

# Наиболее перспективные применения распределенного акустического зондирования (DAS) в Российской геофизике



К.В. Кислов <sup>1</sup>

В.В. Гравиров <sup>1,2</sup>

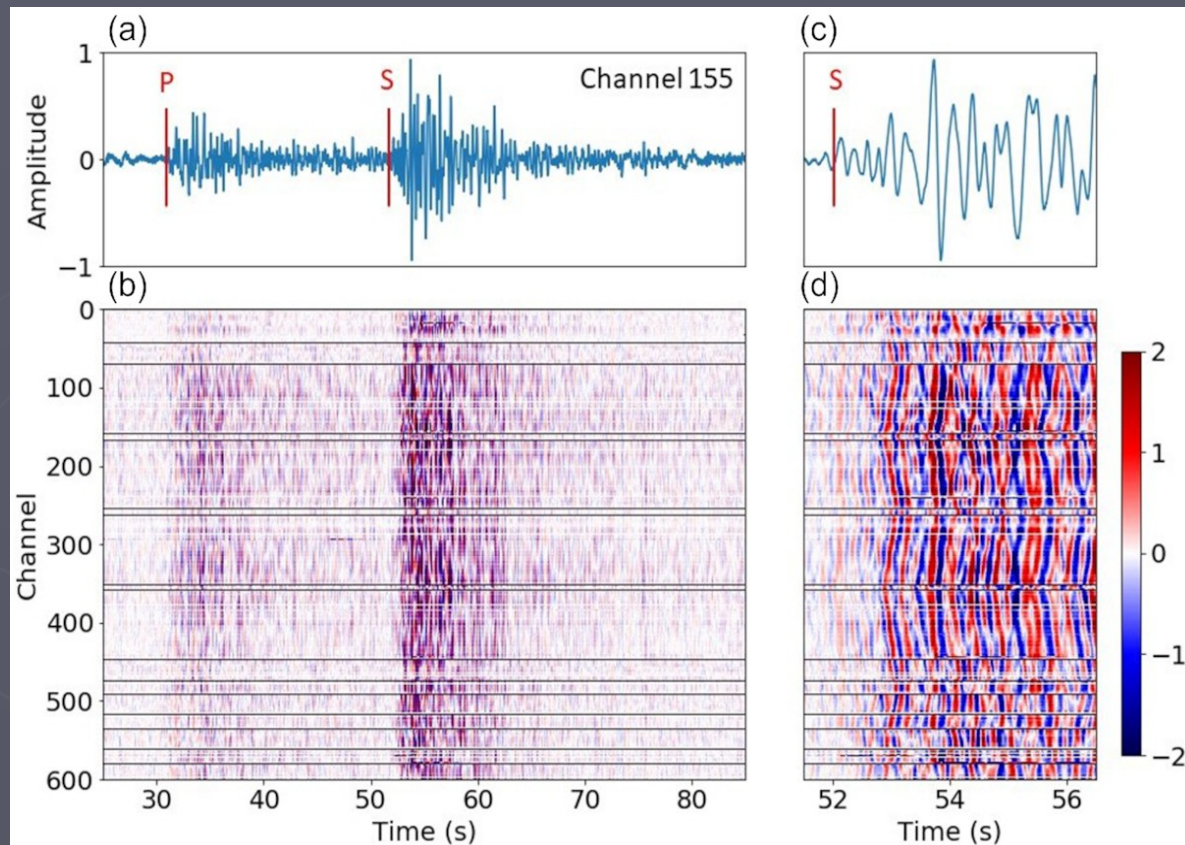
<sup>1</sup> Институт теории прогноза землетрясений и  
математической геофизики (ИТПЗ РАН)

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН)



# DAS system

Распределенное акустическое зондирование (DAS) – использование оптоволоконна в качестве линейного набора сейсмических инструментов.



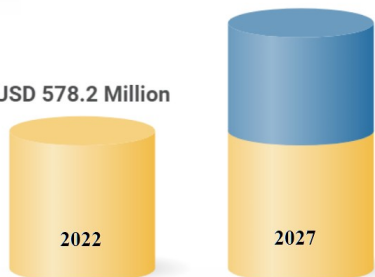
(a) Сигнал землетрясения ML3.6 в Гленвуд-Спрингс (Glenwood Springs ) 11.12.2018 г.,  $\Delta$ 183 км на канале 155 DAS. (б) Все каналы, пронумерованные вдоль оптоволоконного кабеля. Черные линии очерчивают каждый линейный сегмент в DAS [Luo, 2020].

## Global Distributed Acoustic Sensing (DAS) Market

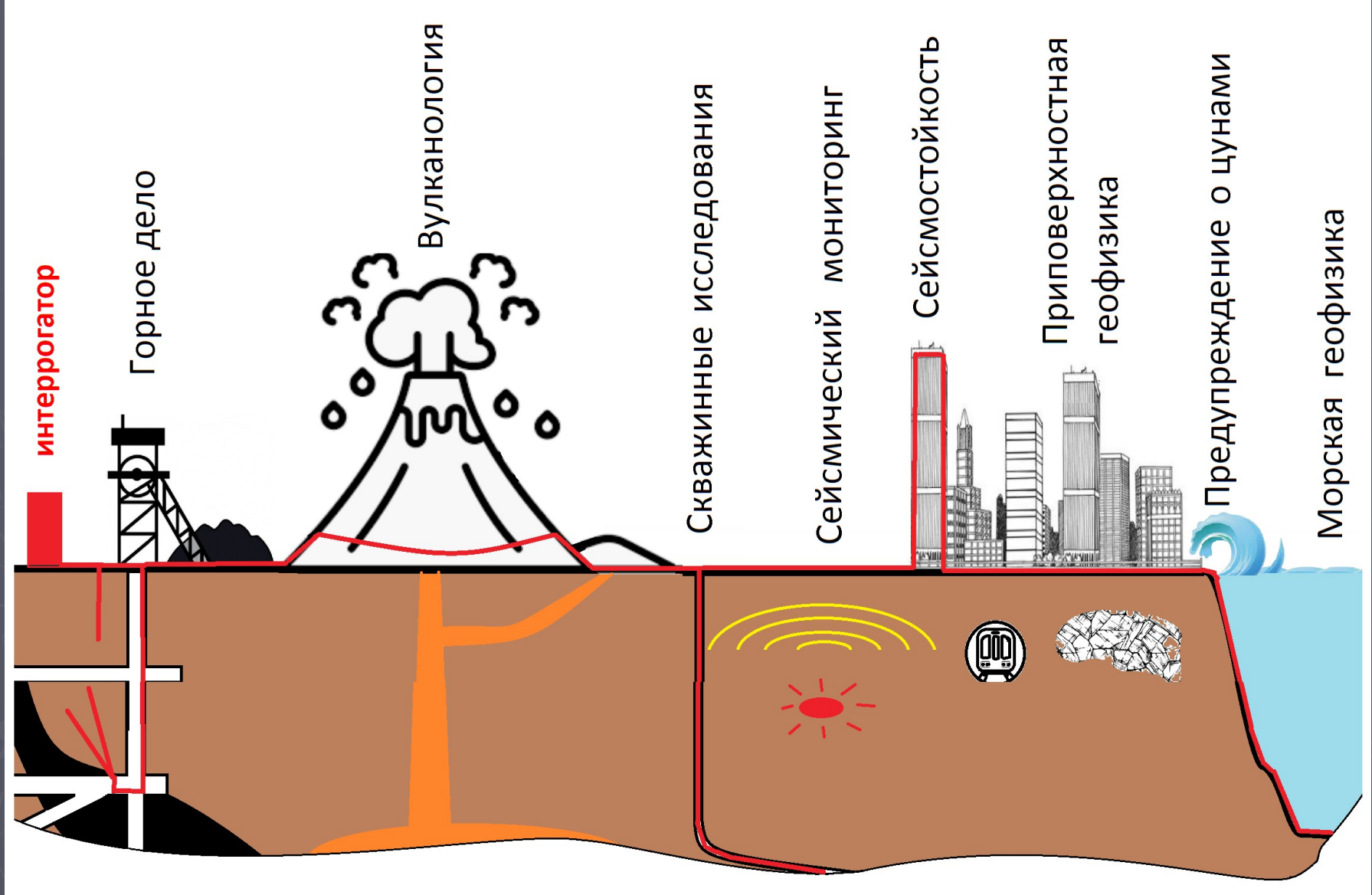
Market forecast to grow at a CAGR of 12.3%

USD 1,032.71 Million

USD 578.2 Million

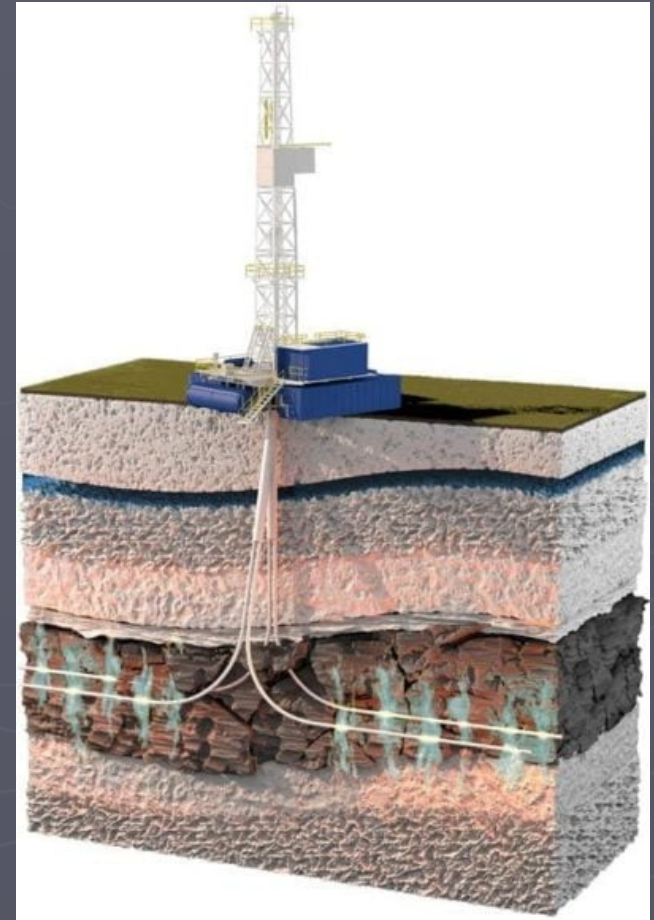


# Перспективные для России геофизические приложения DAS.

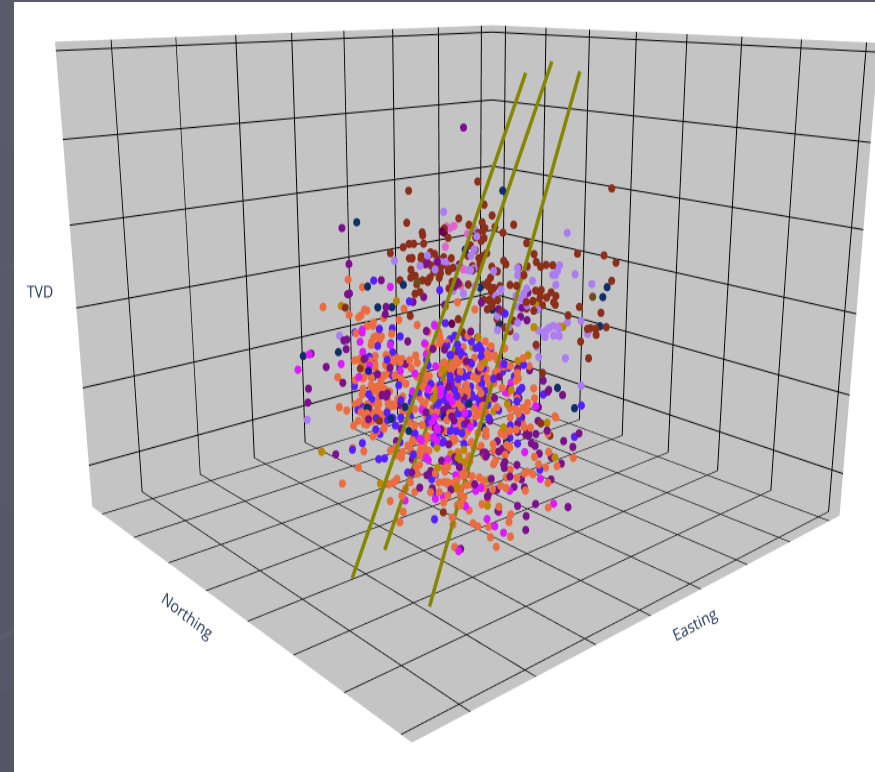
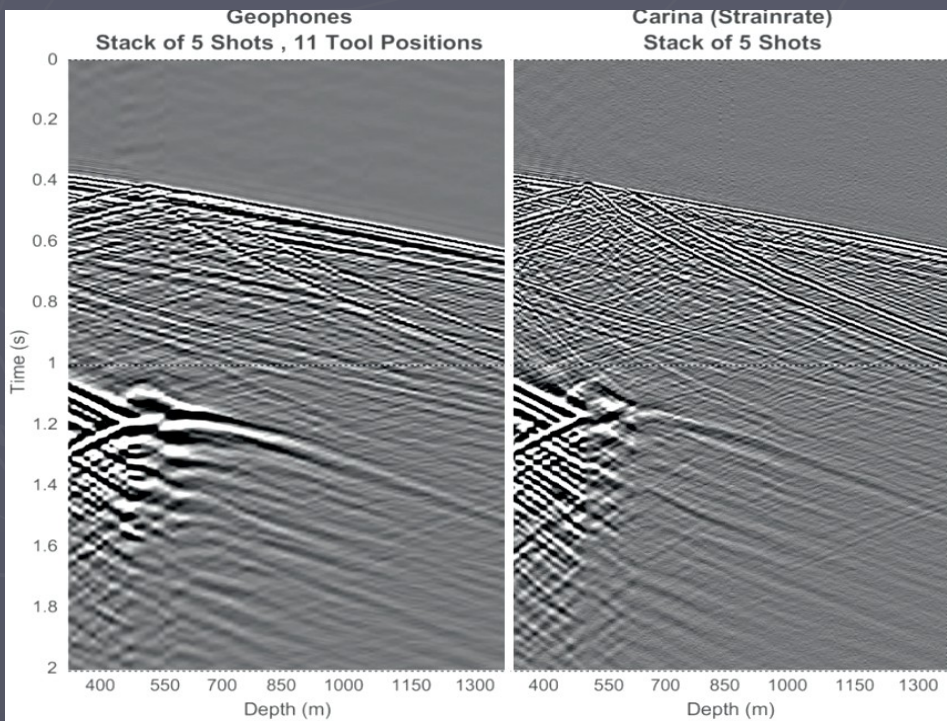


## Скважинные исследования

- ▶ возможность использования в режиме реального времени, (6 мин на получение данных вместо 7-20 часов по стандартной технологии);
- ▶ длительный срок службы оборудования;
- ▶ непрерывные измерения вдоль ствола скважины без перемещения оптоволоконного кабеля;
- ▶ возможность использования в горизонтальных и узких скважинах;
- ▶ возможность использования в эксплуатируемой скважине без задержки добычи;
- ▶ отсутствие электроники в скважине, которая должна работать при высоких температурах и давлениях, часто в агрессивной среде;
- ▶ оптический кабель дешев и может считаться расходным материалом; обычно нет необходимости извлекать его для повторного использования;
- ▶ уменьшаются операционные риски, т.к. требуется лишь однократная установка.



# Скважинные исследования



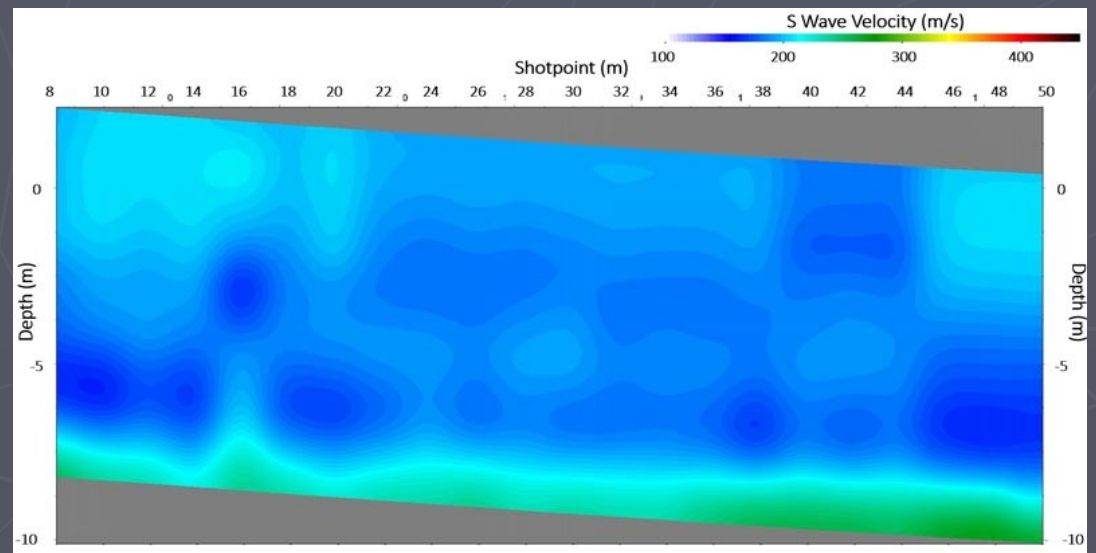
Образец картирования сейсмичности во время гидроразрыва пласта [Silixa.com]

Naldrett et al. (2020)

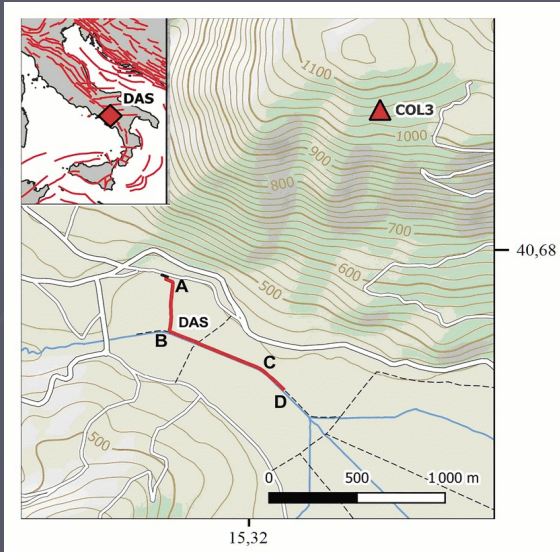
# Исследование приповерхностных структур

- ▶ сейсмическое микрорайонирование
- ▶ прослеживание кровли скального основания;
- ▶ определение уровня грунтовых вод и вызываемые этим оседания земли;
- ▶ картирование подземных пустот (пещер, карстовых полостей) и антропогенных структур (труб, туннелей, коммуникаций и т.д.);
- ▶ исследование и мониторинг вечной мерзлоты;
- ▶ наблюдение течения и деформации ледникового покрова
- ▶ определение характеристик площадок для строительства ответственных объектов;
- ▶ и др.

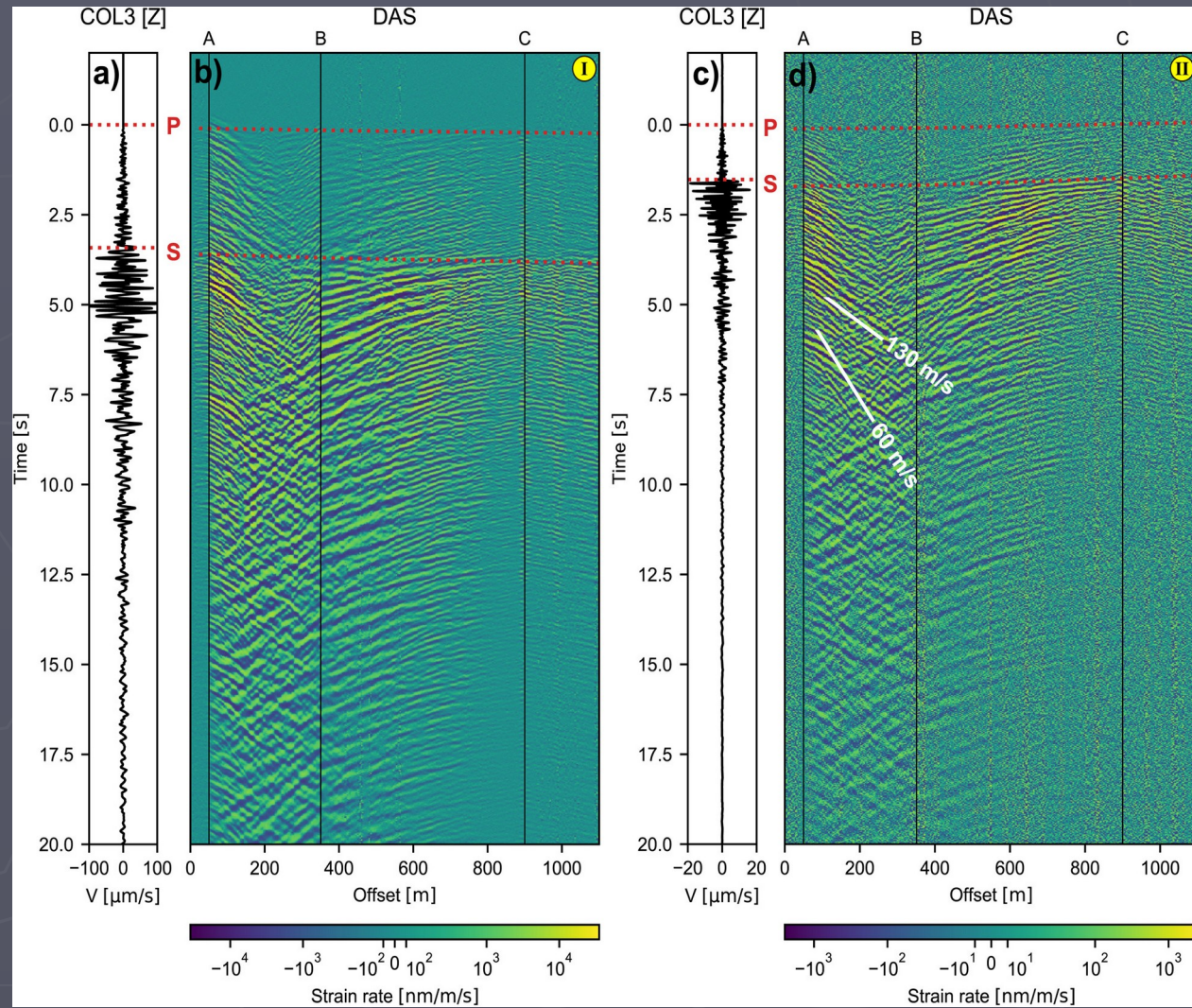
Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) [silixa.com]



# Исследование приповерхностных структур



[Trabattoni et al., 2022]



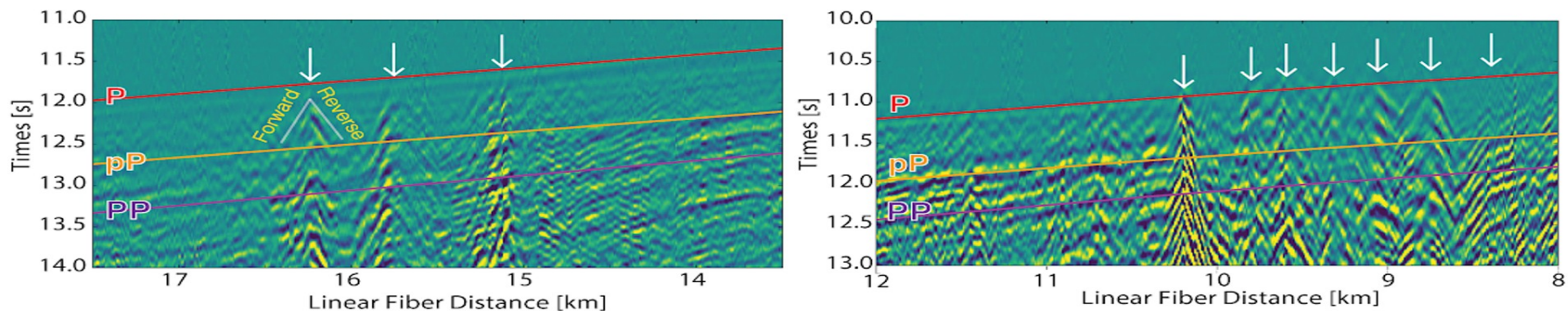
# Морская геофизика





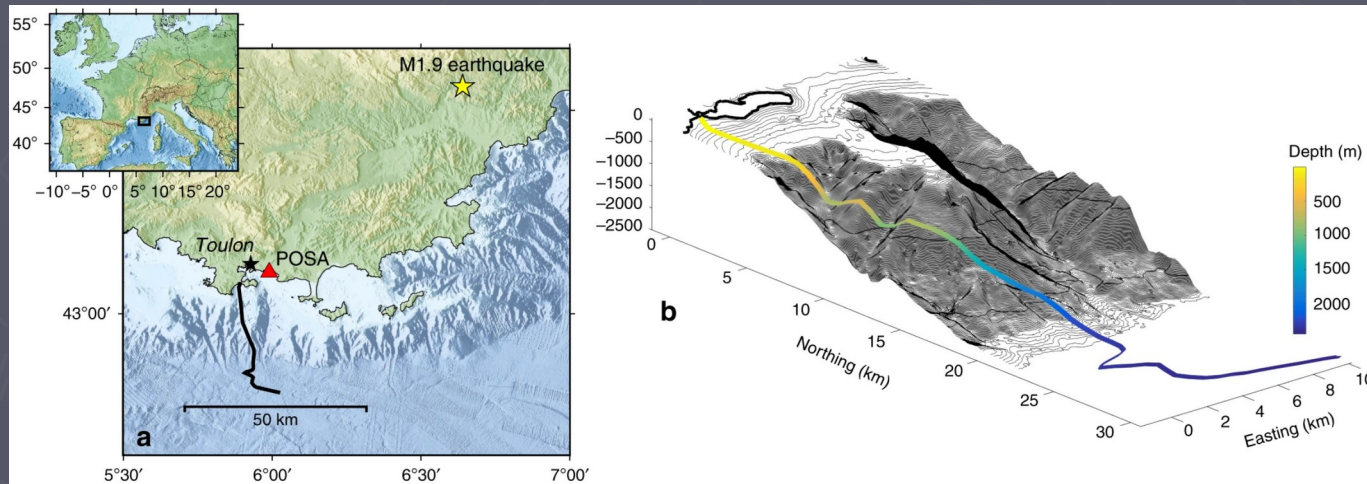
## Морская геофизика

- картирование подводных разломов и изучение их движений, обнаружение микросейсмических событий и запись удаленных землетрясений;
- измерение океанических течений, анализ океанических микросейсм и приливов;
- сейсморазведка;
- мониторинг морской критической инфраструктуры, картирование прокладки подводных кабелей, оценка мест под морское строительство;
- картирование распределения осадочных пород на шельфе, мониторинг подводных оползней, переносов наносов, динамики льда, береговой эрозии;
- изучение морских млекопитающих;
- мониторинг уровня шума;
- изучение вулканической активности;
- предупреждение о цунами;
- лоцирование кораблей и подводных лодок;
- содействие подводным археологическим исследованиям.



DAS на морском дне в заливе Монтерей. Землетрясение ( $M_w 3.4$ ; расстояние  $\sim 40$  км), которое показывает преобразования сейсмической фазы и задержки поперечных волн на 0,25 с на картированных и неизвестных подводных разломах [Lindsey, 2020].

# Морская геофизика

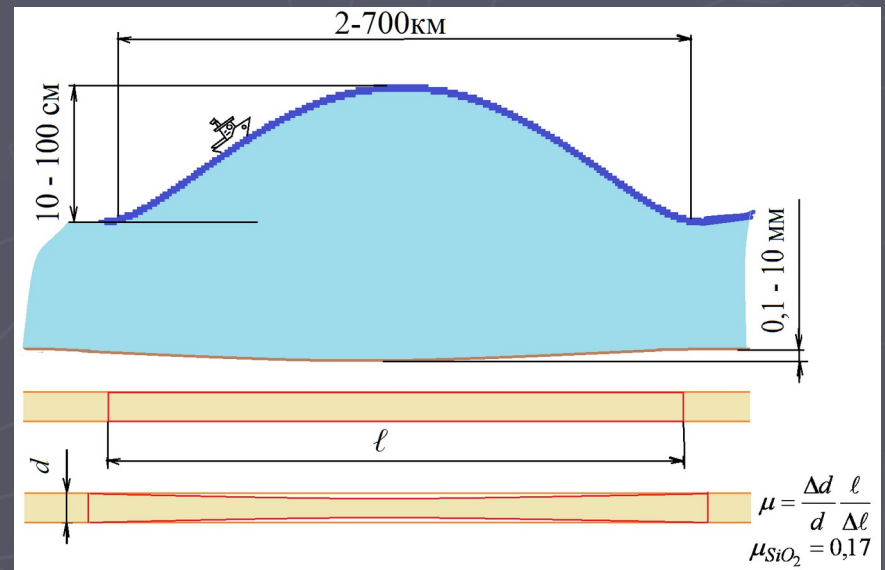


Волоконно-оптический кабель на берегу Тулона, Франция.

Оптическое волокно длиной 41,5 км пересекает несколько областей: мелководный континентальный шельф, крутой континентальный склон и глубокое морское дно [Sladen, 2019].

## Раннее предупреждение о цунами

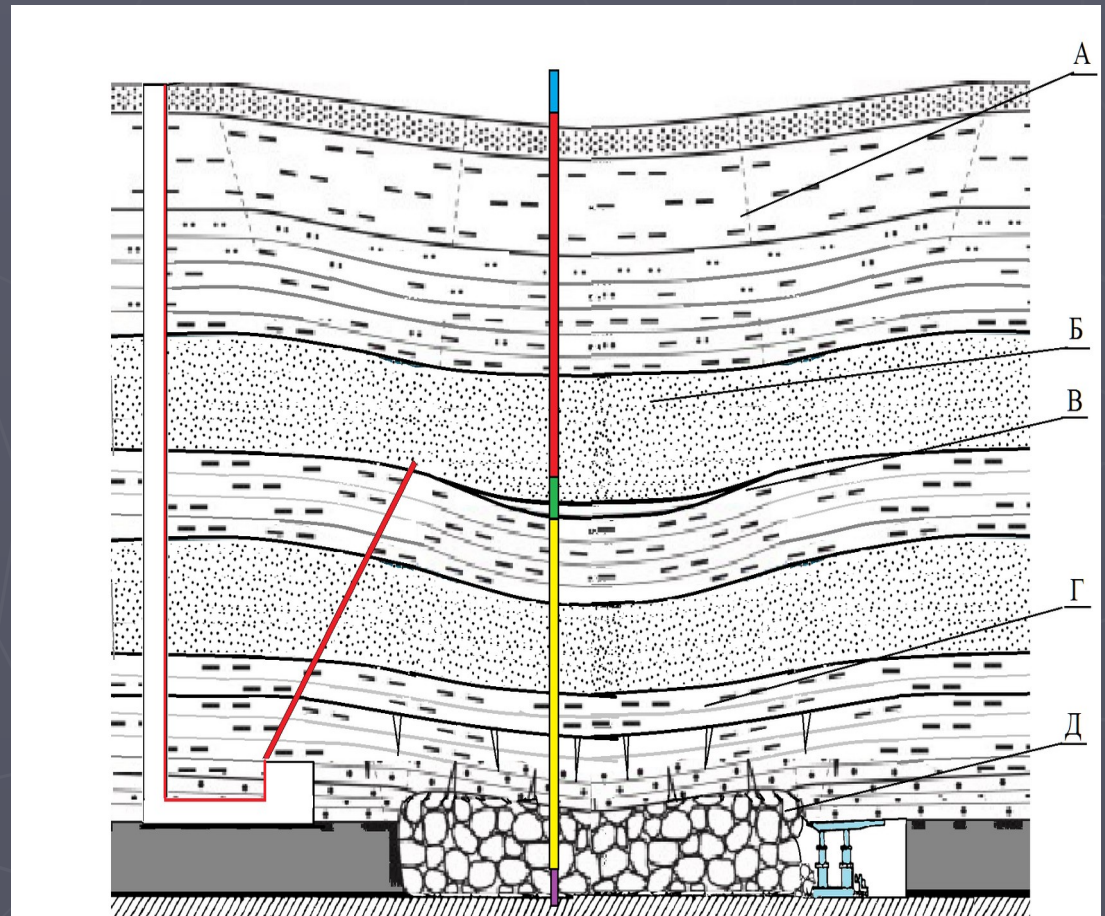
- детектирование и лоцирование цунамигенного землетрясения;
- придонные потоки, вызванные цунами, действующие на провисшие участки кабеля;
- изменение придонной температуры при прохождении цуами;
- пороупругие деформации в твердой земле, вызванные полем давления волны цунами;
- гидростатическое давление, действующее через эффект Пуассона.



# Горное дело

- обеспечение безопасности работ;
- контроль и прогнозирование деформации вскрышных пород и склонов;
- наблюдение за динамикой трещиноватой водопроницающей зоны;
- проведение подземных наблюдений за рудничным давлением;
- мониторинг состояния подземного дорожного полотна;
- мониторинг крепи;
- изучение устойчивости забоя;
- мониторинг проседания поверхности земли;
- мониторинг состояния пластов горных пород до, во время и после добычи;
- и т. д.

А - зона просадки,  
Б - Запирающий слой,  
В - зона раздела,  
Г - зона разрушения,  
Д - зона вторичного уплотнения



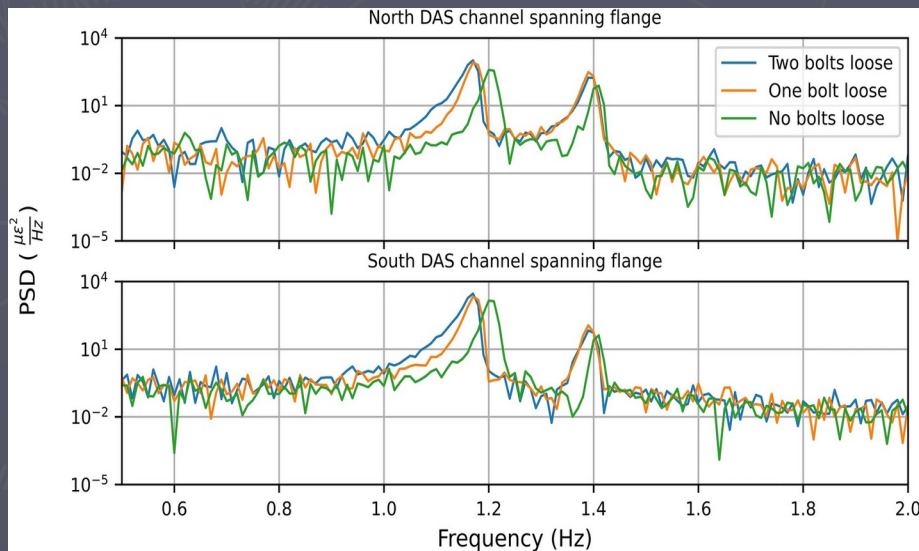
# Сейсмический мониторинг зданий и сооружений

Анализ состояний зданий и сооружений необходим для

- ▶ верификации норм проектирования зданий и сооружений, внесение в нормы необходимых поправок, особенно в части стойкости зданий к вращательным движениям;
- ▶ проверки соответствия действительных мод колебаний построенных зданий и сооружений, их частот и других характеристик проектным;
- ▶ отслеживания деградации зданий и сооружений;
- ▶ соответствия нормам информационного моделирования зданий (BIM);
- ▶ при раннем предупреждении для прогноза разрушений в объекте и для принятия решения об эвакуации, не дожидаясь физической проверки.

DAS позволяет

- ▶ определять собственные частоты колебаний сооружений,
- ▶ определять логарифмические декременты собственных колебаний,
- ▶ локализовать концентрации деформаций, вызванных повреждениями.



Спектры колебаний макета башни ветряной турбины при трех различных повреждениях по записям DAS [Hubbard et al., 2021].

# Вулканология

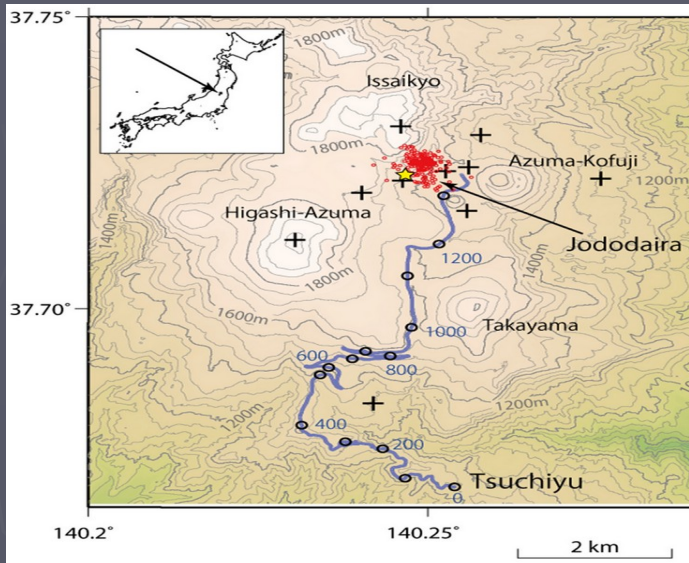
DAS позволяет  
детектировать землетрясения и  
определять магнитуду:  
лоцировать вулканические  
землетрясения;  
определять коэффициенты усиления  
приповерхностного слоя вдоль кабеля  
при помощи региональных  
тектонических землетрясений:  
записывать вторичные сейсмические  
волны на собственных частотах  
магматических структур и оценивать  
параметры структур.



Фото Кочеляевой Н.А.

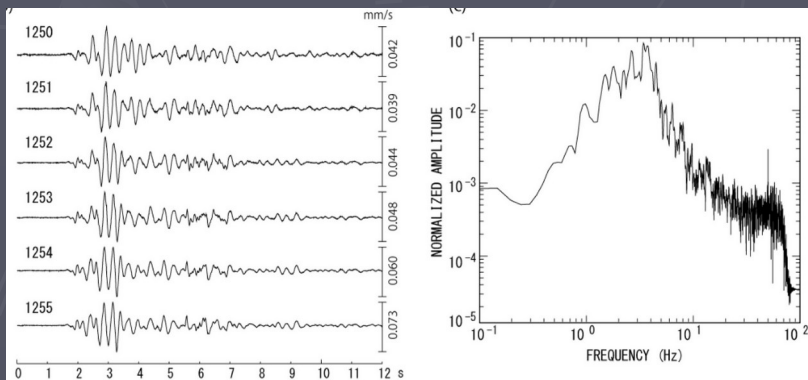
# Вулканология

Вулкан Адзума (Япония). Фиолетовая линия - кабель DAS, черные кресты - постоянные станции.

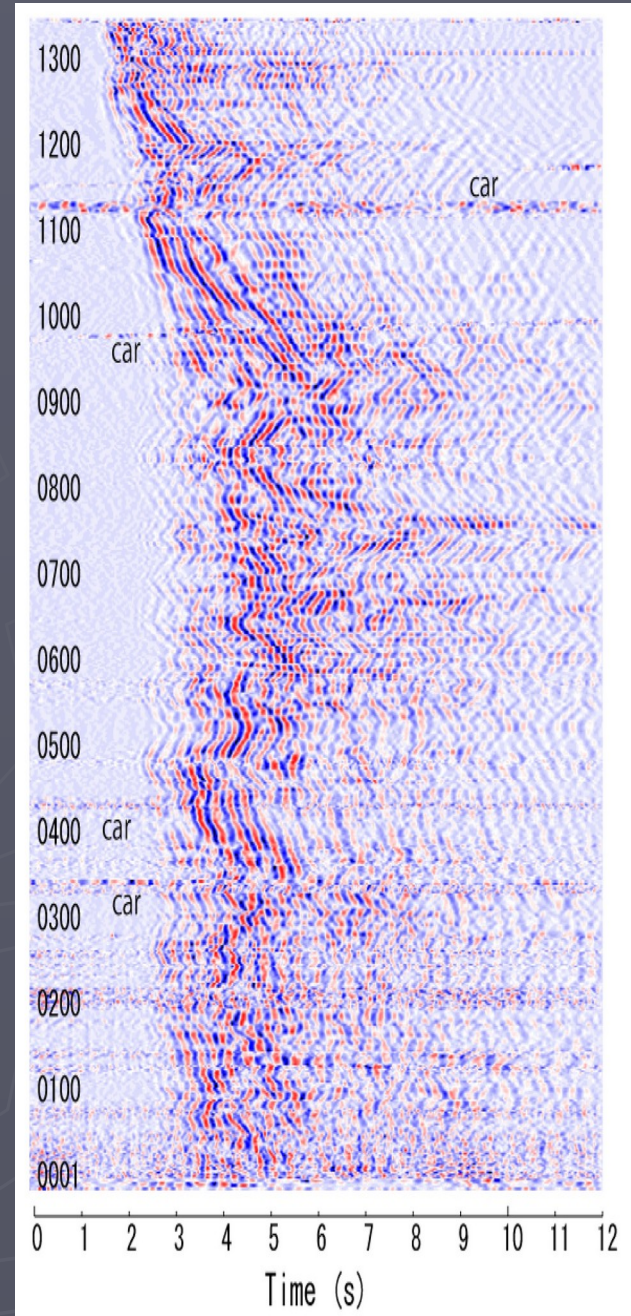


Вулканическое землетрясение 4 июля 2019 г. с магнитудой  $\sim -0,1$

Сейсмограммы в близлежащих точках.  
Амплитуды калибруются с помощью сейсмометра.  
Амплитудный спектр землетрясения.



[Nishimura et al., 2021]



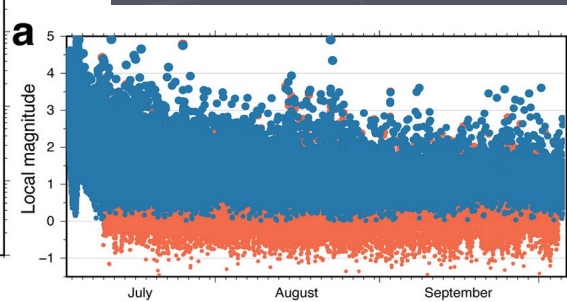
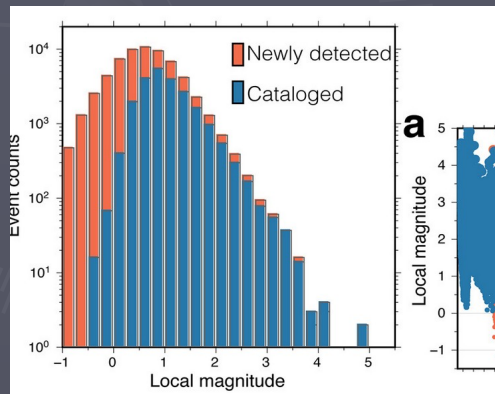
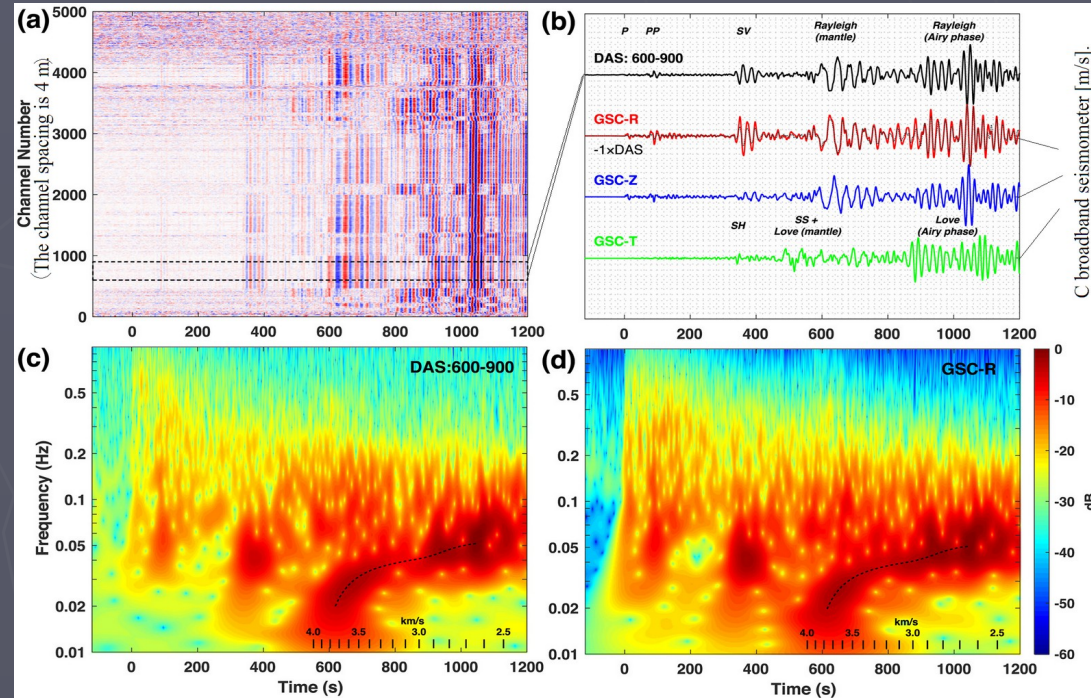
# Мониторинг сейсмичности

Широкий частотный диапазон позволяет применять DAS как для изучения локальной сейсмичности и сильных движений, так и при мониторинге региональных и телесеизмических явлений. Причем универсальность этого нового инструмента позволяет делать это одновременно на одной и той же системе DAS.

Землетрясение M7,5 в Гондурасе, 2018  
Сигналы сейсмометра GSC преобразуются в вертикальные, радиальные и тангенциальные компоненты. Сигналы подвергаются полосовой фильтрации в диапазоне от 0,01 до 2 Гц.

Спектрограммы деформации DAS и скорости радиальной компоненты сейсмометра соответственно.

[Yu, 2019].



Быстрое развертывание DAS после землетрясения в Риджкресте магнитудой 7,1, 2019 г. Временная последовательность афтершоков. Каталогизированные события (синие точки), обнаруженные DAS (красные точки). Распределение магнитуд синий – каталогизированные и красный – обнаруженные DAS события [Li, 2021]



ДАС позволяет:



широкополосные наблюдения;  
создание сейсмических сетей беспрецедентной  
плотность при использовании кабелей связи с темным  
волокном  
и специально разработанные кабели;  
создание сейсмических сетей в труднодоступных  
местах  
регион, в т.ч. в мегаполисах, на морском дне, на  
вулканы и ледники;  
быстрое развертывание сейсмических сетей путем  
подключение к существующим кабелям;  
постоянный мониторинг и разовые исследования.

Монтаж оптоволоконного  
кабеля для DAS (Фэрбенкс,  
Аляска) (Fairbanks, Alaska)  
[Wang H., 2019]

Дальнейшее развитие приведет к:

- ♣ увеличению рабочей длины линий DAS;
- ♣ снижению шума;
- ♣ разработке метрологических схем;
- ♣ развитию методов обработки больших данных.

Использование DAS требует некоторых усилий, связанных с доступом к инструментам, обучением, информационно-пропагандистской деятельностью и применением искусственного интеллекта.

Однако оно того стоит.

# Литература

- ▶ Алексеев А.Э., Черкашнев С.А. Волоконная когерентная рефлектометрия для геолого-геофизических исследований // [http://geovers.com/base/files/gr16/presentation/pr\\_27\\_2016\\_Cherkashnev.pdf](http://geovers.com/base/files/gr16/presentation/pr_27_2016_Cherkashnev.pdf) (последний просмотр 02.09.2023)
- ▶ Ильинский Д.А., Алексеев А.Э., Ганжа О.Ю., Симикин Д.Е., Оджа М. Использование волоконно-оптических линий связи фазочувствительным рефлектометром для регистрации сейсмических колебаний // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 4. С. 5–28. <https://doi.org/10.21455/si2020.4-1>
- ▶ Кислов К.В., Гравиров В.В. Вращательная сейсмология. Обзор достижений и перспектив // Сейсмические приборы. 2020 Т. 56, № 3. С. 5–25. <https://doi.org/10.21455/si2020.3-1>
- ▶ Кислов К.В., Гравиров В.В. Раннее предупреждение о землетрясении и сейсмический мониторинг отдельных объектов / XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Доклады и выступления. 2017 г. -М.: ФКУ Центр "Антистихия" МЧС России, 2017, С. 82–88. [http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/w5PgTGcnn5.pdf](http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/w5PgTGcnn5.pdf)
- ▶ Кислов К.В., Гравиров В.В. Распределенное акустическое зондирование: новый инструмент или новая парадигма // Сейсмические приборы. 2022. Т. 58, № 2. С. 5-38. <https://doi.org/10.21455/si2022.2-1>
- ▶ Кислов К.В., Гравиров В.В. Чем DAS полезен для нас / II Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные Методы Оценки Сейсмической Опасности и Прогноза Землетрясений». 2021. Тезисы докладов и программа конференции / Под ред. О.В. Селюцкой. Москва.: ИТПЗ РАН, 2021. С. 56—58. <https://www.itpz-ran.ru/wp-content/uploads/2021/11/2021-ITPZ-Conference-Abstracts.pdf>
- ▶ Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. Особенности глубинного строения зоны трещинных толбачинских извержений (камчатка, Ключевская группа вулканов) по комплексу геолого-геофизических данных // Физика Земли. 2018. № 3. С. 60-83. DOI: 10.7868/S0002333718030055
- ▶ Марченков А.Ю. Вибрационный мониторинг объектов гражданского строительства // В сборнике: Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий / Материалы V Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Майкопский государственный технологический университет». 2019. С. 34-35.
- ▶ Никитин С.П., Кислов К.В., Старовойт Ю.О., Бенгальский Д.М., Спиридонов Е.П., Харасов Д.Р., Фомиряков Э.А., Наний О.Е., Трещиков В.Н. Возможности и перспективы использования распределенных оптоволоконных датчиков в геофизике // Приборы и техника эксперимента. 2023. № 5. С. 153–158. DOI:10.31857/S0032816223050191

- ▶ Свод Правил СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с Изменением N 1). 2021. <http://docs.cntd.ru/document/550565571>
- ▶ Спиридонов Е.П., Никитин С.П., Кислов К.В., Старовойт Ю.О., Бенгальский Д.М., Наний О.Е., Трещиков В.Н. Предварительные результаты анализа сигналов, зарегистрированных распределенным акустическим сенсором в рамках международного эксперимента Global DAS Month / III Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» 25-26 октября 2023 года. ИТПЗ РАН. Москва, 2023.
- ▶ Чугаев А.В. Опыт применения распределенных оптоволоконных акустических датчиков соспиральным волокном для выполнения скважинных сейсмических исследований / 19-ая научно-практическая конференция и выставка "Инженерная и рудная геофизика 2023". 2023. Санкт-Петербург.
- ▶ Шнеерсон М.Б. Использование распределенных акустических сейсмических систем при скважинных ВСП // Экспозиция Нефть Газ. 2017. №1 (54). С. 24-25.
- ▶ Abadi S. Exploring the use of Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Ocean Acoustic Monitoring // Geophysics Working Group. DAS RCN WEBINAR. Exploring the use of Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Ocean Acoustic Monitoring - Shima Abadi – YouTube. Exploring the use of Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Ocean Acoustic Monitoring - Shima Abadi - YouTube (последний просмотр 22.09.2023)
- ▶ Abbott R.E., Mellors R., Pitarka A. Distributed acoustic sensing observations and modeling of the DAG series of chemical explosions / CTBT: Science and Technology. Vienna, Austria 2019. T2.3-P12.
- ▶ Aimar M., Cox B.R., Foti S. Surface Wave Testing with Distributed Acoustic Sensing Measurements to Estimate the Shear-Wave Velocity and the Small-Strain Damping Ratio // Geotechnical Engineering in the Digital and Technological Innovation Era. CNRIG 2023 / Eds: Ferrari, A., Rosone, M., Zicarelli, M., Gottardi, G. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham. 2023. P. 145–152 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-34761-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34761-0_18)
- ▶ Ajo-Franklin J.B., Dou S., Lindsey N.J., Monga I., Tracy C., Robertson M., Tribaldos V.R., Ulrich C., Freifeld B., Daley T., Li X. Distributed Acoustic Sensing Using Dark Fiber for Near-Surface Characterization and Broadband Seismic Event Detection // Sci Rep. 2019. V. 9. 1328. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36675-8>
- ▶ Alekseev A.E., Gorshkov B.G., Il'inskii D.A., Potapov V.T., Simikin D.E., Taranov M.A. Application of a Distributed Acoustic Sensor for Seismic Surveys in Shallow Waters With Fiber-Optic Bottom-Laid Streamer // Instrum Exp Tech. 2023. V. 66. P. 849–853. <https://doi.org/10.1134/S0020441223050032>
- ▶ Alfataierge E., Aldawood A., Bakulin A., Stewart R., Merry H. Influence of gauge length on DAS VSP data at the Houston Research Center Test Well / 90th Annual International Meeting, SEG. 2020. Expanded Abstracts. P. 505–509. <https://doi.org/10.1190/segam2020-3419066>

- ▶ Allegra M., Currenti G., Cannavò F., Jousset P., Prestifilippo M., Napoli R., Sciotto M., Di Grazia, G., Privitera E., Palazzo S., Krawczyk C. Deep learning approach for detecting low frequency events on DAS data at Vulcano Island, Italy / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. EGU23-16459. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16459>
- ▶ Aung T.L., Ma N., Kishida K., Guzik A. Advanced Structural Health Monitoring Method by Integrated Isogeometric Analysis and Distributed Fiber Optic Sensing // *Sensors*. 2021. V. 21(17)P. 5794. <https://doi.org/10.3390/s21175794>
- ▶ Baba S., Araki E., Yamamoto Y., Hori T., Fujie G., Nakamura Y., Yokobiki T., Matsumoto H. Observation of shallow slow earthquakes by distributed acoustic sensing using offshore fiber-optic cable in the Nankai Trough, southwest Japan // *Geophysical Research Letters*. 2023. V. 50. e2022GL102678. <https://doi.org/10.1029/2022GL102678>
- ▶ Baillet M., Trabattoni A., Van Den Ende M., Vernet C., Rivet D. A workflow to generate DAS based earthquake catalog, applied to an offshore telecommunication cable in central Chile / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. 24-28 Apr 2023. EGU23-11782. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11782>
- ▶ Barrancos J., D'Auria L., Garcia F.A., Preciado-Garbayo J., Perez C.I., van Dorth M.D., Padilla G.D., Przeor M., Ortega V., Perez N.M. Characterization of the volcanic tremor during the 2021 Tajogaite eruption (La Palma, Canary Islands) through Distributed Acoustic Sensing / XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). 2023. Berlin. <https://doi.org/10.57757/IUGG23-2766>
- ▶ Barrias A., Casas J.R., Villalba S. A Review of Distributed Optical Fiber Sensors for Civil Engineering Applications // *Sensors*. 2016. V. 16(5). 748. <https://doi.org/10.3390/s16050748>
- ▶ Becerril C. Detection of tsunami early-warning with distributed acoustic sensing / Geophysics Working Group. DAS RCN WEBINAR. <https://www.youtube.com/watch?v=aBaRaw9NzmU&list=PLGQwSTwiUcKwmEmmNpMJ2JQVxGHlKyyTY&index=5> (последний просмотр 24.09.2023)
- ▶ Becerril C., Vidal-Moreno P.J., Sladen A., Ampuero J.-P., Gonzalez-Herraez M. Towards Tsunami Early-Warning with Distributed Acoustic Sensing (DAS) / AGU Fall Meeting 2022. Chicago. IL. 2022. id. S16A-07. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022AGUFM.S16A..07B/abstract>
- ▶ Biagioli F., Metaxian J.-P., Stutzmann E., Ripepe M., Trabattoni A., Bernard P., Longo R., Diana G., Innocenti L., Capdeville Y., Bouin M.-P., Lacanna G. Using Distributed Acoustic Sensing to Monitor and Investigate Eruptive Events at Stromboli Volcano, Italy / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. EGU23-3955. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-3955>
- ▶ Borodin I., Segal A. Real-time hydraulic fracture monitoring and wellbore characterization with distributed acoustic sensing of pumping noise // *Lead. Edge*. 2020. V. 39. P. 785–792. <http://dx.doi.org/10.1190/tle39110785.1>
- ▶ Bouffaut L., Taweasantanon K., Kriesell H.J., Rorstadbotnen R., Potter J. R., Landro M., Johansen S.E., Brenne J.K., Haukanes A., Schjelderup O., Storvik F. Eavesdropping at the speed of light: Distributed acoustic sensing of baleen whales in the Arctic // *Frontiers in Marine Science*. 2022. V. 9. 901348. DOI: 10.3389/fmars.2022.901348
- ▶ Bu P., Li Y., Li B., Wang X., Zhang Y., Xu Z. Study on stress-deformation mechanism of concrete face rockfill dam based on centrifugal model test // *Measurement*. 2023. V. 216. 112973. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112973>
- ▶ Chai J., Ouyang Y., Liu J., Zhang D., Du W. Experimental evaluation of precise monitoring of multi-scale deformation failure of rock mass based on distributed optical fiber // *Measurement*. 2022. V. 199. 111381. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111381>

- ▶ Chen S., Wang J., Zhang C., Li M., Li N., Wu H., Liu Y., Peng W., Song Y. Marine Structural Health Monitoring with Optical Fiber Sensors: A Review // *Sensors*. 2023. V. 23(4). 1877. <https://doi.org/10.3390/s23041877>
- ▶ Cheng F., Chi B., Lindsey N.J., Dawe T.C., Ajo-Franklin J.B. Utilizing distributed acoustic sensing and ocean bottom fiber optic cables for submarine structural characterization // *Sci Rep*. 2021. V. 11, 5613. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84845-y>
- ▶ Cheng F., Ajo-Franklin J.B., Tribaldos V.R. High-resolution near-surface imaging at the basin scale using dark fiber and distributed acoustic sensing: Towards site effect estimation in urban environments // *JGR Solid Earth*. 2023. e2023JB026957. <https://doi.org/10.1029/2023JB026957>
- ▶ Chugaev A.V., Kuznetsov A.I. Evaluation of the Capabilities of Distributed Acoustic Sensing with a Helical Fiber for Cross-Well Seismic Survey // *Instrum Exp Tech*. 2023. V. 66. P. 868–874. <https://doi.org/10.1134/S0020441223050081>
- ▶ Chugaev A.V., Tarantin M.V. Amplitude-frequency response of a helically-wound fiber distributed acoustic sensor (DAS). *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023. V. 8(1). P. 13–21. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-10>
- ▶ Cunningham E., Lord N., Fratta D., Chavarria A., Thurber C., Wang H. Three-dimensional Distributed Acoustic Sensing at the Sanford Underground Research Facility // *Geophysics*. 2023. 0. P. 1-47. <https://doi.org/10.1190/geo2023-0079.1>
- ▶ Currenti G., Allegra M., Cannavò F., Jousset P., Prestifilippo M., Napoli R., Sciotto M., Di Grazia G., Privitera E., Palazzo S., Krawczyk C. Distributed dynamic strain sensing of very long period and long period events on telecom fiber-optic cables at Vulcano, Italy // *Sci Rep*. 2023. V. 13. 4641. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31779-2>
- ▶ Czarny R., Zhu T., Shen J. Spatiotemporal evaluation of Rayleigh surface wave estimated from roadside dark fiber DAS array and traffic noise // *Seismica*. 2023. V. 2(2). <https://doi.org/10.26443/seismica.v2i2.247>
- ▶ Dahm T., Sens-Schönfelder Ch., Milkereit C., Isken M., Cesca S., Yuan X., Tilmann F., Pilz M., Cotton F., Woith H., Hensch M., Schmidt B., Knappmeyer-Endrun B., Meier T., Eckel F., de Siena L., van Camp M., Lecocq Th., Oth A., Deng Z. A large-N passive seismological experiment to unravel the structure and activity of the transcrustal magma system of the Eifel Volcanic Field / EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria. EGU23-2590, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2590>
- ▶ Diaz-Meza S, Jousset P, Currenti G, Wollin C, Krawczyk C, Clarke A, Chalari A. On the Comparison of Records from Standard and Engineered Fiber Optic Cables at Etna Volcano (Italy) // *Sensors*. 2023. V. 23(7). 3735. <https://doi.org/10.3390/s23073735>
- ▶ Distributed acoustic sensing in geophysics : methods and applications / Eds: Y. Li, M. Karrenbach, J.B. Ajo-Franklin. Hoboken, UDA.: John Wiley & Sons, 2021. 301 p. DOI: 10.1002/9781119521808
- ▶ Douglass A.S., Abadi S., Lipovsky B.P. Distributed Acoustic Sensing for detecting near surface hydroacoustic signals // *ESS Open Archive*. March 16, 2023. DOI: 10.22541/essoar.167898509.99481098/v1
- ▶ Du W., Chai J., Zhang D., Ouyang Y., Liu Y. Study on Quantitative Characterization of Coupling Effect between Mining-Induced Coal-Rock Mass and Optical Fiber Sensing // *Sensors*. 2022. V. 22(13). 5009. <https://doi.org/10.3390/s22135009>
- ▶ Eaid M.V., Keating S.D., Innanen K.A., Macquet M., Lawton D. Field assessment of elastic full waveform inversion of combined accelerometer and distributed acoustic sensing data in a vertical seismic profile configuration // *Geophysics*. 2023. 68 p. <https://doi.org/10.1190/geo2023-0066.1>

- ▶ Ehsaninezhad L., Wollin C., Schwarz B., Krawczyk C. Coherence-based Amplification of Rayleigh Waves from Urban Anthropogenic Noise recorded with Distributed Acoustic Sensing / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. 2023. EGU23-12740. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12740>
- ▶ Fang G., Li Y.E., Zhao Y., Martin E.R. Urban near-surface seismic monitoring using distributed acoustic sensing // Geophys. Res. Lett. 2020. V. 47. e2019GL086115. <https://doi.org/10.1029/2019GL086115>
- ▶ Fenta M.C., Potter D.K., Szanyi J. Fibre Optic Methods of Prospecting: A Comprehensive and Modern Branch of Geophysics // Surv Geophys. 2021. V. 42. P. 551-584. <https://doi.org/10.1007/s10712-021-09634-8>
- ▶ Fernandez-Ruiz M.R., Martins H.M.S., Williams E.F., Becerril C., Magalhães R., Costa L., Martin-Lopez S., Jia S., Zhan Z., Gonzalez-Herraez M. Seismic Monitoring With Distributed Acoustic Sensing From the Near-Surface to the Deep Oceans // Journal of Lightwave Technology. 2022. V. 40(5) P. 1453-1463. doi: 10.1109/JLT.2021.3128138.
- ▶ Flores D.M., Mercerat E.D., Ampuero J.P., Rivet D., Sladen A. Identification of two vibration regimes of underwater fibre optic cables by distributed acoustic sensing // Geophysical Journal International. 2023a. V. 234(2). P. 1389-1400. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad139>
- ▶ Flores D.M., Sladen A., Ampuero J.-P., Mercerat E.D., Rivet D. Monitoring deep Sea currents with seafloor distributed acoustic sensing // Earth and Space Science. 2023b. V. 10(6). e2022EA002723. <https://doi.org/10.1029/2022EA002723>
- ▶ Glišić B., Inaudi D. Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring. John Wiley & Sons, Ltd. 2007. 262p. DOI:10.1002/9780470517819
- ▶ Gonzalez-Herraez M., Fernandez-Ruiz M.R., MagalhaesR., CostaL., MartinsH.F., Garcia-Ruiz A., Martin-Lopez S., Williams E., Zhan Z., Vantillo R. Distributed acoustic sensing in seismology // Optical Fiber Sensors Conference 2020 Special Edition / Eds.: G. Cranch, A. Wang, M. Digonnet, and P. Dragic. OSA Technical Digest (Optica Publishing Group, 2020), paper Th2.1. <https://opg.optica.org/abstract.cfm?URI=OFS-2020-Th2.1>
- ▶ Gorshkov B.G., Yüksel K., Fotiadi A.A., Wuilpart M., Korobko D.A., Zhirnov A.A., Stepanov K.V., Turov A.T., Konstantinov Y.A., Lobach I.A. Scientific Applications of Distributed Acoustic Sensing: State-of-the-Art Review and Perspective // Sensors. 2022. V. 22(3). 1033. <https://doi.org/10.3390/s22031033>
- ▶ Grimm J., Poli P., Jousset P. Detecting seismo-volcanic events based on inter-channel coherency of a DAS cable / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. EGU23-9089. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-9089>.
- ▶ Guerin G., Rivet D. Using localized microseismic noise sources to perform high-resolution seismic Imaging of seafloor using Distributed Acoustic Sensing / EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria. 2023. EGU23-16640. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16640>
- ▶ Hu T., Hou G., Li Z. The Field Monitoring Experiment of the Roof Strata Movement in Coal Mining Based on DFOS // Sensors. 2020. V. 20(5). 1318. <https://doi.org/10.3390/s20051318>
- ▶ Hubbard P.G., Xu J., Zhang S., Dejong M., Luo L., Soga K., Papa C., Zulberti C., Malara D., Fugazzotto F., Lopez F.G., Minto C. Dynamic structural health monitoring of a model wind turbine tower using distributed acoustic sensing (DAS) // J Civil Struct Health Monit. 2021. V. 11. P. 833–849. <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00483-y>

- ▶ Hull R., Meek R., Bello H., Woller K., Wagner J. Monitoring horizontal well hydraulic stimulations and geomechanical deformation processes in the unconventional shales of the Midland Basin using fiber-based time-lapse VSPs, microseismic, and strain data // *Lead. Edge*. 2019. V. 38(2). P. 82–168. <https://doi.org/10.1190/tle38020130.1>
- ▶ Ichikawa M., Uchida S., Katou M., Kurosawa I., Tamura K., Kato A., Ito Y., De Groot M., Hara S. Case study of hydraulic fracture monitoring using multiwell integrated analysis based on low-frequency DAS data // *Geophysics*. 2020. V. 39. P. 794–800. <http://dx.doi.org/10.1190/tle39110794.1>
- ▶ Ide S., Araki E., Matsumoto H. Very broadband strain-rate measurements along a submarine fiber-optic cable off Cape Muroto, Nankai subduction zone, Japan // *Earth Planets Space*. 2021. V. 73. 63. <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01385-5>
- ▶ Jiajing L., Zhaoyong W., Bin L., Xiao W., Luchuan L., Qing Y., Ronghui Q., Haiwen C. Distributed acoustic sensing for 2D and 3D acoustic source localization // *Opt. Lett.* 2019. V. 44. P. 1690-1693. <https://opg.optica.org/ol/abstract.cfm?URI=ol-44-7-1690>
- ▶ Jiang W., Lin J., Liu B., Zhang R., Zhang B., Yang Z., Gu Y. Distributed acoustic sensing for shallow structure imaging using mechanical noise: A case study in Guangzhou, China // *Journal of Applied Geophysics*. 2023. 105139. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105139>
- ▶ Jousset, P., Currenti, G., Schwarz, B., Chalari, A., Tilmann, F., Reinsch, T., Zuccarello, L., Privitera, E., Krawczyk, C.M. Fibre optic distributed acoustic sensing of volcanic events // *Nat Commun*. 2022. V. 13. 1753. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29184-w>
- ▶ Jousset P., Currenti G., Murphy S., Diaz Meza S.A., Napoli R., Gutscher M.-A., Riccobene G., Bonacorso A., Leto G., Aurnia S. Distributed fiber optic sensing observations at Etna volcano, Italy: An integrated vision / XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). Berlin 2023. <https://doi.org/10.57757/IUGG23-4747>
- ▶ Karamzadeh T.N., Gao Y.-J., Azzola J., Forbriger T., Widmer-Schmid R., Gaucher E., Rietbrock A. Local earthquake recordings using Distributed Acoustic Sensing (DAS) at BFO / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. 24–28 Apr 2023. EGU23-16307. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16307>, 2023.
- ▶ Kimura T. Potential for real-time Tsunami Monitoring using DAS Technology / JpGU-AGU Joint Meeting 2017. H-DS16-P01. <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpuguagu2017/subject/HDS16-P01/advanced>
- ▶ Kislov K., Gravirov V. Seismic Signals and Wind Noise / CTBT S and T. 2013. T1-P51. [https://www.researchgate.net/publication/275213927\\_Seismic\\_Signals\\_and\\_Wind\\_Noise](https://www.researchgate.net/publication/275213927_Seismic_Signals_and_Wind_Noise)
- ▶ Kislov K.V., Gravirov V.V. Acquisition of Seismological Data Using Fiber Optic Communication Lines / XIV школа-конференция с международным участием "Problems of Geocosmos–2022", Санкт-Петербург, Россия, 2022. GC2022-SG008
- ▶ Kiyashchenko D., Mateeva A., Duan Y., Johnson D., Pugh J., Geisslinger A., Lopez J. Frequent 4D monitoring with DAS 3D VSP in deep water to reveal injected water-sweep dynamics // *The Leading Edge*. 2020. V. 39 (7). P. 471-479. doi: <https://doi.org/10.1190/tle39070471.1>

- ▶ Landrø M. Using DAS-fibres at ocean floor and lunar surface / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. 2023. EGU23-2091. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2091>
- ▶ Landrø M., Bouffaut L., Kriesell, H.J., Potter J.R., Rørstadbotnen R.A., Taweessintananon K., Johansen S.E., Brenne J.K., Haukanes A., Schjelderup O., Storvik F. Sensing whales, storms, ships and earthquakes using an Arctic fibre optic cable // *Sci Rep.* 2022. V. 12. 19226. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23606-x>
- ▶ Lellouch A., Biondi B.L. Seismic Applications of Downhole DAS // *Sensors.* 2021. V. 21(9). 2897. <https://doi.org/10.3390/s21092897>
- ▶ Lellouch A., Yuan S., Spica Z., Biondi B., Ellsworth W.L. Seismic velocity estimation using passive downhole distributed acoustic sensing records: Examples from the San Andreas Fault Observatory at Depth // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth.* 2019. V. 124. P. 6931-6948. <https://doi.org/10.1029/2019JB017533>
- ▶ Li J., Kim T., Lapusta N., Biondi E., Zhan Z. The break of earthquake asperities imaged by distributed acoustic sensing // *Nature.* 2023. V. 620. P. 800-806. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06227-w>
- ▶ Li Z., Shen Z., Yang Y., Williams E., Wang X., Zhan Z. Rapid response to the 2019 Ridgecrest earthquake with distributed acoustic sensing // *AGU Advances.* 2021. V. 2. e2021AV000395. <https://doi.org/10.1029/2021AV000395>
- ▶ Lindsey N., Martin, E.R., Dreger D.S., Freifeld B., Cole S., James S.R., Biondi B.L. Ajo-Franklin J.B. (). Fiber-optic network observations of earthquake wavefields // *Geophysical Research Letters.* 2017. V. 44. P. 11792–11799. <https://doi.org/10.1002/2017GL075722>
- ▶ Lindsey N.J., Rademacher H., Ajo-Franklin J.B. On the broadband instrument response of fiber-optic DAS arrays // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* 2020. V. 125(2). e2019JB018145. <https://doi.org/10.1029/2019JB018145>
- ▶ Lior I., Sladen A., Rivet D., Ampuero J.-P., Hello Y. M., Lamare P., Jestin C., Tsagkli S., Markou C. On the detection capabilities of underwater DAS // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* 2020. Open Archive AID. <https://doi.org/10.1002/essoar.10504330.1>
- ▶ Lior I., Sladen A., Mercerat D., Ampuero J.-P., Rivet D., Sambolian S. Strain to Ground Motion Conversion of DAS Data for Earthquake Magnitude and Stress Drop Determination // *Solid Earth.* Preprint. Discussion started. 2021a. <https://doi.org/10.5194/se-2020-219>
- ▶ Lior I., Sladen A., Rivet D., Ampuero J.-P., Hello Y., Becerril C., Martins H.F., Lamare P., Jestin C., Tsagkli S., Markou C. On the Detection Capabilities of Underwater Distributed Acoustic Sensing // *Journal of Geophysical Research : Solid Earth.* 2021b. V. 126(3). pp.e2020JB020925. 10.1029/2020jb020925. hal-03229358v2
- ▶ Lior I., Rivet D., Ampuero J.-P., Sladen A., Barrientos S., Sánchez-Olavarría R., Villarroel Opazo G.A., Bustamante Prado J.A. Magnitude Estimation and Ground Motion Prediction to Harness Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing for Earthquake Early Warning / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. 24–28 Apr 2023. EGU23-13803. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13803>
- ▶ Liu C. Zhang P., Shang J., Yao D., Wu R., Ou Y., Tian Y. Comprehensive research on the failure evolution of the floor in upper mining of deep and thick coal seam // *Journal of Applied Geophysics.* 2022. V. 206. 104774. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104774>



- ▶ Matias L., Carrilho F., Sá V., Omira R., Niehus M., Corela C., Barros J. The Contribution of Submarine Optical Fiber Telecom Cables to the Monitoring of Earthquakes and Tsunamis in the NE Atlantic // *Front. Earth Sci.* 2021. V. 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2021.686296>
- ▶ Matsumoto H., Araki E., Kimura T., Fujie G., Shiraishi K., Tonegawa T., Obana K., Arai R., Kaiho Y., Nakamura Y., Yokobiki T., Kodaira S., Takahashi N., Ellwood R., Yartsev V., Karrenbach M. Detection of hydroacoustic signals on a fiber-optic submarine cable // *Sci Rep.* 2021a. V. 11. 2797. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82093-8>
- ▶ Matsumoto H., Araki E., Kimura T., Fujie G., Shiraishi K., Tonegawa T., Obana K., Arai R., Kaiho Y., Nakamura Y., Yokobiki T., Kodaira S., Takahashi N., Ellwood R., Yartsev V., Karrenbach M. Hydroacoustic observations using Distributed Acoustic Sensing technology on a fiber-optic submarine cable / *CTBT: Scientific and Technology Conference SnT 2021.* 2021b. P3.1-293.
- ▶ Min R., Liu Z., Pereira L., Yang C., Sui Q., Marques C. Optical fiber sensing for marine environment and marine structural health monitoring: A review // *Opt. Laser Technol.* 2021. V. 140. 107082. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107082>
- ▶ Mohamad H., Tee B.P., Chong M.F., Ang K.A., Rashid A.S.A., Abdullah R.A. Instrumented Laterally Loaded Pile Test using Distributed Fibre Optic Sensor // *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA.* 2019. V. 50(2). P. 36-42.
- ▶ Naldrett G., Parker T., Shatalin S., Mondanos M., Farhadiroushan M. High-resolution Carina distributed acoustic fibre-optic sensor for permanent reservoir monitoring and extending the reach into subsea fields // *SEG Spec Topic Reservoir Monit.* 2020. V. 38. P. 71—76. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2020012>
- ▶ Näsholm S.P., Iranpour K., Wuestefeld A., Dando B.D.E., Baird A.F., Oye V. Array signal processing on distributed acoustic sensing data: Directivity effects in slowness space // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth.* 2022. V. 127. e2021JB023587. <https://doi.org/10.1029/2021JB023587>
- ▶ Nishimura T., Emoto K., Nakahara H., Miura S., Yamamoto M., Sugimura S., Ishikawa A., Kimura T. Source location of volcanic earthquakes and subsurface characterization using fiber-optic cable and distributed acoustic sensing system // *Sci Rep.* 2021. V. 11. 6319. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85621-8> (вулк)
- ▶ Nosov M.A., Moshenceva A.V., Kolesov S.V. Horizontal motions of water in the vicinity of a tsunami source // *Pure and Applied Geophysics.* 2013. V. 170(9). P. 1647–1660. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0605-2>
- ▶ Oskoui E.A., Taylor T., Ansari F. Reference-Free Dynamic Distributed Monitoring of Damage in Multispan Bridges // *Journal of Structural Engineering.* 2020. V. 147(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002858](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002858)
- ▶ Paitz P., Edme P., Gräff D., Walter F., Doetsch J., Chalari A., Schmelzbach C., Fichtner A. Empirical Investigations of the Instrument Response for Distributed Acoustic Sensing (DAS) across 17 Octaves // *BSSA.* 2020. V. 111(1). P. 1–10. doi: <https://doi.org/10.1785/0120200185>
- ▶ Piao C., Lei S., Yang J., Sang L. Experimental Study on the Movement and Evolution of Overburden Strata Under Reamer-Pillar Coal Mining Based on Distributed Optical Fiber Monitoring // *Energies.* 2019. V. 12(1). 77. <https://doi.org/10.3390/en12010077>
- ▶ Puruncajas B., Vidal Y., Tutivén C. Vibration-Response-Only Structural Health Monitoring for Offshore Wind Turbine Jacket Foundations via Convolutional Neural Networks // *Sensors.* 2020. V. 20(12). 3429. <https://doi.org/10.3390/s20123429>

- ▶ Rivet D., de Cacqueray B., Sladen A., Roques A., Calbris G. Preliminary assessment of ship detection and trajectory evaluation using distributed acoustic sensing on an optical fiber telecom cable // *J. Acoust. Soc. Am.* 2021. V. 149 (4). P. 2615–2627. <https://doi.org/10.1121/10.0004129>
- ▶ Rivet D., Baillet M., Trabattoni A., van den Ende M., Vernet C., Lior I., Barrientos S., Sladen A., Ampuero J.-P. Improving active faults monitoring leveraging submarine telecom fiber optic cables : first results from central Chile / EGU General Assembly 2023. Vienna, Austria. EGU23-13207. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13207>
- ▶ Romanowicz B., Allen R., Brekke K., Chen L.-W., Gou Y., Henson I., Marty J., Neuhauser D., Pardini B., Taira T., Thompson S., Zhang J., Zuzlewski S. SeaFOAM A Year-Long DAS Deployment in Monterey Bay, California // *Seismol. Res. Lett.* 2023. V. 94. P. 2348-2359. doi: 10.1785/0220230047
- ▶ Shang Y., Sun M., Wang C., Yang J., Du Y., Yi J., Zhao W., Wang Y., Zhao Y., Ni J. Research Progress in Distributed Acoustic Sensing Techniques // *Sensors.* 2022. V. 22(16). 6060. <https://doi.org/10.3390/s22166060>
- ▶ Shao J., Wang Y., Zhang C., Zhang X., Zhang Y. Near-Surface Structure Investigation Using Ambient Noise in the Water Environment Recorded by Fiber-Optic Distributed Acoustic Sensing // *Remote Sensing.* 2023. V. 15(13). 3329. <https://doi.org/10.3390/rs15133329>
- ▶ Shinohara M, Yamada T, Akuhara T, Mochizuki K., Sakai S. Performance of Seismic Observation by Distributed Acoustic Sensing Technology Using a Seafloor Cable Off Sanriku, Japan // *Front. Mar. Sci.* 2022. V. 9. 844506. doi: 10.3389/fmars.2022.844506
- ▶ Shuvalov A.A., Pnev A.B., Ignatev V.I., Zhirnov A.A., Chernutsky A.O., Nesterov E.T. Possibility of Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Geophysical Problems Solution // *Engineering and Mining Geophysics.* 2018. V. 2018. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201800591>
- ▶ Sladen A., Rivet D., Ampuero J.P., De Barros L., Hello Y., Calbris G., Lamare P. Distributed sensing of earthquakes and ocean-solid Earth interactions on seafloor telecom cables // *Nat Commun.* 2019. V. 10(1). 5777. doi: 10.1038/s41467-019-13793-z
- ▶ Smolinski K., Paitz P., Bowden D., Edme P., Kugler F., Fichtner A. Urban distributed acoustic sensing using in-situ fibre beneath Bern, Switzerland / EGU General Assembly. 2020. EGU2020-8225. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-8225>
- ▶ Soga K., Luo L. Distributed fiber optics sensors for civil engineering infrastructure sensing // *Journal of Structural Integrity and Maintenance.* 2018. V. 3(1). P. 1-21. DOI: 10.1080/24705314.2018.1426138
- ▶ Song A., Ren J., Liu A., Zhang G., Lei X., Zhang H. Distributed Acoustic Sensing Based on Microtremor Survey Method for Near-Surface Active Faults Exploration: A Case Study in Datong Basin, China // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2023. V. 20(4). 2915. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042915>
- ▶ Spica Z.J., Nishida K., Akuhara T., Pétrélis F., Shinohara M., Yamada T. Marine sediment characterized by ocean-bottom fiber-optic seismology // *Geophys. Res. Lett.* 2020a. V. 47(16). e2020GL088360. <https://doi.org/10.1029/2020GL088360>
- ▶ Spica Z.J., Perton M., Martin E.R., Beroza G.C., Biondi B. Urban seismic site characterization by fiber-optic seismology // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth.* 2020b. V. 125. e2019JB018656. <https://doi.org/10.1029/2019JB018656>

- ▶ Sun B.Y., Zhang P.S., Wu R.X., Guo L.Q. Dynamic detection and analysis of overburden deformation and failure in a mining face using distributed optical fiber sensing // *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018. V. 15(6). P. 2545-2555. <https://doi.org/10.1088/1742-2140/aad1c6>
- ▶ Tang B., Cheng H. Application of Distributed Optical Fiber Sensing Technology in Surrounding Rock Deformation Control of TBM-Excavated Coal Mine Roadway // *Journal of Sensors*. V. 2018. 8010746. 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8010746>
- ▶ Titov A., Binder G., Liu Y., Jin G., Simmons J., Tura A., Monk D., Byerley G., Yates M. Modeling and interpretation of scattered waves in interstage distributed acoustic sensing vertical seismic profiling survey // *Geophysics*. 2021. V. 86. P. D93–D102. <http://dx.doi.org/10.1190/geo2020-0293.1>
- ▶ Trabattoni A., Festa G., Longo R., Bernard P., Plantier G., Zollo A., Strollo A. Microseismicity monitoring and site characterization with distributed acoustic sensing (DAS): The case of the Irpinia fault system (Southern Italy) // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2022. V. 127. e2022JB024529. <https://doi.org/10.1029/2022JB024529>
- ▶ Trafford A., Ellwood R., Wacquier L., Godfrey L., Minto C., Cjughlan M., Donohue S. Distributed acoustic sensing for active offshore shear wave profiling // *Sci Rep*. 2022. V. 12. 9691. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13962-z>
- ▶ Tsunami early warning system using available seafloor fiber cables / Aragon Photonics. SAFE PROJECT. <https://aragonphotonics.com/safe-project/> (последний просмотр 25.09.2023)
- ▶ Ugalde A., Becerril C., Villaseñor A., Ranero C.R., Fernandez-Ruiz M.R., Martin-Lopez S., Gonzalez-Herraez M., Martins H.F. Noise Levels and Signals Observed on Submarine Fibers in the Canary Islands Using DAS // *Seismological Research Letters*. 2021. V. 93(1). P. 351-363. doi: <https://doi.org/10.1785/0220210049>
- ▶ van den Ende M.P.A., Ampuero J.-P. Evaluating seismic beamforming capabilities of distributed acoustic sensing arrays // *Solid Earth*. 2021. V. 12. P. 915–934. <https://doi.org/10.5194/se-12-915-2021>
- ▶ Viens L., Spica Z.J., Delbridge B.G., Arbic B.K. Monitoring Shelf Sea Dynamics with Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing // *ESS Open Archive*. 2023. DOI: 10.22541/essoar.167898504.40579102/v1
- ▶ Walter F., Gräff D., Lindner F., Paitz P., Köpfl M., Chmiel M., Fichtner A. Distributed acoustic sensing of microseismic sources and wave propagation in glaciated terrain // *Nat Commun*. 2020. V. 11. 2436. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15824-6>
- ▶ Wang H.F., Zeng X., Miller D.E., Fratta D., Feigl K.L., Thurber C.H., Mellors R.J. Ground motion response to an ML 4.3 earthquake using co-located distributed acoustic sensing and seismometer arrays // *Geophys. J. Int*. 2018. V. 213(3). P. 2020–2036. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy102>
- ▶ Wang Z.N., Zeng J.J., Li J., Fan M.Q., Wu H., Peng F., Zhang L., Zhou Y., Rao Y.J. Ultra-long phase-sensitive OTDR with hybrid distributed amplification // *Opt. Lett*. 2014. V. 39. P.5866–5869. <https://doi.org/10.1364/OL.39.005866>
- ▶ Wassermann J., Braun T., Ripepe M., Bernauer F., Guattari F., Igel H. The use of 6DOF measurement in volcano seismology – A first application to Stromboli volcano // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2022. V. 424. 107499. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107499>
- ▶ Williams E.F., Fernandez-Ruiz M.R., Magalhaes R., Vanthillo R., Zhan Z., Gonzalez-Herraez M., Martins H.F. Distributed sensing of microseisms and teleseisms with submarine dark fibers // *Nat Commun*. 2019. V. 10. 5778. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13262-7>

- ▶ Williams E.F., Ugalde A., Martins H.F., Becerril C.E., Callies J., Claret M., Fernandez-Ruiz M.R., Gonzalez-Herraez M., Martin-Lopez S., Pelegri J.L., Winters K.B., Zhan Z. Fiber-optic observations of internal waves and tides // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2023. V. 128. e2023JC019980. <https://doi.org/10.1029/2023JC019980>
- ▶ Wuestefeld A., Weinzierl W. Design considerations for using distributed acoustic sensing for cross-well seismics: A case study for CO2 storage // *Geophys. Prospect*. 2020. V. 68. P. 1893–1905. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12965>
- ▶ Yin J., Zhu W., Li J., Biondi E., Miao Y., Spica Z.J., Viens L., Shinohara M., Ide S., Mochizuki K., Husker A.L., Zhan Z. Earthquake magnitude with DAS: A transferable data-based scaling relation // *Geophysical Research Letters*. 2023. V. 50. e2023GL103045. <https://doi.org/10.1029/2023GL103045>
- ▶ Yu J., Xu P., Yu Z., Wen K., Yang J., Wang Y., Qin Y. Principles and Applications of Seismic Monitoring Based on Submarine Optical Cable // *Sensors*. 2023. V. 23(12). 5600. <https://doi.org/10.3390/s23125600>
- ▶ Yuan Q., Chai J., Ren Y., Liu Y. The Characterization Pattern of Overburden Deformation with Distributed Optical Fiber Sensing: An Analogue Model Test and Extensional Analysis // *Sensors*. 2020. V. 20(24). 7215. <https://doi.org/10.3390/s20247215>
- ▶ Yuan Q., Chai J., Zhang Y., Liu Y. Ren Y.. Investigation of Deformation Pattern and Movement Law of the Huge-Thick Conglomerate Stratum by a Large-Scale 3D Model Test with Distributed Optical Fiber Sensor Monitoring // *Sensors*. 2021. V. 21(17). 5985. <https://doi.org/10.3390/s21175985>
- ▶ Zeng X., Thurber C., Wang H., Fratta D., Matzel, E., PoroTomo Team. High-resolution Shallow Structure Revealed with Ambient Noise Tomography on a DenseArray / *Proceedings, 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University. Stanford, California. February 13-15. 2017. SGP-TR-212.
- ▶ Zhang D., Wang J., Zhang P., Shi B., Internal strain monitoring for coal mining similarity model based on distributed fiber optical sensing // *Measurement*. 2017. V. 97. P. 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.017>
- ▶ Zhang D., Duan Y., Du W., Chai J. Experimental Study on Physical Similar Model of Fault Activation Law Based on Distributed Optical Fiber Monitoring // *Shock and Vibration*. V. 2021. 4846977. 11 p. <https://doi.org/10.1155/2021/4846977>

СПАСИБО