



## ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ: РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ С.В. ГОЛЬДИНА

Петр Георгиевичи Дядьков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,  
DyadkovPG@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5345-9331>

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия,

**Аннотация.** Приведены новые данные о процессах формирования области подготовки землетрясения, которые получены на основе развития представлений С.В. Гольдина. Получены свидетельства о процессах переупаковки блочной системы накануне сильного землетрясения, о формировании зоны деформационной тени в районе будущего сейсмического события. Обсуждается природа среднесрочных сейсмических затиший и краткосрочных пауз молчания.

**Ключевые слова:** землетрясение, область подготовки, зона деформационной тени, сейсмическое затишье, пауза молчания

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания FWZZ-2026-0051.

**Для цитирования:** Дядьков П.Г. Формирование области подготовки землетрясения: развитие представлений С.В. Гольдина // Геофизические технологии. 2026. № 1. С. 48–54. doi:10.18303/2619-1563-2026-1-48.

## FORMATION OF THE EARTHQUAKE PREPARATION AREA: DEVELOPMENT OF S.V. GOLDIN'S CONCEPTS

Petr G. Dyadkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,  
DyadkovPG@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5345-9331>

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Pirogov Str., 1, Novosibirsk, 630090, Russia,

**Abstract.** New data on the formation of an earthquake preparation zone, based on the development of S.V. Goldin's concepts, are presented. Evidence is obtained of the repacking of the block system on the eve of a strong earthquake, the formation of a deformation shadow zone in the area of the future earthquake, and the nature of medium-term seismic quiescences and short-term silence pauses is discussed.

**Keywords:** earthquake, preparation zone, deformation shadow zone, seismic quiescence, silence pause

**Funding:** the study was carried out within the framework of the state assignment FWZZ-2026-0051.

**For citation:** Dyadkov P.G. Formation of the earthquake preparation area: development of S.V. Goldin's concepts // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2026. No. 1. P. 48–54. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2026-1-48.

## ВВЕДЕНИЕ

Получение новых знаний о процессе формирования области подготовки тектонического землетрясения и физических механизмах этого процесса является одной из важнейших задач в науках о

Земле. В ряде работ [Гольдин и др., 2001; Гольдин, 2004; Гольдин, Кучай, 2007] С.В. Гольдину с соавторами удалось выявить ряд важных закономерностей и особенностей сейсмического процесса и предложить некоторые физические механизмы для их объяснения, что явилось основой для дальнейшего развития исследований по этим направлениям. Рассмотрим некоторые из этих результатов, актуальных с точки зрения разработки моделей подготовки землетрясений.

### **ПРОЦЕССЫ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БЛОЧНОЙ СРЕДЕ**

Показано [Dyadkov et al., 2017], что подготовка Култукского землетрясения сопровождалась роением землетрясений, возникшим в 2007 г. у восточного края жесткого асейсмичного блока. Интенсивность роя снижалась по мере приближения к основному событию и события в рое полностью прекратились приблизительно за три месяца до Култукского землетрясения ( $M = 6.3$ ), которое произошло у западного края этого же жесткого асейсмичного блока. Возможным объяснением этой роевой последовательности может быть процесс переупаковки блочной системы [Гольдин, 2004] на заключительной стадии подготовки Култукского землетрясения. Важно также отметить, что наличие жесткого блока определило особый характер развития афтершокового процесса этого землетрясения. Афтершоковая последовательность развивалась только в западном и северо-западном направлении от эпицентра главного события.

### **МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С ЗОНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕНИ**

При детальном изучении особенностей сейсмического режима и напряженного состояния областей подготовки сильных землетрясений в последние годы накопилось достаточно много фактов, указывающих на то, что район будущего очага находится в особых условиях, которые характеризуются относительной изолированностью процессов в ближней зоне подготовки от внешних региональных воздействий, невысоким уровнем выделения сейсмической энергии и ее стабильностью во времени, близостью расположения к границам сейсмических затиший, сменой типа напряженного состояния, высоким уровнем градиента напряжений и относительно невысоким уровнем касательных напряжений.

Рассматривая имеющиеся данные с точки зрения разработки соответствующей физической модели подготовки землетрясения в условиях взаимодействия жестких структурных тектонических элементов (плит, микроплит и блоков) как между собой, так и с орогенами, следует констатировать, что модель должна включать зону упрочнения среды (например, консолидации блоковых структур) и зону разупрочнения, возникающую внутри или рядом с зоной упрочнения. Важнейшей характеристикой такой модели подготовки является необходимость объединения и взаимодействия (на определенном этапе эволюции) зоны упрочнения с жесткими структурами следующего, более высокого иерархического уровня. Именно такая модель может обеспечить энергетически выгодный процесс эволюции геодинамической системы. При этом инициализация процесса разрушения, зависящая от увеличения контрастности свойств среды, не требует значительных касательных напряжений вследствие наличия области разупрочнения.

В работе [Гольдин, Кучай, 2007] при изучении пространственного распределения типа напряженного состояния по данным о механизмах очагов землетрясений было обнаружено, что при общем характере смещения и деформирования среды в северном, северо-восточном направлении и преобладающих условиях близгоризонтального сжатия в этом направлении (что обусловлено силами Индо-Евразийской коллизии), севернее крупных консолидированных структур (микроплиты, блоки)

наблюдаются так называемые зоны деформационной тени. В этих зонах постоянно имеют место сбросовые механизмы очагов, т. е. преобладают условия растяжения.

При анализе пространственного распределения типов механизмов очагов в области подготовки Чуйского землетрясения в Горном Алтае, 2003 г.,  $M = 7.3$ , нами было обнаружено, что при подготовке этого землетрясения в его ближней зоне преобладают сбросовые типы очагов [Дядьков и др., 2010]. Это позволило нам предположить, что зоны деформационной тени могут иметь место не только как постоянные структурные особенности деформируемой среды, но и возникать в областях подготовки землетрясений в ответ на формирование консолидированной блочной структуры, состоящей из нескольких блоков [Дядьков, 2013]. Зона деформационной тени была также обнаружена нами в области подготовки землетрясения Чьяпас в Мексике, 2017 г.,  $M = 8.2$ , при анализе сейсмотектонических деформаций, рассчитанных по механизмам очагов землетрясений [Дядьков и др., 2020].

### СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЗАТИШЬЯ И ПАУЗЫ МОЛЧАНИЯ

Хотя сейсмические затишья являются практически обязательным среднесрочным признаком готовящегося землетрясения, однозначного ответа о механизме этого явления пока нет. Природа затишья может иметь два объяснения. Во-первых, это может быть объяснено консолидацией блочной среды, при этом внутри этой консолидированной области по крайней мере умеренные и сильные землетрясения могут отсутствовать. Во-вторых, природа затишья может объясняться обратным явлением – возможностью реализации упругих деформаций в среде за счет относительно медленных квазипластических подвижек в блочной среде [Гольдин, 2004], например, при достижении в некотором объеме среды такого уровня касательных напряжений, при котором наступает возможность пластического деформирования.

Полученные данные о процессе подготовки Култукского землетрясения в большей степени указывают на первый тип природы затишья, обусловленный консолидацией блочной среды, поскольку наблюдаемое двухлетнее сейсмическое затишье сопровождалось стабилизацией вертикальных движений в пункте Талая и стабилизацией изменений магнитного поля в ряде пунктов, что при интерпретации последних в рамках магнитоупругого эффекта горных пород указывает на стабильность напряженного состояния в этот период.

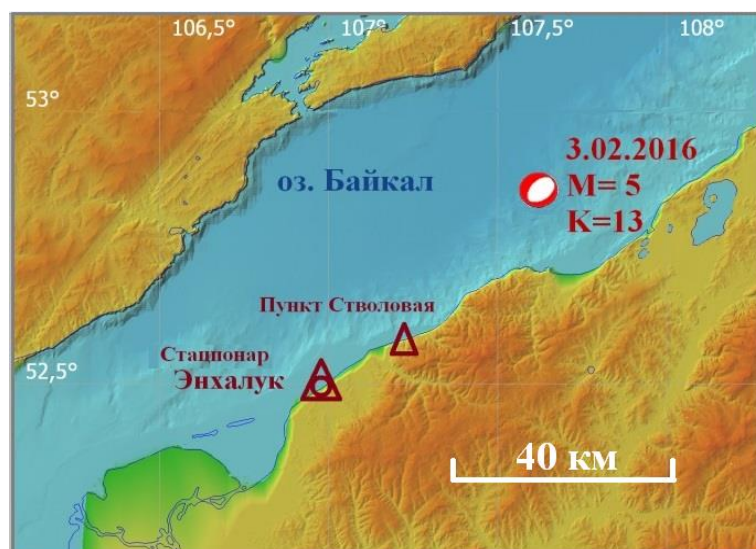
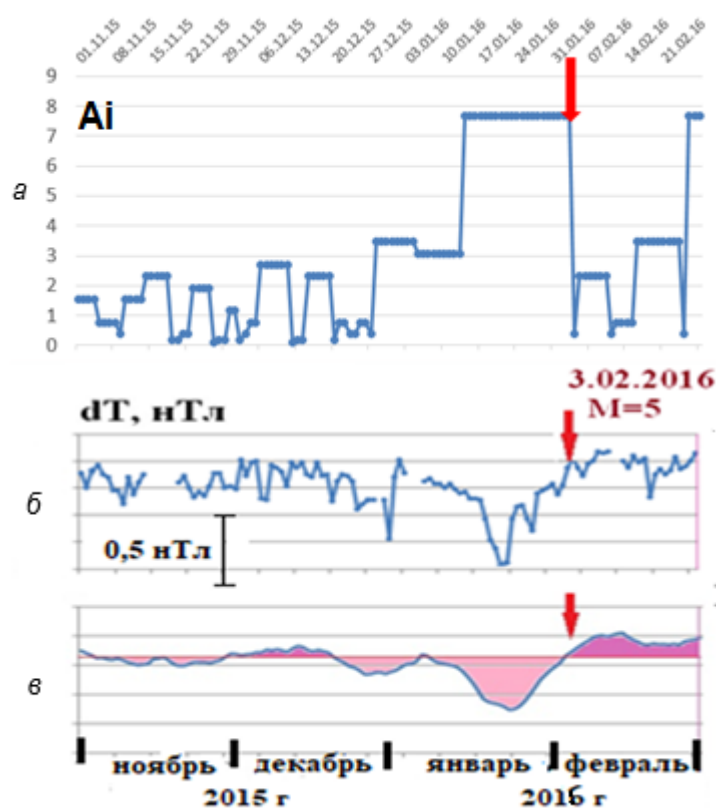


Рис. 1. Карта-схема расположения стационарных пунктов геомагнитных наблюдений и эпицентра землетрясения 3 февраля 2016 года с  $M = 5$ .



**Рис. 2.** Синхронизация аномалий продолжительности пауз сейсмического молчания и бухтообразных изменений в магнитном поле перед землетрясением 03.02.2016 г. с  $M = 5$  в центральной части оз. Байкал: *а* – график зависимости интенсивности пауз молчания  $A_i$  от времени для событий с  $M \geq 3.1$  за период с 01.11.2015 г. до 28.02.2016 г.; *б* – ежедневные значения разности аномального магнитного поля  $dT$  перед землетрясением 03.02.2016 г. с  $M = 5$  в пункте Стволовая относительно пункта Энхалук; *в* – разность  $dT$ , осредненная по пяти суткам.

Что касается второго типа природы затишья, связанного с диссипацией упругой энергии за счет медленных пластических, возможно криповых, подвижек, то более вероятным кандидатом на объяснение природы затишья являются паузы молчания, которые наблюдались нами в Байкальском регионе и характеризовались кратковременным (недели – месяц) отсутствием в регионе событий с  $M = 3$  и выше (рис. 1 и 2) непосредственно перед главным событием [Дядьков и др., 2023]. Для Байкальского региона был выполнен анализ изменений во времени интервалов между последовательными сейсмическими событиями ( $M \geq 3.1$ ) для периода с 01.01.2022 г. по 15.05.2023 г., а также для периода с ноября 2015 г. по февраль 2016 г. (см. рис. 2). Для этого был введен параметр  $A_i$ , который показывает во сколько раз интервал между соседними сейсмическими событиями превышает средний интервал за длительный промежуток времени. В результате были выявлены паузы сейсмического молчания длительностью до 20 дней, которые, как правило, сопровождались землетрясениями с  $M \sim 4.5$ – $5.5$ .

Свидетельство об увеличении скорости деформирования среды в области подготовки сильного землетрясения получено по данным космической геодезии по измерениям смещений на пунктах GPS-наблюдений в Горном Алтае [Тимофеев и др., 2024]. В среднем скорости смещений земной поверхности на пунктах в районе будущей эпицентральной области Чуйского землетрясения (27.09.2003 г.,  $M_w = 7.3$ ) за предсейсмический период с 2000 по 2003 г. были выше приблизительно в два раза по сравнению со скоростями смещений на пунктах, расположенных вне эпицентральной области. Хотя этот факт может указывать на активизацию деформационного процесса в области подготовки Чуйского землетрясения в том

числе, возможно, и за счет развития квазипластических деформаций, но выделить начало периода с повышенными скоростями деформирования среды в пределах временного интервала с 2000 по 2003 гг. не представляется возможным, поскольку изменения скоростей на годовых периодах сопоставимы с погрешностью наблюдений. Нельзя исключать и того факта, что повышенные скорости деформирования могли иметь место и до организации GPS-наблюдений в Горном Алтае, первая серия которых была выполнена в 2000 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных наблюдений за изменениями сейсмического режима и тектономагнитными аномалиями, а также анализ этих данных, выполненный на основе представлений и идей С.В. Гольдина, позволили существенно повысить уровень наших знаний о процессах формирования области подготовки землетрясений.

Получены сведения о переупаковке блочной системы накануне Култукского землетрясения 2008 г.,  $M = 6.3$ , на примере предшествующего этому событию роевой последовательности на восточной границе жесткого асейсмичного блока в южной части Байкальской впадины. Через три месяца после окончания роевой последовательности на западной границе этого блока произошло Култукское землетрясение.

Обнаружение С.В. Гольдиным и О.В. Кучай зон деформационной тени в сейсмоактивных районах Центральной Азии [Гольдин, Кучай, 2007] позволило предположить, что это явление может иметь место при формировании областей подготовки землетрясений [Дядьков, 2013]. Экспериментальное подтверждение этому получено при анализе механизмов очагов землетрясений и сейсмотектонических деформаций перед Чуйским землетрясением в Горном Алтае в 2003 г.,  $M = 7.3$ , и землетрясением Чьяпас в Мексике в 2017 г.,  $M = 8.2$ .

Природа среднесрочных (месяцы–годы) сейсмических затиший пока не получила однозначного трактования, но новые данные анализа сейсмического режима в Байкальском регионе и результаты тектономагнитных наблюдений с большей вероятностью указывают на то, что кратковременные сейсмические паузы с отсутствием событий с  $M \geq 3$  перед умеренными и сильными землетрясениями в Байкальском регионе [Дядьков и др., 2023] могут являться результатом начавшегося деформационного процесса в очаговой зоне.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

**Гольдин С.В.** Дилатансия, переупаковка и землетрясения // Физика Земли. 2004. № 10. С. 37–54. EDN: OXKDAT.

**Гольдин С.В., Кучай О.А.** Сейсмотектонические деформации Алтае-Саянской сейсмоактивной области и элементы коллизионно-блочной геодинамики // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 7. С. 692–723. EDN: IANKGN.

**Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А.** Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне: современное состояние и новые подходы // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 10. С. 1484–1496. EDN: PEUGVM.

**Дядьков П.Г.** О модели подготовки землетрясения с зоной деформационной тени // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: Тезисы докладов IX Международной школы-семинара (г. Иркутск, 2–6 сентября 2013 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. С. 35.

**Дядьков П.Г., Кучай О.А., Михеева А.В., Романенко Ю.М.** Стадии подготовки Алтайского землетрясения (27.09.2003 г.,  $M_w = 7.3$ ) и связанные с ними изменения состояния сейсмогенной среды // Физическая мезомеханика. 2010. Т. 13, Спецвыпуск. С. 78–82. EDN:NQXIAJ.

**Дядьков П.Г., Кучай О.А., Романенко Ю.М., Джумагалиева З.С.** Деформации в Центрально-Американской зоне субдукции по данным механизмов очагов землетрясений и их особенности в районе землетрясения Чьяпас, Мексика, 2017 г.,  $M_w=8.2$  // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11, № 2. С. 320–333. doi:10.5800/GT-2020-11-2-0477. EDN:WNPLGL.

**Дядьков П.Г., Козлова М.П., Кулешов Д.А.** Паузы молчания перед Байкальскими землетрясениями // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 8 т. (г. Новосибирск, 17–19 мая 2023 г.). Новосибирск: СГУГиТ, 2023. Т. 2, № 3. С. 129–134. doi:10.33764/2618-981X-2023-2-3-129-134. EDN:CJWURV.

**Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В.** Вариации полей смещений и сейсмический режим Горного Алтая // Вулканология и сейсмология. 2024. № 4. С. 54–69. doi:10.31857/S0203030624040048. EDN:IXZTMS.

**Dyadkov P., Kozlova M., Mikheeva A., Tsibizov L.** Rigid blocks in the Earth's crust and strong earthquakes // The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia, 2017 (Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 July, 2017): Book Extended Abstracts. Ulaanbaatar, 2017. P. 59–62.

## REFERENCES

**Goldin S.V.** Dilatancy, repacking, and earthquakes // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2004. Vol. 40 (10). P. 817–832. EDN:LISSWR.

**Gol'din S.V., Kuchai O.A.** Seismic strain in the Altai-Sayan active seismic area and elements of collisional geodynamics // Russian Geology and Geophysics. 2007. Vol. 48 (7). P. 536–557. doi:10.1016/j.rgg.2007.06.005.

**Gol'din S.V., Dyad'kov P.G., Dashevskii Yu.A.** The South Baikal geodynamic test ground: new strategy of earthquake prediction // Russian Geology and Geophysics. 2001. Vol. 42 (10). P. 1405–1415.

**Dyadkov P.G.** On the model of earthquake preparation with a deformation shadow zone // Physics and forecasting of rock destruction: Abstracts of the IX International workshop (Irkutsk, September 2–6, 2013). IEC SB RAS, Irkutsk, 2013. P. 35. (In Russ.).

**Dyadkov P.G., Kuchay O.A., Mikheeva A.V., Romanenko Yu.M.** Preparation stages of the Altay earthquake of magnitude 7.3 in 2003 and attendant changes in the seismogenic environment // Physical Mesomechanics. 2010. Vol. 13, Special Issue. P. 78–82. (In Russ.).

**Dyadkov P., Kozlova M., Mikheeva A., Tsibizov L.** Rigid blocks in the Earth's crust and strong earthquakes // The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia, 2017 (Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 July, 2017): Book Extended Abstracts. Ulaanbaatar, 2017. P. 59–62.

**Dyadkov P.G., Kuchai O.A., Romanenko Yu.M., Dzhumagaliyeva Z.S.** Deformations in the Middle America Trench according to earthquake focal mechanisms and their features in the area of the 2017  $M_w$  8.2 Chiapas earthquake, Mexico // Geodynamics and Tectonophysics. 2020. Vol. 11 (2). P. 320–333. (In Russ.). doi:10.5800/GT-2020-11-2-0477.

**Dyadkov P.G., Kozlova M.P., Kuleshov D.A.** Silence pauses before the Baikal Earthquakes // InterExpo GEO-Siberia. XIX International Scientific Congress. International Scientific Conference "Subsoil Use. Mining. Directions and Technologies of Prospecting, Exploration, and Development of Mineral Deposits. Economics. Geoecology": Proceeding in 8 volumes (Novosibirsk, May 17–19, 2023). SSUGiT, Novosibirsk, 2023. Vol. 2 (3). P. 129–134. (In Russ.). doi:10.33764/2618-981X-2023-2-3-129-134.

**Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Timofeev A.V.** Variations of displacement fields and seismicity in the Mountainous Altai // Journal of Volcanology and Seismology. 2024. Vol. 18 (4). P. 351–365. doi: 10.1134/S0742046324700659. EDN:IXPFIU.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

*ДЯДЬКОВ Петр Георгиевич* – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН, доцент кафедры геофизики геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета. Основные научные интересы: изучение закономерностей процессов подготовки землетрясений по характеристикам сейсмического режима и результатам геомагнитного мониторинга.

*Статья поступила в редакцию 10 марта 2026 г.,  
одобрена после рецензирования 20 марта 2026 г.,  
принята к публикации 23 марта 2026 г.*