

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС»

Бямбасурэн Зундуйжамц

Оценка техногенной сейсмичности в горнопромышленных районах  
Монголии для обеспечения геоэкологической безопасности

Специальность 1.6.21 «Геоэкология»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н. Батугин Андриан Сергеевич

Москва, 2026

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность**

В настоящее время Монголия испытывает бум развития горно-промышленной и строительной отраслей. Разведаны и разрабатываются крупные месторождения полезных ископаемых, стремительно растет добыча угля на месторождении Таван-Толгой, добыча нефти на месторождении Матад. На территории Монголии регулярно происходят сильные землетрясения, однако геодинамическая и экологическая опасность крупномасштабного воздействия на недра на территории страны не оценена. В то же время в горнодобывающих странах геодинамическая опасность признается одним из видов экологической опасности при освоении недр в связи с развитием сейсмичности и ее влиянием на окружающую среду и социум. Имеются разработки в области установления генезиса сейсмичности (техногенная/естественная) и подходы к ее оценке и регулированию на основе трехуровневых шкал опасности (TL протоколов), но их применимость для условий Монголии не изучена. Для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития Монголии важно учесть имеющийся опыт других стран и не допускать возникновения критических ситуаций с развитием техногенной сейсмичности. В связи с этим актуальной научно-практической задачей является исследование природы сейсмичности (техногенная/естественная) районов освоения недр Монголии и разработка подхода к оценке ее потенциального воздействия на окружающую среду.

**Цель работы** – исследовать проявления сейсмичности в районах освоения недр на территории Монголии для определения ее генезиса и обоснования подхода к оценке ее воздействия на окружающую среду.

**Идея работы:** состоит в адаптации методов установления генезиса сейсмичности применительно к горно-промышленным районам и разработки подхода к оценке воздействия сейсмичности на окружающую среду на основе концепции предельно напряженного состояния верхней части земной коры.

### **Задачи исследования.**

1. Выполнить аналитический обзор по вопросам влияния индуцированных геодинамических процессов на окружающую среду и безопасность освоения недр.

2. Исследовать природу сейсмических явлений (техногенная/естественная) в районах освоения недр на территории Монголии.

3. Обосновать подход к оценке максимально возможной и максимально ожидаемой магнитуды техногенного землетрясения для территории Монголии.

4. Оценить вклад процесса реактивации тектонических нарушений в загрязнение атмосферы горнопромышленных районов.

5. Обосновать подход и рекомендации к оценке влияния техногенной сейсмичности на окружающую среду в условиях Монголии.

### **Методы исследований.**

В работе использованы методы оценки природы (техногенная/естественная) сейсмических активизаций в районах освоения недр, метод оценки максимально возможной и максимально ожидаемой магнитуды техногенного землетрясения, метод оценки и регулирования воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду на основе концепции предельно напряженного состояния верхней части земной коры с использованием трехуровневой цветовой шкалы (зеленый-желтый-красный), метод геодинамического районирования, метод компьютерного моделирования, методы анализа и обобщения данных, теоретические разработки в области геодинамики и геомеханики.

### **Основные научные положения, выносимые на защиту.**

1. Возникновение сейсмических явлений в районах месторождений Таван-Толгой и Мадад связано с процессом их разработки и является новым для Монголии видом геодинамической опасности (техногенная сейсмичность), оказывающим влияние на окружающую среду.

2. Глубина гипоцентров техногенных сейсмических явлений в районах освоения недр характеризует размер очага максимально ожидаемого техногенного землетрясения, его магнитуду и потенциальное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение атмосферы шахтными газами при реактивации тектонических нарушений.

3. Увеличение глубин гипоцентров техногенных сейсмических явлений в процессе разработки месторождения является признаком

усиления геодинамической опасности района его расположения, используемым для оценки потенциального воздействия сейсмичности на окружающую среду.

**Научная новизна** выполненных исследований заключается в следующем:

1. Впервые доказано существование техногенной сейсмичности на территории Монголии на примерах районов угольного разреза Таван-Толгой и месторождения нефти Матад.

2. Обоснован подход к оценке максимально возможной магнитуды техногенного землетрясения по потенциальному размеру его очага, измеряемому от земной поверхности до глубин расположения гипоцентров сейсмических событий на участке освоения недр.

3. На основании результатов компьютерного моделирования установлена закономерность миграции шахтных газов к земной поверхности за счет поршневого эффекта, возникающего при сейсмической реактивации нарушения с неровным сместителем, заключающаяся в том, что процесс миграции газа развивается в 2 основные фазы: активизируется при скачкообразном повышении давления газа в пустотном пространстве (1-я фаза) и продолжает развиваться уже после прекращения импульса и снижении давления до первоначального (2-я фаза).

4. Обоснован подход к оценке потенциального воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду для условий Монголии, согласно которому она осуществляется по глубине расположения гипоцентров сейсмической активизации в районах освоения недр.

**Теоретическая значимость** заключается в создании научного задела для исследования взаимодействия глобальных геодинамических и локальных геомеханических процессов, возникающих при освоении недр Монголии и оценки влияния этого взаимодействия на геологическую ситуацию.

**Практическая значимость** заключается в установлении факта возникновения техногенной сейсмичности на территории Монголии, что необходимо учитывать при выдаче разрешений на недропользование; обосновании пути оценки и регулирования возможного воздействия

индуцированных геодинамических явлений на окружающую среду, обосновании выбора для мониторинга опасных участков по миграции газов из недр на земную поверхность. Рекомендовано разрабатывать регламент ведения горных работ для месторождений Монголии, на которых глубины техногенных сейсмических явлений превышают глубину ведения горных работ для профилактики геодинамической безопасности.

**Обоснованность и достоверность** исследования подтверждается результатами анализа геодинамического состояния недр Монголии, представительной выборкой данных по проявлению сейсмичности на месторождениях Таван-Толгой и Матад (5400 и 3500 сейсмических событий за период 2015-2024 годы соответственно), использованием принятых в международной практике методов установления природы (техногенная/естественная) сейсмичности, использованием при экологических оценках применяемых в сейсмологии эмпирических зависимостей, опорой на развиваемые в международной практике научные концепции в области взаимодействия глобальных геодинамических и локальных геомеханических процессов.

**Личный вклад автора.** Лично автором была выполнена систематизация и интерпретация имеющихся данных по геодинамике Монголии, систематизированы данные по проявлению сейсмичности в районах месторождений Матад и Таван-Толгой, проведен анализ природы (техногенная/естественная) этих сейсмических явлений, оценена мощность слоя предельно напряженного состояния массива в горнопромышленных районах, оценена максимально возможная магнитуда техногенного землетрясения для условий Монголии, обоснован подход к оценке и регулированию воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду, подготовлены данные для компьютерного моделирования поршневого эффекта выдавливания шахтных газов на земную поверхность во время сейсмических активизаций и проинтерпретированы результаты моделирования, составлен текст диссертации. Автор участвовал в определении цели работы и постановке задач, написании статей и патентов, а также в апробации защищаемых научных положений.

### **Апробация работы.**

Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры БЭГП НИТУ МИСИС, конференциях: Международный круглый стол монголо-российских специалистов нефтегазовой отрасли, 22.11.2022 года «Об оценке геодинамической опасности освоения недр и земной поверхности территории Монголии»; XXX Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика», май 2023 года; «Совещание с технической дирекцией Улан-баторской железной дороги», 13 декабря 2022 года, Международный научный симпозиум «Неделя горняка – 2025», Международная конференция «Геодинамика сильно сжатых массивов», 2025, г. Владивосток.

Помимо этого, было принято участие в качестве исполнителя НИР по международному проекту «Геодинамическое районирование приграничной (Россия-Монголия) территорий в пределах Монголо-Охотского орогенного пояса» в 2022 году.

### **Публикации.**

Основное содержание работы отражено в 6 научных публикациях, 3 из которых - статьи в журналах, входящих в список, рекомендованный ВАК и включенных в наукометрическую базу Scopus, 2 статьи в других журналах, 1 патент РФ.

### **Объем и структура работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка используемой литературы и приложений. Работа изложена на 143 страницах и содержит 57 рисунков, 12 таблиц, список используемых источников из 168 наименований и приложения.

### **Благодарности.**

Автор выражает особую благодарность научному руководителю д.т.н. Батугину А.С. за помощь, оказанную при работе над диссертацией, Президенту Монгольской Академии Наук С. Дэмбэрэлу и заведующему отделом сейсмологии института Астрономии и Геофизики АН Монголии У. Ульзийбату за поддержку и ценные консультации. Кроме того, автор благодарит коллектив кафедры безопасности и экологии горного производства Горного института НИТУ МИСИС во главе с

заведующим кафедрой д.т.н. Коликовым К.С. за помощь в организационных вопросах.

### **Основное содержание работы**

**Первая глава** касается вопросов влияния индуцированных геодинамических процессов на окружающую среду и безопасность освоения недр. Приводятся примеры, показывающие, что геодинамическая опасность рассматривается как часть экологической опасности. В соседних с Монголией странах (Китай, Россия, Казахстан) получила развитие техногенная сейсмичность, изучению которой посвящены работы многих научных коллективов (Адушкин В.В., Дягилев Р.А., Еманов А.Ф., Козырев А.А., Кочарян Г.Г., Мансуров В.А., Нестеренко М.Ю., Опарин В.Н., Петухов И.М., Рассказов И.Ю., Турунтаев С.Б., Cai, He M., Li. и др. ученые). Отмечено, что возникновение сейсмичности на глубинах больших, чем глубина воздействия на недра, является типичным явлением на различных континентах и при различных видах инженерной деятельности. Как постулат многими исследователями принимается, что для возникновения техногенной сейсмичности необходимо наличие сейсмогенных разломов, находящихся в состоянии, приближающемся к критическому (H. Dham et al. 2010; Qhen, 2022), что является частным случаем более общей концепции предельно напряженного состояния верхней части земной коры (Петухов, 1991; Towned and Zobak, 2000).

К природным факторам, способствующими проявлению техногенной сейсмичности, относят тектоническое строение территории (наличие активных разломов), напряженное состояние земной коры, проявление естественной сейсмичности. В связи с этим рассмотрены характеристики тектонического строения и геодинамического состояния территории Монголии, геодинамическая позиция Монголо-Охотского орогенного пояса, результаты сейсмологических исследований, которые отражены в работах Баярт Г., Ганцориг Д., Демьянович В. М., Дугармаа Т., Дэмберел С., Ключевский А. В., Лукнев А.В., Мирошниченко А.Л., Радзимович Н.А., Ульзийбат М. и других исследователей. По результатам аналитического обзора сформулированы основные задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена доказательству первого научного положения и в ней приводятся доказательства техногенной природы сейсмичности на территории Монголии в районах месторождений Таван-Толгой и Матад. В настоящее время имеются разработанные подходы к

установлению природы сейсмичности (естественная/техногенная) в районах воздействия инженерной деятельности на недра, основанные на построении подробных геомеханических и геодинамических моделей, на статистической информации, используется экспертный анализ. В силу ограниченности и закрытости информации для условий Монголии использовать методы первых двух упомянутых групп не представляется возможным. Возможен анализ на основе качественного подхода в стиле анкеты (вопросника), в котором перечислены основные признаки техногенной природы сейсмичности (Davis and Frohlich, 1993; Verdon et al., 2019; Foulger et al., 2023), однако поскольку опыт его применения в горнопромышленных районах отсутствует, требуется его обоснованная адаптация.

В районе угольного разреза Таван-Толгой исторически не было зарегистрировано значительных землетрясений. Данные, представленные на рис. 1-а, охватывают 70-километровый радиус вокруг разрезов Таван-Толгой и сейсмические события с 2015 по 2024 год. За этот период было зарегистрировано около 5 400 землетрясений, причем 9 из них превысили локальную магнитуду 3. Точность определения местоположения эпицентров имеет погрешность от 2 до 5 километров, глубина гипоцентров, по данным Института Астрономии и Геофизики Монгольской АН превышает глубины разработки, но не превышает, 2 км, рис. 1 б. Далее произведена оценка природы сейсмичности по схемам Д. Вердона (2019) и Г. Фоулджер (2023). Важным признаком техногенной природы сейсмичности в этих схемах является локализация гипоцентров в местах техногенного воздействия. Однако на угольных разрезах постоянно ведутся взрывные работы, что лишает этот признак информативности. В работе показано, что на многих месторождениях мира наблюдается эффект возникновения сейсмичности глубже зоны техногенного воздействия, что объясняется переходом глубоких частей горного массива в предельно напряженное состояние. С учетом этого предложено изменить трактовку упомянутого признака техногенной природы сейсмичности и рассматривать проявление сейсмичности на глубинах 1,5-1,8 км под разрезами Таван-Толгой как признак ее техногенной природы, рис. 1б. С учетом внесенных изменений по схеме Д. Вердона получено, что вывод о техногенной природе сейсмичности подтверждается более чем на 90% при полноте данных 70%. По схеме Г. Фоулджер также получено, что вывод о

техногенной природе сейсмичности в районе Таван-Толгой подтверждается на 90%, рис. 1с.

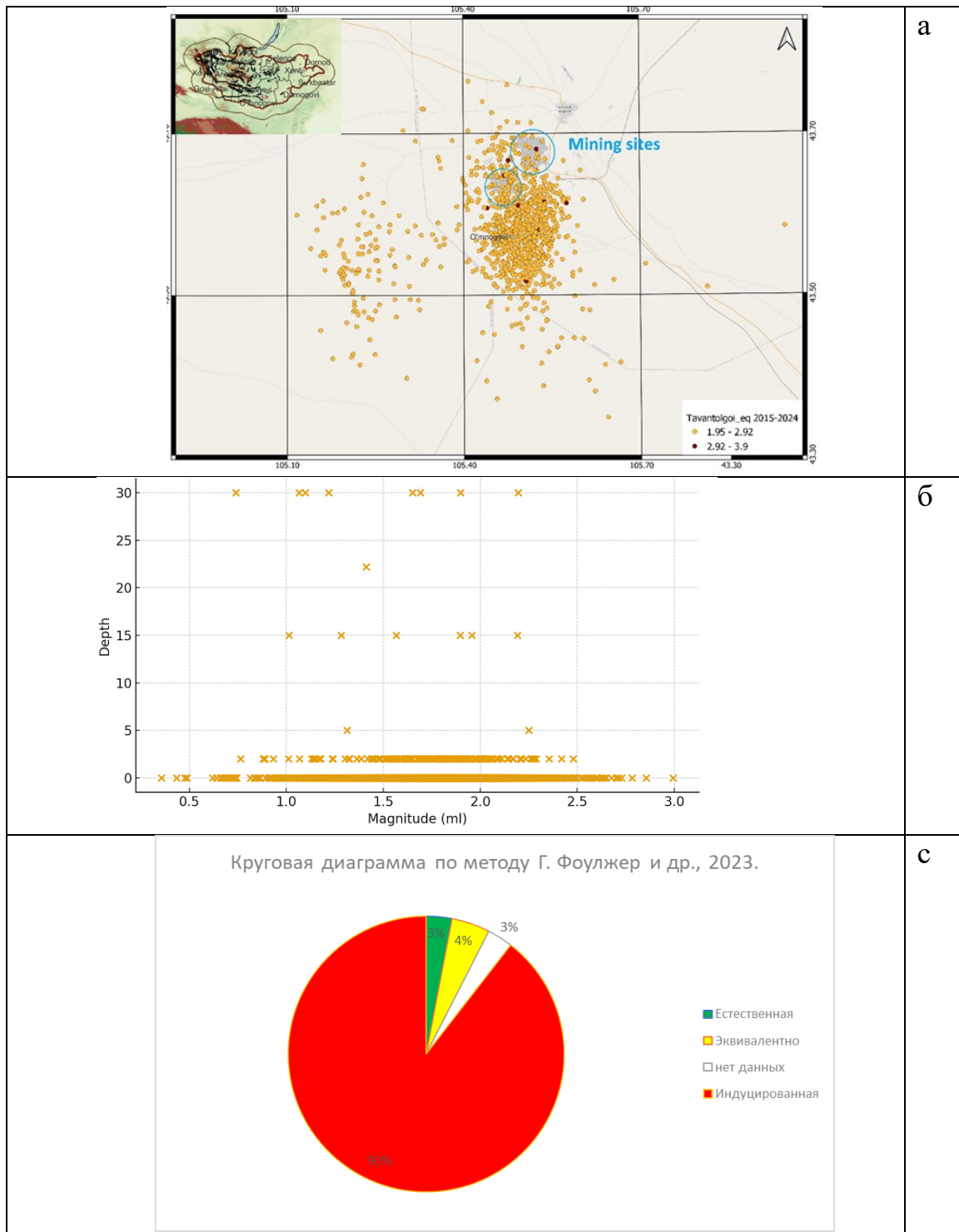


Рисунок 1 – Сейсмичность в районе разреза Таван-Толгой. На 1а землетрясения магнитудой 2-3 отмечены желтым цветом, а землетрясения магнитудой 3,1-3,9 – красным); на 1б – видно два максимума глубин гипоцентров за 2015-2024 гг: вблизи поверхности (интерпретируется как

промышленные взрывы) и на глубине 1,7 км (интерпретируется как наведенная техногенная сейсмичность); 1с - круговая диаграмма, отражающая решение о природе сейсмичности по методу Г. Фоулджер (красный цвет – доводы в пользу техногенной природы сейсмичности).

Исторически сложилось так, что Восточная Монголия, в частности, район Матад, считался асейсмичным, без известных активных разломов. Однако в период разработки нефтяного месторождения с 2019 по 2021 год было зарегистрировано 3500 землетрясений с локальной магнитудой до 4 и выше ( $M_L \geq 4$ ), два из них превысили магнитуду 5, рис. 2а. Этот рост сейсмичности совпадает с началом активной стимуляции скважин при нефтедобывающей деятельности в регионе, что позволяет предположить потенциальную связь между этими двумя явлениями. Для месторождения нефти Матад вывод о техногенной природе сейсмичности по схеме Д. Вердона верен на 90% при полноте данных 72%, по схеме Г. Фоулджер - также не менее 90%, рис. 2б.

Эти два примера показывают, что техногенная сейсмичность стала реальностью для Монголии и доказывают первое научное положение.

**Третья глава** посвящена доказательству второго научного положения. Так как на территории Монголии имеются проявления техногенной сейсмичности, то встает вопрос о максимально возможной и максимально ожидаемой магнитуде такого землетрясения. Считается, что максимально возможная магнитуда техногенного землетрясения может быть равна максимальной магнитуде естественного землетрясения (Адушкин, Турунтаев, 2015; Vommer et al., 2024), но очевидно, что такая оценка является слишком консервативной, так как для Монголии  $M=8$ , что практически налагало бы запрет на любые виды освоения недр. Из-за ограниченной статистики и недостатка информации для упомянутых оценок не подходят и методы аналогий и компьютерного моделирования.

В работе предложен новый способ оценки максимально ожидаемой магнитуды техногенного землетрясения по размеру его потенциального очага, измеряемого от поверхности до максимальной глубины сейсмической активизации (локальной сейсмичности). Этот способ основан на концепции предельно напряженного состояния земной коры проф. Петухова И.М., нашедшей отражение в работах других известных ученых (например, Townend and Zoback, 2000; Соболев, Пономарев 2003; Ellsworth W. 2013; Sholz, 1991) и использовании установленных в

сейсмологии эмпирических зависимостей между размером очага и магнитудой землетрясений типа

$$\lg L = a \cdot M + b, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  - эмпирические коэффициенты.



Рисунок 2 Сейсмичность в районе месторождения Матад  
1а - землетрясения магнитудой 2,1 - 3 выделены зеленым цветом, 3,1 - 4 - оранжевым, 4,1 - 5,1 - темно-красным. Красный круг обозначает два землетрясения магнитудой выше 5); 1б - круговая диаграмма, отражающая решение о техногенной природе сейсмичности по методу Г. Фулджер (красный цвет)

Согласно авторскому предложению, в районах эксплуатации недр регистрируется локальная сейсмичность с определением глубины залегания гипоцентров  $h$ . Мощность слоя с предельно напряженным состоянием принимается равной  $H = h_{max}$  и используется в дальнейшем при оценке максимально ожидаемой магнитуды  $M_{max}$  для выбранного района по эмпирической зависимости магнитуды  $M$  от размера очаговой зоны  $L=2H$ . Например, из известной формулы М.А. Садовского (1983) получим:

$$M_{max} = (\lg (2 H) - 2,64) / 0,57 , \quad (2)$$

где размерность  $H$  – см.

В своих исследованиях автор опирается на допущение, что по мере развития горных работ увеличиваются глубины гипоцентров сейсмических активизаций. Это допущение подтверждается практическими примерами (в диссертации приведены примеры района СУБРа по материалам Петухова И.М., Батугиной И.М., района Бачатского землетрясения по материалам Еманова А.Ф. с соавторами) и теоретическими моделями (Davis и Selvadurai, 1996).

Расчеты проверены на примере горнопромышленных районов, входящих, по предположению ученых, в Монголо-Охотский орогенный пояс.

Для района Бачатского землетрясения

$$H = h_{max} = 4 \div 6 \text{ км } (4 \div 6 \times 10^5 \text{ см}).$$

По формуле (2) получаем:

$$\lg((2H) - 2,64)/0,57 = (\lg (2 \cdot 500000) - 2,64)/0,57 = (6 - 2,64)/0,57 = 5,9.$$

Поскольку магнитуда Бачатского землетрясения оценивается как  $M=6,1$  (Еманов и др., 2020), то делаем вывод, что произошедшее событие было максимально возможным в данном районе.

Для месторождения Таван-Толгой (максимальная магнитуда на 2024 год составляла 3,1) глубина гипоцентров локальных сейсмических явлений составляет 1,5-1,8 км (рис. 1б). Для глубин  $H=1,8$ , км по формуле (2) получим  $M_{max} = 5,0$ , т.е геодинамическая опасность недооценена.

С магнитудой землетрясения  $M$  связана также величина смещения  $A$  по разлому эмпирическим соотношением типа

$$\lg(A) = aM + b, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты.

Например, по исследованиям Е.Г. Бугаева  $a=0,333$ ;  $b = -1,333$  для хрупко-пластического разрушения в условиях всестороннего сжатия. Согласно выражению (3) амплитуда смещения по разлому при

сейсмических активациях с магнитудой 3-5 может достигать десятков сантиметров, в связи с чем рассмотрен эффект воздействия техногенной сейсмичности на атмосферу района горных разработок. При относительном смещении крыльев разлома контакт типа «выступ-выступ» меняется на контакт типа «выступ-впадина» и газ, заключенный в пустотном пространстве сместителя, выдавливается под действием возникающего поршневого эффекта (рисунок 3). Для обоснования этого эффекта разработана компьютерная модель и произведена оценка негативного влияния на окружающую среду. Исследования проведены с участием автора.

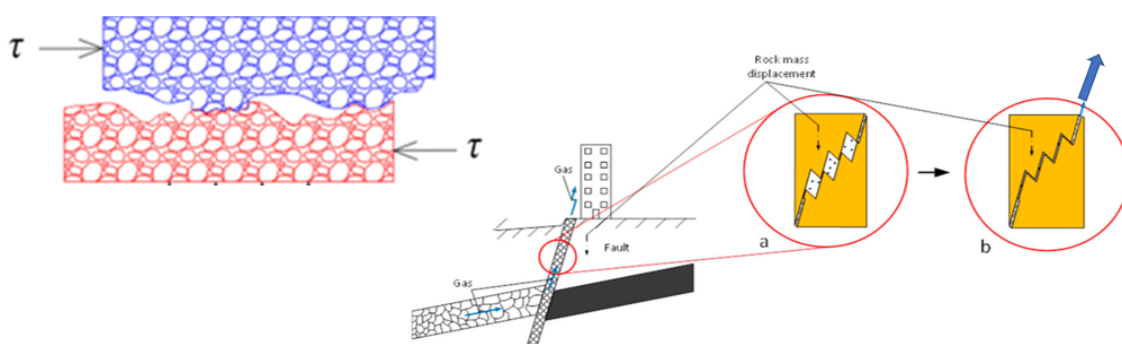


Рисунок 3 – Неровный контакт крыльев нарушения (красный и синий цвета) и схематическое изображение поршневого эффекта (а, б)

По результатам компьютерного моделирования установлена закономерность миграции шахтных газов к земной поверхности, заключающаяся в том, что процесс миграции газа развивается в 2 основные фазы: активизируется при скачкообразном повышении давления газа в пустотном пространстве (1-я фаза) и продолжает развиваться уже после прекращения импульса и снижении давления до первоначального (2-я фаза), рисунок 4.

Показано, что даже в случае подвижки крыльев нарушения на несколько миллиметров, что соответствует одноактному толчкообразному смещению, давление в пустотном пространстве между крыльями может скачкообразно возрасти до  $250 \div 1000$  Па. Выделение газов на земную поверхность может составлять 1500 кубометров за один акт даже незначительной реактивации нарушения с магнитудой  $M = 1 \div 2$  и достигать экологически значимых объемов при более сильных техногенных землетрясениях.

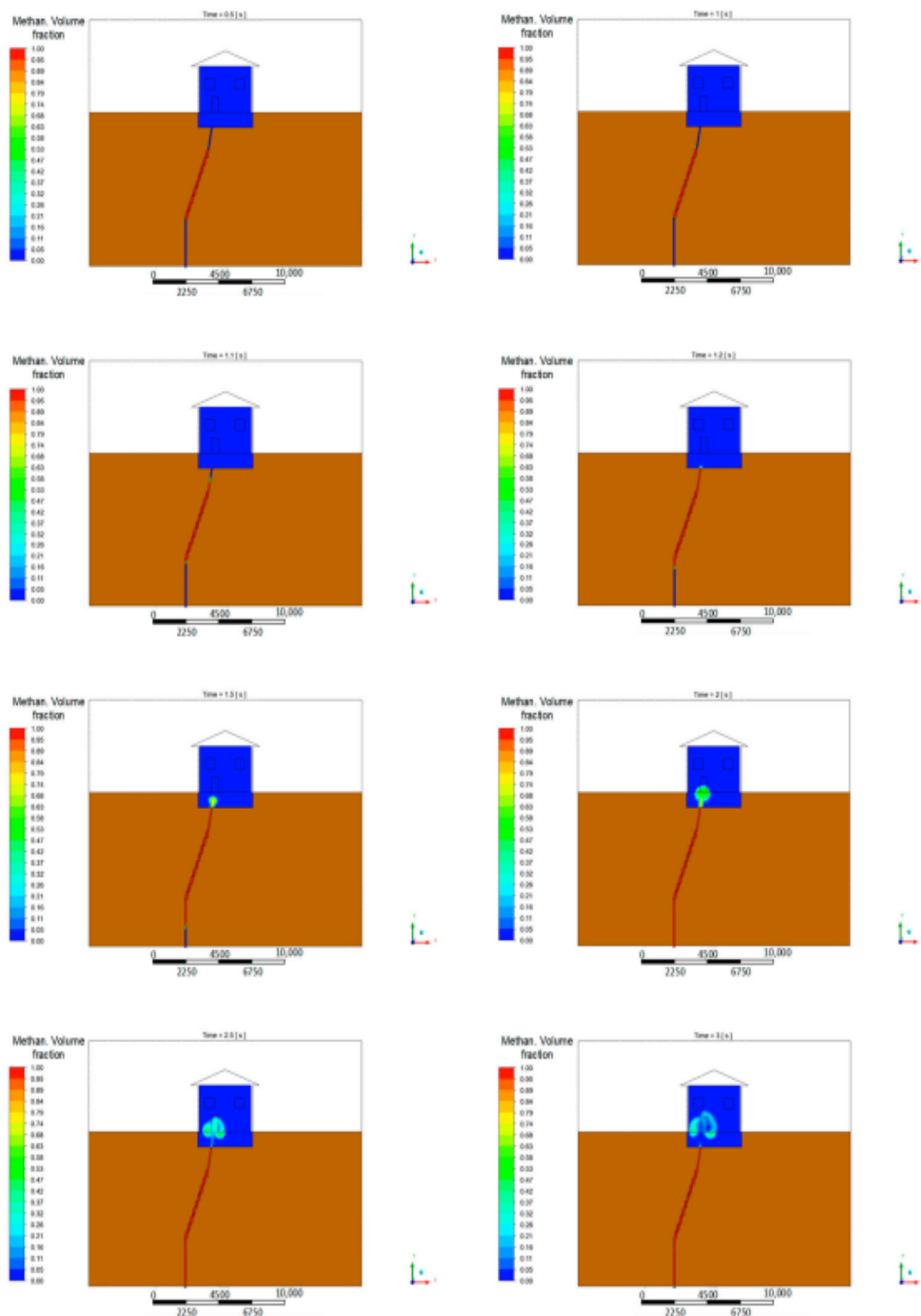


Рисунок 4 – Развитие поршневого процесса миграции газов во времени

В четвертой главе рассматривается подход к оценке воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду Монголии с учетом максимально ожидаемой магнитуды техногенного землетрясения  $M_{max}$ .

Используемый в мировой практике подход установления трехуровневой оценки воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду (зеленый-желтый-красный (TLS)) имеет ограничения на территории Монголии в силу низкой плотности населения и неразвитой инфраструктуры. В то же время имеются описанные в диссертации установленные эмпирические зависимости, используемые в сейсмологии, обнаружены закономерности в проявлении техногенной сейсмичности, имеются теоретические обоснования концепции предельно напряженного состояния земной коры. На основе этих научных достижений приняты следующие допущения:

1. Максимальная глубина гипоцентров сейсмических явлений (сейсмической активизации) в районе освоения недр постепенно увеличивается с развитием горных работ.

2. Размер очага землетрясения с максимально ожидаемой магнитудой равен максимальной глубине проявления сейсмической активизации.

3. В контролируемом районе освоения недр установлена сейсмостанция, которая ведет непрерывный контроль глубин гипоцентров возникающих сейсмических событий.

4. Для региона имеется установленная или принятая эмпирическая зависимость, связывающая магнитуду  $M$ , интенсивность  $I$ , глубину залегания гипоцентра  $h$ , площадь  $S_i$ , ограниченную  $i$ -той изосейстой.

5. Для региона установлена или принята эмпирическая зависимость, связывающая магнитуду землетрясения с размером его очага.

6. При остановке инженерных работ (добычи) техногенная сейсмичность затухает.

Поскольку глубина  $h$  развития сейсмического процесса контролируется с помощью локальных сейсмостанций (допущение 3), это позволяет вести текущий контроль максимально ожидаемой магнитуды согласно допущениям 2 и 5. Предельно допустимой магнитудой техногенного землетрясения (границей красной зоны) предлагается считать такую, при которой на заданном расстоянии  $R$  от места добычи интенсивность толчков может достигнуть (но не превысить) заданного значения  $I_s$ .

Для демонстрации подхода в качестве допущения 4 работе принята эмпирическая зависимость соседнего с Монголией региона, установленная

К.Я. Джанузаковым, в которой  $h$  и  $S_1$  измеряются соответственно в км и км<sup>2</sup> (2013):

$$M = ((0,4lgh + 0,5I + \lg S_1)) / 1,1. \quad (4)$$

В качестве примера зависимости, связывающей магнитуду землетрясения с размером его очага (допущение 5) принята формула М.А Садовского (2).

На рис. 5 иллюстрируется предлагаемый подход к оценке воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду с использованием номограммы. За допустимое воздействие на окружающую среду принята интенсивность сотрясения  $I=5$  на границе защитной зоны радиусом  $R$  (на номограмме взято  $R = 15, 30$  или  $45$  км). Данную номограмму автор рассматривает только как путь (подход) решения такой задачи. Если по мере развития сейсмологических исследований в Монголии появятся новые зависимости типа (2) и (4), то откроется возможность уточнить номограмму применительно к конкретной ситуации.

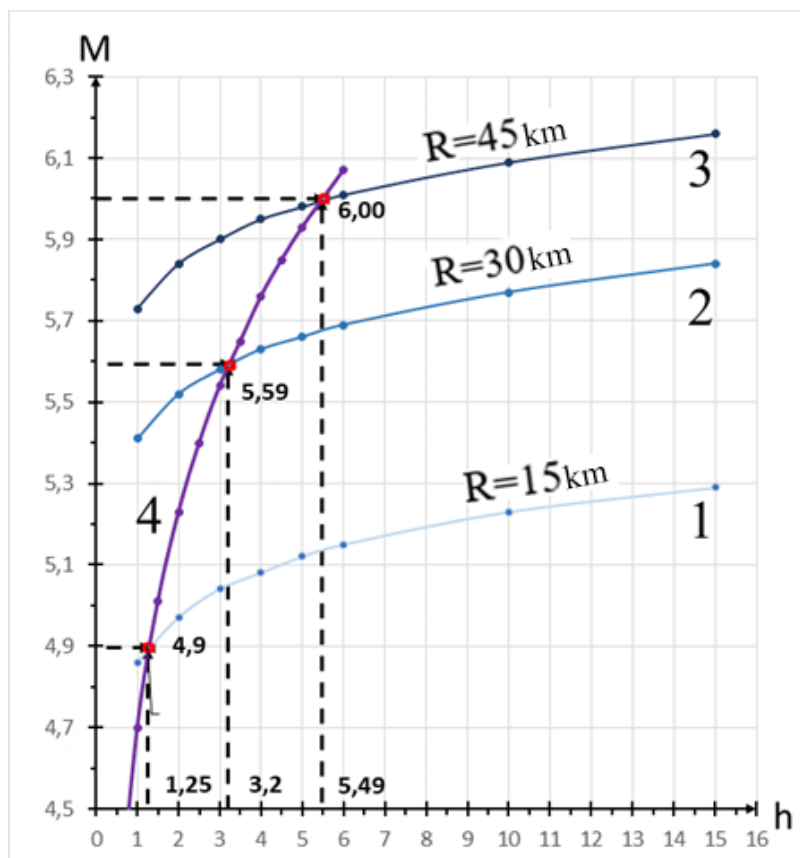


Рисунок 5 Иллюстрация подхода к оценке воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду для территории Монголии

Предполагается следующий порядок использования номограммы. По точкам пересечения кривых 1, 2 или 3 с кривой 4 определяем величину  $M$ , при которой на расстояниях, соответственно, 15, 30 или 45 км будет располагаться граница области с интенсивностью  $I = 5$ . Абсциссы точек пересечения кривой 4 с кривыми 1, 2, 3 соответствуют «критической» глубине залегания локальных сейсмических событий  $H_{кр}$ , т.е. согласно допущению 1 характеризуют размер очага землетрясения с максимально возможной в этой ситуации магнитудой. При сейсмическом мониторинге определяется глубина расположения гипоцентров возникающих сейсмических событий  $h$ . Если сейсмические события происходят на глубинах разработки и меньше, такая ситуация в данном случае рассматривается как допустимая («зеленая зона»), поскольку она регулируется разработанными инструкциями по безопасности. Возникновение сейсмических явлений на глубинах, превышающих глубину ведения горных работ  $H_{г.р.}$ , является маркером развития зоны предельно напряженного состояния массива вокруг объекта на глубину и соответственно увеличения опасности («желтая зона»). Возникновение сейсмических активизаций на глубинах, определенных как «критические»  $H_{кр}$  (на рис. 5:  $h = H_{кр} = 1,25$  км при радиусе защитной зоны  $R=15$  км и  $h = H_{кр} = 5,5$  км при радиусе  $R=45$  км) является сигналом о достижении потенциально опасного уровня сейсмического воздействия на окружающую среду («красная зона»), рисунок 6.

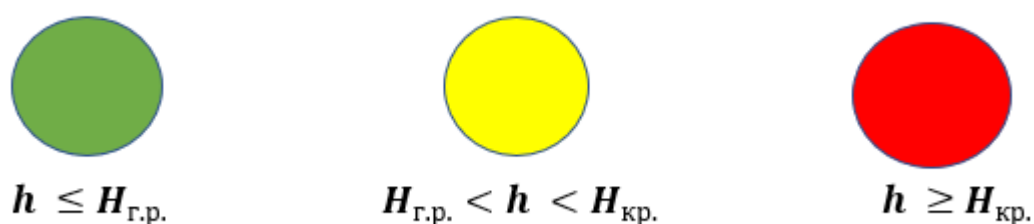


Рисунок 6. – К оценке потенциального воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду в районе работы предприятия по освоению недр по значениям глубин гипоцентров локальных сейсмических событий  $h$ : зеленый цвет – низкий уровень воздействия, работа предприятия в обычном режиме; желтый – уровень повышенной опасности, необходимо оповестить специализированный государственный орган и принять меры; красный - опасный уровень, работы прекратить до выяснения обстоятельств.

Например, для условия угольного разреза Таван-Толгой в настоящее время сейсмичность регистрируется на глубинах 1,5-1,8 км (рис.1б), что превышает глубины разработки *Нз.р.* и в соответствии с предлагаемым подходом это «желтая зона», ситуация требует внимания и разработки специального регламента, регулирующего работу предприятия.

## **Заключение**

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача исследования природы сейсмичности (техногенная/естественная) районов освоения недр Монголии и разработки подхода к оценке ее потенциального воздействия на окружающую среду.

### **Основные выводы исследования:**

1. В условиях Монголии, одним из сейсмоактивных районов Азии, где начался процесс бурного развития горной промышленности, важно учитывать, что техногенная сейсмичность при освоении является значимым фактором воздействия на окружающую среду и безопасность.
2. Впервые доказано, что возникновение сейсмических явлений в районах месторождений Таван-Толгой и Мадад связано с процессом их разработки и является новым для Монголии видом геодинамической опасности (техногенная сейсмичность), оказывающим влияние на окружающую среду.
3. Обоснован подход к оценке максимально ожидаемой магнитуды техногенного землетрясения по значениям глубин гипоцентров сейсмических явлений, возникающих при воздействии на недра или земную поверхность, основанный на представлениях о предельно напряженном состоянии земной коры.
4. На основании результатов компьютерного моделирования установлена закономерность миграции шахтных газов к земной поверхности за счет поршневого эффекта, возникающего при сейсмической реактивации нарушения с неровным сместителем, заключающаяся в том, что процесс миграции газа развивается в 2 основные фазы: активизируется при скачкообразном повышении давления газа в пустотном пространстве (1-я фаза) и продолжает развиваться уже после прекращения импульса и снижении давления до первоначального (2-я фаза).
5. Обоснован подход к оценке потенциального воздействия техногенной сейсмичности на окружающую среду для условий Монголии, согласно

которому она дается с учетом глубины расположения гипоцентров сейсмической активизации в районах освоения недр и качественно может быть выражена с помощью трехцветовой шкалы (зеленый-желтый-красный).

6. Задачей дальнейших исследований является обоснование рекомендаций по государственному регулированию экологической опасности, связанной с техногенной сейсмичностью при освоении недр Монголии.

### **Основные результаты работы опубликованы:**

1. Батугин А.С., Шевчук С.В., Шерматова С.С., Головки И.В., Зундуйжамц В. К вопросу мониторинга геоэкологической опасности при геодинамическом взаимодействии объектов освоения недр // ГИАБ. – 2021. - №10-1. – С. 63-73. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_101\_0\_63.
2. Batugin A, Kobylkin A, Kolikov K, Ivannikov A, Musina V, Khotchenkov E, Zunduijamts B, Ertuganova E, Krasnoshtanov D. Study of the Migrating Mine Gas Piston Effect during Reactivation of Tectonic Faults. Applied Sciences. 2023; 13(21):12041. <https://doi.org/10.3390/app132112041>.
3. Шерматова С. С., Шевчук С. В., Бямбасурэн З., Ромеро М., Доскалов А. И. К оценке степени геодинамической опасности в горнопромышленном районе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 175–184. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_12\_0\_175.
4. Батугин А.С., Содномсамбуу Дэмбэрэл (MN), Шерматова С.С., Бямбасурэн Зундуйжамц (MN), Мунхуу Олзийбат (MN) Способ оценки максимально возможной магнитуды техногенного землетрясения в районах освоения недр и земной поверхности. Патент РФ 2818 493(13) С2, опубл. 02.05.2024, бюлл. №13 (МПК G01V 1/00; G01V 9/00).
5. Бямбасурэн З., Мунхуу У., Батугин А.С., Улзийсайхан Х. Техногенная сейсмичность районов Таван-Толгой и Матад в Монголии // Актуальные проблемы современной науки. – 2025. - №3.- С. 10-15.
6. Batugin A.S., Munkhuu U., Bymbasuren Z. On the geodynamic reaction of highly compressed masses to antropogenic impact / In: Advances in Geomechanics of Highly Compressed Rock and Masses. 13th International Russian-Chinese Conference on Deep Geomechanics Vladivostok, July, 28-August, 1, 2025, Ed. Makarov V.V., pp.74-76. DOI 10.24866/7444-5951-2.