

ОТЗЫВ

официального оппонента, докт. техн. наук Батугина Андриана Сергеевича на диссертацию Еманова Алексея Александровича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ И НАВЕДЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ ПЛОТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика»

Актуальность работы, цель и задачи исследования

В настоящее время у ученых нет консенсуса по многим вопросам развития сейсмического процесса в верхней части земной коры, особенно в областях с высокой техногенной нагрузкой на недра. Из-за отсутствия надежных экспериментальных данных многие закономерности остаются нераскрытыми и «наука о землетрясениях страдает от недостатка наблюдений». Строение очаговых зон, развитие афтершокового процесса, вопросы генезиса и механизма техногенных землетрясений остаются еще недостаточно изученными. Поэтому изучение и раскрытие закономерностей в развитии сейсмичности имеет большое практическое и научное значение. Большое значение имеет точное определение глубин гипоцентров и геометрических параметров очагов для создания геодинамических моделей и сейсмического районирования. Развитие аппаратной базы открывает возможность создавать плотные и мобильные сейсмические сети, что позволяет более детально исследовать геодинамические процессы в земной коре, но требует разработки новых подходов к обработке информации. В этом отношении диссертационная работа А.А. Еманова безусловно выполнена на актуальную тему. Целью работы автор обозначил исследование и раскрытие закономерностей развития природной и наведенной сейсмичности в Алтае-Саянской горной области для уточнения оценки сейсмической опасности.

Оценка содержания работы и доказательства научных положений.

Диссертация Еманова А.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 336 наименований. Полный объем диссертации – 322 страницы, включая 110 рисунков и 6 таблиц. Во введении сформулированы цель и задачи исследования, научные положения. Первая глава посвящена аналитическому обзору по теме диссертации, каждая из следующих глав посвящена раскрытию и доказательствам выдвинутых научных положений. Цель и поставленные задачи соответствуют тематике исследований, отраженной в названии диссертации. Заключение диссертации, основные выводы, по смыслу соответствуют поставленным задачам и тематике исследований.

Первая глава. В первой главе обобщается опыт исследований сейсмичности Алтае-Саянского региона. Показано, что на момент начала диссертационного исследования для обоснования геодинамических моделей района имелся недостаток экспериментальных данных, особенно по механизмам очагов и глубинам гипоцентров. Также характерным являлось неравномерное распределение данных по разным структурам морфологического типа. Имелись недостатки в методах обработки сейсмической информации, которые могли бы быть устранены на современном этапе развития науки и техники. О землетрясениях в районах добычи полезных ископаемых и других техногенных событиях были получены только первые сведения. По результатам аналитического обзора сформулированы основные задачи исследований сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области.

Вторая глава. В главе описаны работы по развитию экспериментальной базы сейсмологических исследований в Алтае-Саянской горной области, охватывающих сеть стационарных станций, систему сбора информации, центр обработки данных сейсмологии и методы контроля за качеством информации, методы обработки данных, что соответствует по содержанию первому научному положению.

Автором обоснована четырёхуровневая система сейсмологических наблюдений (от региональных до локальных) и идея проведения наблюдений с помощью временных плотных сетей сейсмологических станций. Соискатель разрабатывал и принимал активное участие в формировании центра сбора и обработки сейсмологической информации Алтае-Саянского региона в г. Новосибирск. Такой центр обеспечивает выполнение исследований с использованием современных методов и программ для сейсмологии и геофизики, дополненных работой автора и объединенных в единую надежную систему. Показано, что реляционные базы данных заполняются в реальном времени записями стационарных станций, временных станций и результатами обработки. Имеющееся математическое обеспечение позволяет выполнять контроль за работой сейсмических станций, качеством регистрации и осуществлять мониторинг шумов во времени. Все это позволяет при наличии временных станций в районах сейсмических активизаций обеспечить исследования на новом уровне представительности и точности изучения землетрясений в локальных областях. Автором разработана и представлена в главе система обработки данных для многоуровневой системы наблюдения, сочетающая высокую автоматизацию решения задач с высокой точностью и детальностью исследований на основе сочетания методов обработки с моделями среды и с использованием геологической и геофизической информации при интерпретации результатов.

Считаю, что по содержанию и представленным материалам глава соответствует заявляемому первому научному положению и считаю его доказанным.

Третья глава. Глава посвящена доказательству второго и третьего научных положений. Автор описывает полученные данные по сейсмическим активизациям Алтае-Саянской горной области, характеристики сильных землетрясений и афтершоковых процессов. Основу экспериментальных исследований составляют эксперименты с временными сетями станций. Основное внимание уделено сейсмическому режиму до и после землетрясения, объёмной структуре афтершоков и её изменению во времени, а также связи сейсмических активизаций с тектоникой рассматриваемых районов Горного Алтая, Западного Саяна и Тувино-Монгольского блока.

На примере Урэг-Нурского (1970) землетрясения показана особенность сейсмотектонического процесса, согласно которой афтершоковый сейсмический процесс охватывает сложную объёмную блочную структуру с приуроченностью событий не к главным блокоразделяющим разломам, а к внутриблочным разрывам более низкого порядка.

На примере Чуйского (2003) землетрясения показано, что разрывы на земной поверхности, возникшие после основного землетрясения, и структура зон повышенной афтершоковой активности не имеют полного соответствия. За длительный период картина афтершоковой активности становится более неоднородной с ярко выраженными участками повышенной и пониженной активности. В разрезе (рис. 3.21) видно дискретное строение афтершоковых областей в пространстве. Поперечная структура афтершоковой области состоит из сейсмически активизированных разломов до глубин 20 и более км и горизонтальных сейсмически активизированных слоёв. Эти экспериментально

установленные закономерности интересны с точки зрения механики деформирования земной коры и имеют большое познавательное и научное значение. Объяснение автором полученных экспериментальных закономерностей (стр.158) основано на представлениях об изменении физического состояния (упрочнения) пород под сильным воздействием сейсмических волн и последующим снижением прочности, что коррелирует с положениями теории горных ударов о природе ударов горно-тектонического типа и представлениями о существовании в земной коре тектонически напряженных зон как ее силовом каркасе и приложимо, на взгляд оппонента, к рассматриваемым автором сейсмическим процессам в земной коре.

На примере изучения сейсмичности в районе г. Камень-на-Оби автором убедительно показано, что сейсмический процесс приурочен в основном к верхней части земной коры. При Тувинских землетрясениях 2011-2012 гг активизировался сегмент земной коры до глубин 30 км.

Таким образом, автором экспериментально установлено, что имеются существенные различия в сейсмотектонических процессах между Горным Алтаем, Западным Саяном и Тувино-Монгольским блоком Алтае-Саянской области, проявляющиеся в характерном для каждого субрегиона влиянии сильных землетрясений на последующую эволюцию сейсмичности и формирование новых очагов сейсмогенной активизации. Также установлено, что афтершоковые процессы крупных землетрясений в условиях Алтае-Саянской горной области переходят в продолжительные (годы и десятилетия) сейсмические активизации очаговых областей и характеризуются сложной пространственно-временной организацией (многоэтапность, пульсации) с формированием объемных, сейсмически активных разломных структур.

Считаю, что второе и третье научные положения весьма убедительно доказаны.

Четвертая глава. Глава посвящена доказательству четвертого научного положения. Здесь автор рассматривает и доказывает такие закономерности проявления наведенной сейсмичности, как независимость изменения количества промышленных взрывов и землетрясений в Кемеровской области, кратковременность сейсмических активизаций на участках вблизи одних шахт и разрезов и ее длительное развитие как нестационарного процесса в других местах, синхронность нарастания сейсмичности на рудниках Горной Шории. При изучении наведенной сейсмичности в районах работы угольных шахт установлена закономерность ее возникновения за пределами горных отводов и на глубинах, превышающих глубину ведения горных работ. Важным наблюдением является незатухающий характер сейсмического процесса при остановке горных работ на шахте Распадская (стр. 233). Важным наблюдением является также то, что происходит общая активизация шахтных полей без концентрации сейсмичности вблизи угольных забоев и ее смещения вслед за ними (стр. 235). Такие факты интересны с точки зрения концепции о предельно напряженном состоянии верхней части земной коры, развиваемой в трудах отечественных и зарубежных ученых. Анализ фокальных механизмов очагов сейсмических событий позволяет автору сделать вывод о различии в напряженном состоянии разных участков угольного месторождения, что соответствует существующим представлениям о дискретном характере распределения напряжений в массиве пород.

При исследованиях сейсмичности шахтных полей в районе г. Полысаево автором отмечено, что механизмы техногенных сейсмических событий, происходящие глубже под угольными лавами на 500 м, соответствуют региональному полю напряжений, т.е. определяются этим полем напряжений, а не только теми напряжениями, которые возникают

в результате ведения горных работ. Такой вывод находится в соответствии с наблюдениями других авторов на рудниках и шахтах (Батугина И.М., Петухов И.М., 1988; Батугин, 1994, 2017; Chen et al, 2023) и подтверждает, по-видимому, существующую общую закономерность во взаимодействии глобальных геодинамических процессов и локальных геомеханических.

На примере района г. Междуреченск автор убедительно показывает, что наличие временной сети наблюдений позволило как повысить точность локализации сейсмических событий, так и существенно сдвинуть нижний предел энергетического диапазона фиксируемых землетрясений.

Интересные и важные наблюдения проведены в районе Бачатского угольного разреза. Здесь при участии автора получены данные об объемной структуре зоны сейсмической активизации глубиной до нескольких километров, а также доказана закономерность постепенного увеличения глубины проявления сейсмичности во времени. Также важным результатом является доказательство иерархии полей напряжений на примере этого района. Автором установлен факт отличия модели напряжённого состояния района Бачатского разреза, восстановленного по механизмам афтершоков, от механизма главного толчка Бачатского землетрясения.

В разделе 4.3.2 приводятся доказательства техногенной природы сейсмичности в Горловском угольном бассейне. С увеличением добычи угля здесь происходит как увеличение количества землетрясений в единицу времени, так и их магнитуды, что позволяет автору дать прогноз увеличения максимально ожидаемой магнитуды землетрясения в этом районе и оценку сейсмической опасности.

Интересные данные получены автором при проведении эксперимента в районе совместного техногенного воздействия на недра открытых горных и подземных работ. Показано, что в районе шахты «Алардинская» и разреза «Калтанский» глубины очагов имеют двухмодальное распределение с максимумами в интервале 1÷1,5 км и в интервале 2÷3 км. Развитие близких к друг другу активизаций характеризуются каждая своими особенностями и характеристиками при отсутствии явной связи между сейсмичностью. В районе же шахты «Ерунаковская» и разреза «Талдинский» сформировалась единая область сейсмической активизации, вызвавшая сильное сейсмическое событие и аварию в шахте.

Таким образом, экспериментально доказано и теоретически обосновано четвертое научное положение, согласно которому наведенная сейсмичность в Кузнецкой котловине (угольном Кузбассе), развивается как нестационарный процесс с изменением сейсмической активности во времени и пространстве без синхронизации между отдельными активизациями, а в Горной Шории для железорудных шахт на расстояниях в десятки километров наблюдается эффект частичной синхронизации сейсмической активности во времени. Считаю, что четвертое научное положение доказано и получен большой объем экспериментальных данных по проявлению техногенной сейсмичности, представляющий большой интерес для дальнейших исследований.

Оценка научной новизны и практической значимости. К научным достижениям автора можно отнести установленные закономерности развития сейсмического процесса в различных регионах Алтае-Саянской области и закономерности развития техногенной сейсмичности в районах горных разработок, что вносит существенный вклад не только в развитие сейсмологии, но и в развитие геотектоники, геодинамики, тектонофизики. Созданная система сбора и обработки сейсмологической информации обеспечивает

оперативность и достоверность в предоставлении информации структурам власти, сотрудникам МЧС, предприятиям для решения вопросов безопасности. Созданные базы данных являются основой работы по уточнению исходной сейсмичности и построения карт детального сейсмического районирования. Данные о физике очагов крупных землетрясений Алтае-Саянской области важны для разработки методов прогноза землетрясений. Пространственно-временные связи в сейсмичности и данные об эволюции сейсмичности составляют основу планирования экспериментов по уточнению мест зарождения сейсмических активизаций. Результаты изучения характеристик техногенной сейсмичности в местах добычи твердых полезных ископаемых дают возможность оценить уровень их реальной опасности для производственной и социальной инфраструктуры.

Оценка достоверности результатов исследований. Исследования проведены с использованием современной аппаратуры, использованы современные методы и программы обработки геофизических данных. Получен огромный статистически представительный материал по проявлению сейсмичности в разных частях Алтае-Саянского региона и в местах ведения горных работ в Кемеровской области и в Горловском районе. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на многочисленных международных и российских конференциях различного уровня в период с 2008 по 2024 г, достаточно полно опубликованы в 78 статьях из списка ВАК, из них в 58 статьях по теме диссертации по специальности 1.6.9. «Геофизика». Основные результаты работы опубликованы. Автореферат отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации

По диссертации имеются следующие замечания:

- 1) В названии диссертации речь идет о закономерностях развития природной и наведенной сейсмичности. Действительно, установлены новые интересные и важные закономерности проявления сейсмичности, однако формулировки этих закономерностей рассеяны по тексту диссертации, в заключении к диссертации не сконцентрированы, что снижает целостное восприятие такой интересной работы.
- 2) Автор ставит как одну из научных задач «определить виды наведенной сейсмичности», стр. 7. Решение этой задачи отражено в главе 4, но в заключительном подразделе 4.6 автор не формулирует эти виды и признаки, по которым они определены.
- 3) Формулировки и количество поставленных задач во введении и подразделе 1.3. не совпадают.
- 4) По состоянию вопроса. Исследованием геодинамики и техногенной сейсмичности в Кемеровской области занимались ученые, вклад которых не нашел отражения в диссертации. Например, первые схемы блочного строения Кемеровской области и шахтных полей, так же как и представления о связи техногенной сейсмичности с глобальными геодинамическими процессами были предложены в работах И.М. Батугиной и И.М. Петухова (1985, 1988), наблюдения о продолжающемся развитии техногенной сейсмичности после снижения добычи в 1990-х годах опубликованы в работе Т.И. Лазаревич и А.Н. Полякова (2002), Д.В. Яковлев с соавторами так же предполагал техногенную сейсмическую активизацию разломов Кузбасса (2014).
- 5) По терминологии. Автор использует термины «природная» и «наведенная» сейсмичность (в названии диссертации и в тексте), «техногенная» (раздел 4.2.1. заключение и др.), «природно-техногенная», но не раскрывает различие между

- ними, хотя этот вопрос и затронут в диссертации. А ведь такой вопрос весьма дискуссионный и имеет свои экономические, юридические, научные аспекты.
- 6) Одним из достоинств главы 4 является постановка и развитие дискуссионных вопросов о влиянии взрывных работ на развитие техногенной сейсмичности. По наблюдениям автора в районе г. Междуреченска, расстояние между эпицентрами землетрясений и промышленных взрывов составляет несколько километров, а временные промежутки между этими событиями – от нескольких часов до нескольких суток. Автор делает вывод об отсутствии воздействия производимых промышленных взрывов на режим сейсмической активизации. Действительно, сейсмическое воздействие взрывов при таких условиях не может быть триггером землетрясений, но автор не рассматривает эту ситуацию с точки зрения распространения деформационных волн и развития зоны предельно напряженного состояния в массиве, скорость которых может составлять от десятков метров до километров в сутки.
- 7) По оформлению. В целом диссертация хорошо оформлена, написана понятным техническим языком, но имеются некоторые замечания. Так, часть рисунков не пропечатана, например, рис. 4.17, 4.18, 4.37, 4.40. На рис. 3.12, 4.24 надписи нечеткие.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что диссертационная работа Еманова Алексея Александровича «Закономерности развития природной и наведенной сейсмичности в Алтае-Саянском регионе по данным плотных сейсмических сетей», выполнена на актуальную тему, обладает новизной, является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика», а ее автор заслуживает присуждения искомой научной степени.

Доктор технических наук,
профессор кафедры «Экология и безопасность
горного производства» Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Университет науки и технологий МИСИС»,
119049, г. Москва, Ленинский пр., д. 4.
batugin.as@misis.ru,

 А.С. Батугин

Я, Батугин Андриан Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Батугина Андриана Сергеевича заверяю:



ЗАВЕРЯЮ

И.М. Исаев

11.09.2026г.