.В. Сейсмические наблюдения на геодинамическом полигоне Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 7. – С. 42-52.

5. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Левичев Е.Б., Соловьёв В.М., Чуркин И.Н., Корабельщиков Д.Г., Синяткин С.В., Янкайтис В.В., Пиминов П.А., Бах А.А., Баранов Г.Н., Фатеев А.В., Карюкина К.Ю., Полянский П.О., Дураченко А.В., Серёжников Н.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Шевкунова Е.В., Антонов И.А., Ершов Р.А. Изучение сейсмических воздействий на площадку строительства ЦКП «СКИФ» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49, № 3. – С. 5-38.

6. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Ребецкий Ю.Л. Объёмная структура афтершоковой области Бачатского землетрясения (Кузбасс) и напряжённое состояние недр под разрезом // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 12. – С. 1742-1750.

7. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Еманов А.А., Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Фатеев А.В., Ярыгина М.А. Изучение землетрясений малых энергий на локальной сети Алтайского сейсмологического полигона // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: Труды Всероссийского совещания. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. – С. 324-326.

8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – т. 12., № 1. – С. 37-43.

9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Янкайтис В.В., Филина А.Г. Урег-Нурское землетрясение 15.05.1970 г., $M_S=7.0$ (Монгольский Алтай), афтершоковый процесс и особенности современной сейсмичности эпицентральной области // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 10. – С. 1417-1429.

10. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г. Тувинские землетрясения 27.12.2011 ($M_L=6.7$) и 26.02.2012 ($M_L=6.8$), геомеханическая модель развития взаимосвязанной активизации // Геофизические методы исследования земной коры: Материалы Всероссийской конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 138-141.

11. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В. Саянское землетрясение 10 февраля 2011 г. с $KP=13.9$, $M_L=6.4$, $I_0=7$ и особенности сейсмического режима Западного Саяна // Землетрясения Северной Евразии, 2011 Обнинск, 2017. – С. 323-331.

12. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьёв В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Серёжников Н.А., Дураченко А.В., Артёмова А. И. Сейсмологические исследования на территории Алтае-

Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 20-51.

13. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артёмова А.И., Подкорытова В.Г. Хубсугульское землетрясение, 12.01.2021г. $M_w=6.7$, $M_L=6.9$ и афтершоки начального периода // Физика Земли. – 2022а. – № 1. – С. 67-82.

14. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87-101.

15. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Арапов В.В., Фролов М.В. Хубсугульское землетрясение 12.01.2021г., $M_L = 6.9$ в структуре сейсмичности Тувино-Монгольского блока // Физика Земли. – 2023. – № 5. – С. 79-95.

16. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Виноградов Ю.А., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Сержников Н.А., Ешкунова И.Ф., Захаров Б.Д. Сейсмические воздействия на районы гидроэнергетики в Западной Сибири // В сборнике: Гидроэлектростанции в XXI веке. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов, студентов и школьников. Саяно-Шушенский филиал СФУ, 2023. – С. 31-43.

17. Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. Сейсмичность и некоторые характеристики напряжённого состояния земной коры Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 10. – С. 20-30.

18. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 542 с.