

По результатам всех выполненных работ построены карты (рис. 5.) скоростей в интервалах: ВС-Ек и Ек-АБ. Низкоскоростная зона на обеих картах вытянута в северо-западном направлении, и северная ее граница совпадает с предполагаемым тектоническим смещением.

В заключение нужно сказать, что участок сложный, насыщен различными геологическими неоднородностями. Ввиду уже проведенных очистных работ по пластам АБ и Кр2 данную территорию можно рекомендовать для мониторинговых работ с целью наблюдения возможных негативных изменений в массиве.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ, регистрационный номер проекта № 122012000401-7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н.М. Джиноридзе. – СПб; Соликамск, 2000. – 400 с.
2. Байбакова Т.В. Интерпретация шахтных сейсморазведочных данных на участке ускоренных оседаний // Горное эхо. – 2019. – № 3 (76). – С. 62-65. – DOI: 10.7242/echo.2019.3.17.
3. Санфиоров И., Бабкин А., Ярославцев А., Герасимова И., Фатькин К., Глебов С. Картирование локальных нарушений водозащитной толщи комплексом многоуровневых сейсморазведочных исследований различной размерности // Инженерная и рудная геофизика – 2019: 15-я юбилейная конф. и выставка, 22-26 апр. 2019. – Геленджик, 2019. – С. 485-495. – DOI: 10.3997/2214-4609.201901743.
4. Санфиоров И.А., Погребинский М.С. Интерпретация спектральных характеристик отраженных волн в зонах выклинивания // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: межвуз. сб. науч. тр. / ПГУ. – Пермь, 1986. – С. 86-92.

УДК: 550.34.016

DOI:10.7242/echo.2023.3.9

АКТИВНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ЗОНА «ТАБОРЫ»

Ю.В. Баранов¹, И.В. Голубева²
¹ Горный институт УрО РАН, г. Пермь
² ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Аннотация: Региональная сейсмическая активность распределяется не равномерно, концентрируясь в местах повышенной техногенной нагрузки, в районах добычи полезных ископаемых и расположения водохранилищ. Природная сейсмичность связана с границами крупных тектонических структур, линиями смены знака аномальных геофизических полей, она коррелирует с современными вертикальными движениями земной коры, глубиной залегания поверхности Мохоровичича и другими особенностями геологического строения региона. В Пермском крае местом концентрации сейсмических событий стала северо-восточная часть Добрянского района, где, в районе Косьвинско-Чусовской седловины происходит сопряжение структур Урала и Камско-Бельского авлакогена.

В работе оценено развитие региональной сейсмической активности, глубины и энергия регистрируемых сейсмических событий, сопоставлены расположения эпицентров землетрясений со схемой тектонического районирования Пермского края.

Ключевые слова: сейсмическая активность, тектоническая активность, Добрянский район.

С начала 90-х годов по настоящее время лаборатория природной и техногенной сейсмичности ГИ УрО РАН ведет наблюдение за сейсмической активностью Пермского края и Западного Урала. В настоящее время наблюдения проводятся сетью сейсмиче-

ских станций, локальных сейсмических групп на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей и с помощью временных пунктов регистрации сейсмической активности при выполнении специальных работ.

Природный сейсмический потенциал Пермского края имеет ряд особенностей. Кроме отдельных сейсмических событий, связанных с крупными тектоническими нарушениями в восточной части края, в Добрянском районе, выделяется крупная зона сейсмической активности. По месту расположения для было выбрано название «Активная сейсмическая зона «Таборы» [Баранов, 2021].

Вся базовая обработка волновых форм сейсмических событий, зарегистрированных в этой зоне, выполняется с помощью программного комплекса WSG [Автоматизированное..., 2021] с учетом региональных особенностей распространения сейсмических волн [Маловичко, 2005]. Сейсмические события зоны регистрируются с 2010 года; и количество событий, и выделенная сейсмическая энергия имеют тенденцию к увеличению, такой тренд представлен на графике, рис. 1. Так, за первые 6 месяцев 2023 года выделенная энергия превышает всю энергию 2022 года.

14 июля 2023 года в 19:07:02 UTC в северной части сейсмической зоны «Таборы» зарегистрировано крупнейшее сейсмическое событие с магнитудой $M_L = 3$. Координаты эпицентра составили 58.780° северной широты и 57.057° восточной долготы. Глубина гипоцентра составила 4 км. Землетрясение не имело макросейсмических проявлений, но подтвердило наблюдаемый устойчивый многолетний рост сейсмической активности. Таким образом, изучение сейсмически активной зоны «Таборы» является одной из важнейших научных задач лаборатории.

Сейсмическая зона «Таборы» совершенно уникальна. Регистрационные возможности сейсмических станций позволяют выделить события с магнитудой 2,5-3,0 практически по всей территории Пермского края и прилегающих областей и события с магнитудой менее 2 в районах с максимальной техногенной нагрузкой. В этих районах находится большое количество разрабатываемых и законсервированных месторождений углеводородов, карьеры и водохранилище, но подобного проявления природной или техногенной сейсмической активности в других районах Пермского края и на прилегающих территориях не зарегистрировано.

Примеры техногенной сейсмичности на месторождениях углеводородов «Гронингем» и «Ромашкинское» показывают, что эпицентры сейсмических событий находятся в основном внутри контуров месторождения, но в зоне «Таборы» ни один из эпицентров сейсмических событий не попадает в контур месторождения, что свидетельствует преимущественно о природном происхождении регистрируемой сейсмической активности.

Слабые сейсмические события, происходящие в данной активной зоне, обычно регистрируются и лоцируются с помощью 3-4 ближайших сейсмических станций, но события с магнитудой 2,5 и более могут быть зарегистрированы 5-7 сейсмическими станциями Уральского региона, что значительно повышает точность определения координат эпицентра. Для уточнения локации слабых событий было проведено перелоцирование событий с помощью специального пакета программ [Waldhauser, 2006]. Для этого выбирались мастер-события, с четкими фазами вступлений, и проводилось корреляция времен вступлений сейсмических волн с другими событиями. Результаты перелокации не привели к принципиальному изменению расположений эпицентров и попаданию эпицентров в контуры месторождений. При этом землетрясения выстраивались вдоль линии смены знака магнитного поля [Баранов, 2021].

Для повышения точности локации и регистрации слабых сейсмических событий в районе наблюдений с 2019 года устанавливались дополнительные временные сейсмические станции, и их работа позволила уточнить глубину расположения гипоцентров

регистрируемых землетрясений. К сожалению, достоверное определение глубины гипоцентров возможно далеко не для всех сейсмических событий. Первоначально глубина гипоцентров оценивалась обработчиками на основе опыта определения расположения гипоцентров землетрясений Уральского региона. Для большинства сейсмических событий такая глубина составила 10 км. Использование временных сейсмических станций позволило уточнить такие оценки (рис. 2). Большинство гипоцентров землетрясений, зарегистрированных после 2019 года имеют глубины до 6 км.

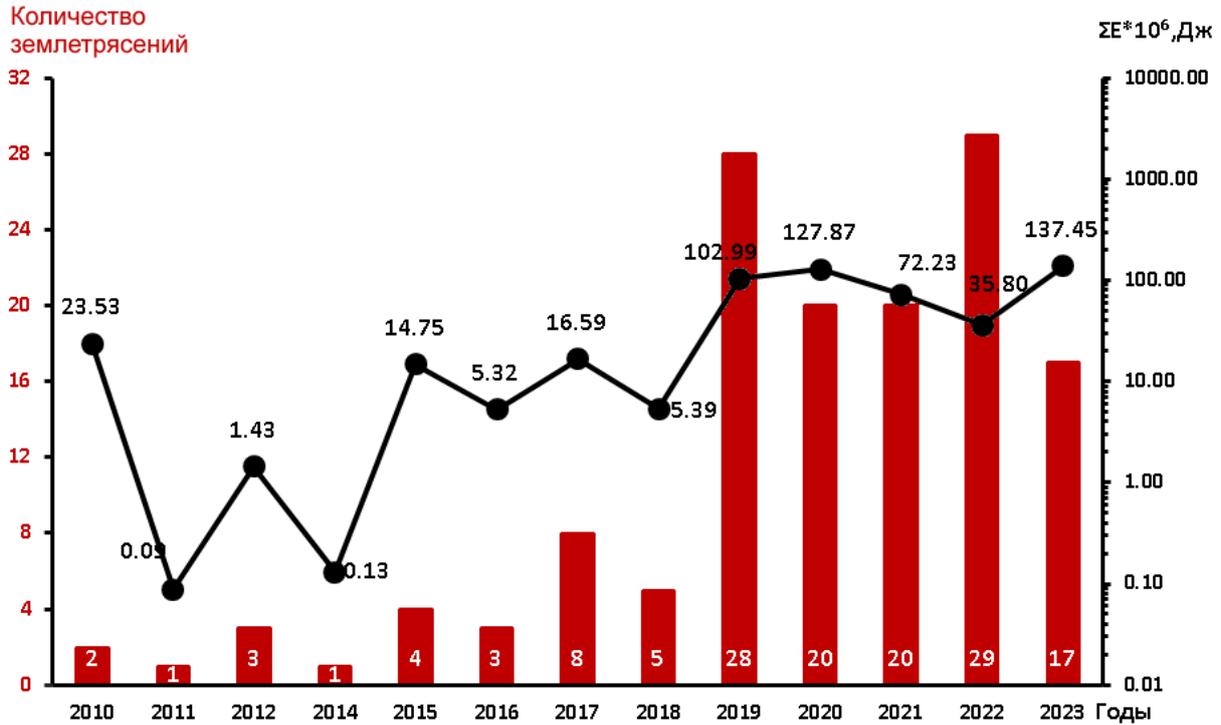


Рис. 1. График выделения сейсмической энергии и количество землетрясений в сейсмической зоне «Таборы» с 2010 по 2023 годы

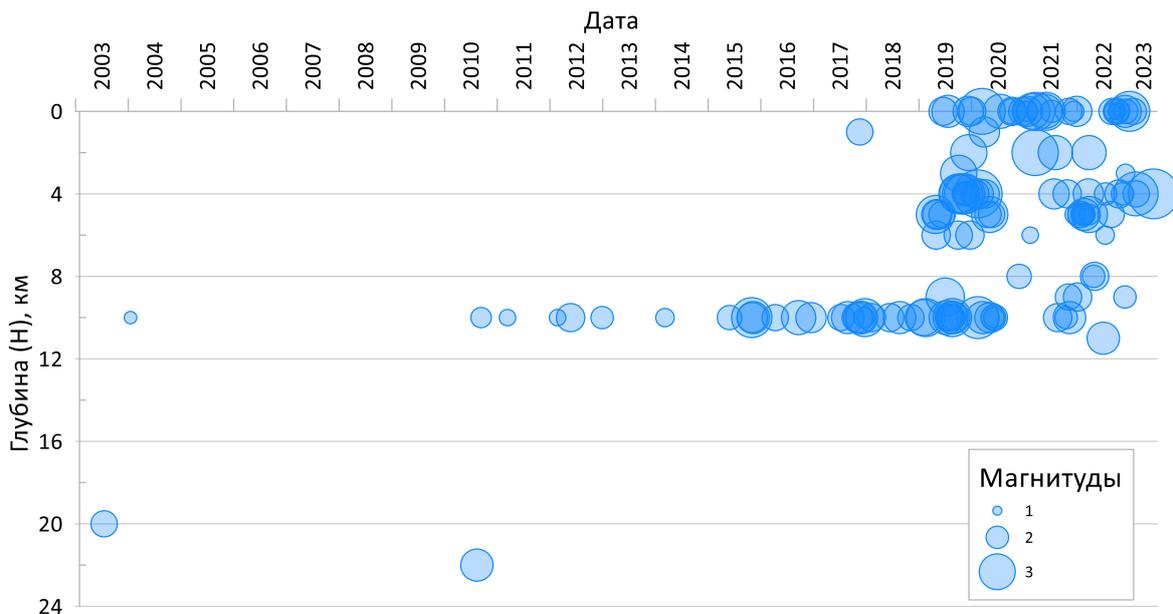


Рис. 2. Глубины и магнитуды землетрясений, зарегистрированных в сейсмической зоне «Таборы» с 2003 по 2023 годы

Анализ отношения глубины гипоцентра и магнитуды не выявил их прямой связи. Гипоцентры землетрясений с магнитудой 2 и более в основном расположены на глубинах до 4 км.

Уточнение глубин гипоцентров сейсмических событий позволило сопоставить эпицентры землетрясений со схемой тектонического районирования Пермского края. Отмечается явная связь расположения эпицентров с границами Косьвинско-Чусовской седловины, что может свидетельствовать об активизации современных тектонических процессов в этом районе (рис. 3).

В настоящее время продолжается исследование сейсмического потенциала региона. Готовятся к установке временные сейсмические станции, оснащенные сейсмическими датчиками Guralp Certimus. Развитие временной сети сейсмических наблюдений позволит перейти от регистрации параметров событий к расчету механизма очага землетрясений с определением направлений осей главных напряжений и плоскостей разрывов.

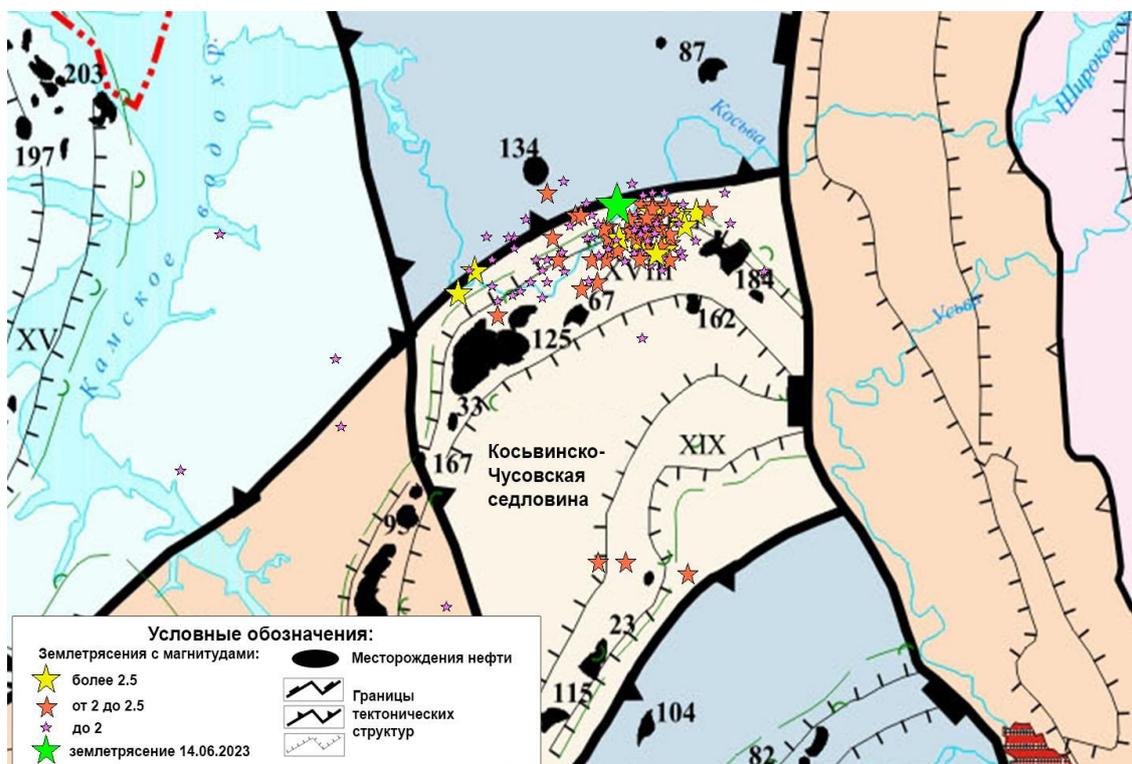


Рис. 3. Расположения эпицентров сейсмических событий на схеме тектонического районирования территории Пермского края

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов Ю.В., Голубева И.В. Сейсмичность Добрянского района Пермского края по данным Уральской сети сейсмических станций в 2020 году // Горное эхо. – 2021. – № 1 (82). – С. 64-68. – DOI: 10.7242/echo.2021.1.11.
2. Автоматизированное рабочее место (АРМ) сейсмолога // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба РАН: сайт. – URL: http://www.ceme.gsras.ru/new/soft/wsg_arm.htm (Дата обращения: 22.03.2021).
3. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Верхованцев Ф.Г., Голубева И.В., Верхованцев А.В. Пермский край 1999-2005 гг. // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год / ГС РАН. – Обнинск, 2011. – С. 269-289.
4. Waldhauser F. hypoDD – A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations / U.S. Geol. Survey. – 2006. – URL: https://www.ideo.columbia.edu/~felixw/papers/Waldhauser_OFR2001.pdf. (Дата обращения: 15.01.2021).