Оригинальная статья

УДК 622.276:551.435 © О.В. Тайлаков✉[1], Е.А. Уткаев[2], С.В. Соколов[2], 2025

[1] АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», 650002, г. Кемерово, Россия
[2] ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (ФИЦ УУХ СО РАН), 650065, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

Original Paper

UDC 622.276:551.435 © O.V. Tailakov✉[1], E.A. Utkaev[2], S.V. Sokolov[2], 2025

[1] Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry, Kemerovo, 650002, Russian Federation
[2] Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Russian Federation
✉ e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

Геофизическое исследование геомеханического состояния углепородного массива*

Geophysical study of the geomechanical condition of a coal-bearing massif

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-121-124

Рассмотрено совместное применение акустического зондирования и сейсмического просвечивания для контроля напряженно-деформированного состояния углепородного массива. Использование комплексного геофизического подхода позволяет получать данные о внутренней структуре, выявлять зоны повышенных напряжений и деформаций, а также прогнозировать возможные геологические нарушения в горной среде. Приводятся результаты применения сейсмического просвечивания и акустического зондирования в шахтных условиях. Определены зоны снижения скорости сейсмических волн и изменения коэффициентов напряжений, связанные с геологическими факторами и трещиноватостью. Показано, что комплексное использование геофизических методов повышает достоверность определения областей углепородного массива с измененными геомеханическими параметрами и способствует повышению эффективности дегазации и безопасности горных работ.

Ключевые слова: *акустическое зондирование, сейсмическое просвечивание, геомеханическое состояние, углепородный массив, напряженно-деформированное состояние, геофизическое исследование, сейсмические волны, коэффициент относительных напряжений, трещиноватость, мониторинг дегазации, безопасность горных работ.*

ТАЙЛАКОВ О.В.
Доктор техн. наук, профессор,
генеральный директор
АО «Научный центр ВостНИИ
по промышленной и экологической безопасности
в горной отрасли»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

УТКАЕВ Е.А.
Канд. техн. наук, заведующий лабораторией
ресурсов и технологий извлечения
угольного метана Института угля,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: utkaev@mail.ru

СОКОЛОВ С.В.
Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник Института угля,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: sokolovsviuu@bk.ru

** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0013 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений. 2024-2025 гг.» (рег. № 124041100072-6).*

Для цитирования: Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Соколов С.В. Геофизическое исследование геомеханического состояния углепородного массива // Уголь. 2025;(12): 121-124. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-121-124.

Abstract

The combined application of acoustic logging and seismic tomography for monitoring the stress-strain state of coal-bearing rock masses is examined. The use of an integrated geophysical approach enables the acquisition of data on the internal structure, identification of zones with elevated stress and deformation, and prediction of potential geological disturbances. Results from the application of seismic tomography and acoustic logging under mining conditions are presented. Zones of reduced seismic wave velocity and changes in stress coefficients associated with geological factors and fracturing were identified. It is demonstrated that the integrated use of geophysical methods enhances the reliability of detecting areas within the coal-bearing massif with altered geomechanical properties and contributes to improving degassing efficiency and mining safety.

Keywords

Acoustic probing, seismic sounding, geomechanical condition, coal-bearing massif, stress-strain state, geophysical study, seismic waves, coefficient of relative stresses, fracturing, degassing monitoring, mining safety

Acknowledgements

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project FWEZ-2024-0013 'Creation of multipurpose systems for monitoring and forecasting of gas-dynamic phenomena, control of the stress state, development of methods for their prevention and efficiency assessment during underground development of coal deposits. 2024-2025'. (Reg. No. 124041100072-6).

For citation

Tailakov O.V., Utkaev E.A., Sokolov S.V. Geophysical study of the geomechanical condition of a coal-bearing massif. *Ugol'*. 2025 ;(12):121-124. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-121-124.

ВВЕДЕНИЕ

Для контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород расширяющееся применение находят акустическое зондирование и сейсмическое просвечивание углепородного массива. Эти методы позволяют получать данные о внутренней структуре массива, выявлять зоны повышенных напряжений и деформаций, а также прогнозировать возможные нарушения и изменения в горной среде. Кроме того, они способствуют оценке рисков возникновения динамических явлений и аварийных ситуаций при угледобыче, что значительно повышает безопасность и эффективность горных работ [1, 2]. Представляется целесообразным применение комплексного подхода, заключающегося в совместном использовании акустического зондирования и сейсмического просвечивания, например для мониторинга эффективности мероприятий по стимуляции метановыделения из дегазационных скважин при гидроразрыве, который заключается в образовании развитой системы искусственных трещин в угольном пласте путем нагнетания в него флюида [3, 4]. Такой подход дополняет разработанные ранее методы контроля процесса гидровоздействия на основе сейсмопрофилирования и высокоточного мониторинга изменения давления флюида в скважине [5, 6, 7, 8].

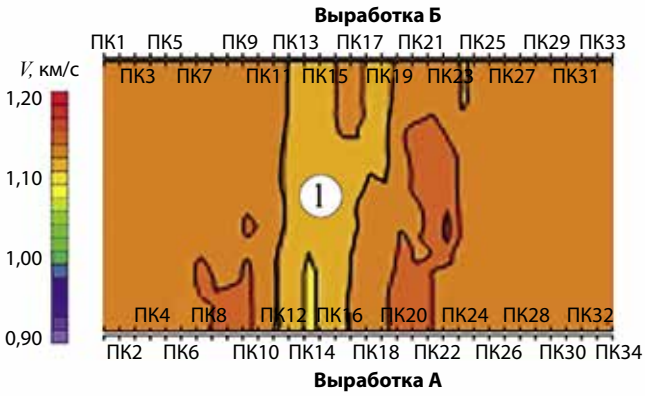

Рис.1. Результаты сейсмического просвечивания опытного участка исследуемого выемочного столба

Fig. 1. Results of the seismic tomography of the experimental section of the studied extraction panel

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сейсмическое просвечивание

В развитие подхода к определению изменений геомеханических параметров углепородного массива на действующей угольной шахте в Кузбассе в пределах опытного участка, подготовленного к отработке выемочного столба, выполнено комплексное геофизическое исследование геомеханического состояния углепородного массива. Первоначально проведено сейсмическое просвечивание горизонта залегания угольного пласта, основанное на оценке различий фиксируемых параметров распространения сейсмических волн, характеризующих изменение его физико-механических свойств [9]. На основе интерпретации геофизической информации установлено, что исследованная область характеризуется скоростными характеристиками, которые отличаются от аналогичных показателей для рассматриваемого выемочного столба. При этом определены контуры характерной зоны – участка 1 локального снижения скоростей распространения сейсмических волн *(рис. 1)*, регистрация которой обусловлена, предположительно, преимущественно геологическими факторами.

Акустическое зондирование

По завершении сейсмического просвечивания выполнены измерения на основе акустического зондирования [10]. При этом в пределах горизонта залегания угольного пласта границы разупрочненных зон, характеризующихся менее напряженным состоянием по отношению к прочим участкам, определялись интервалы с максимальными значениями низкочастотной составляющей сигнала $A_н$ и минимальными значениями коэффициента относительных напряжений [11]:

$$K_{о.н.} = \frac{A_в}{A_н}, \quad (1)$$

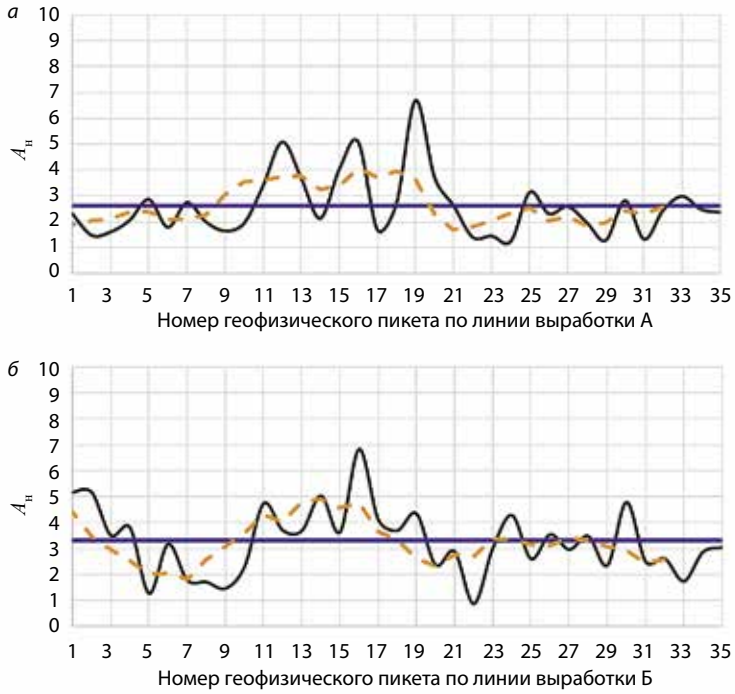

Рис. 2. Распределение низкочастотной составляющей сигнала $A_н$ в горных выработках: а – выработка А; б – выработка Б

Fig. 2. Distribution of the low-frequency component of the signal $A_н$ in mine workings: a – working A; b – working B

где $A_в$ – амплитуда регистрируемых акустических сигналов на высоких частотах.

На *рис. 2* представлено распределение значений низкочастотной составляющей сигнала. В границах исследованной области по выработке А *(рис. 1, а)* отмечен интервал контрастного возрастания параметра $A_н$. По линии выработки Б *(рис. 2, б)* также выделен участок, характеризующийся ростом значений параметра $A_н$. Характер изменения значений коэффициента относительных напряжений также соответствует предположению о предполагаемых его изменениях в рассматриваемых зонах – по линии выработок А и Б отмечены интервалы его контрастного снижения.

Обсуждение результатов

Для анализа информации, полученной в геофизическом обследовании углепородного массива выемочного столба, участки контрастного изменения анализируемых параметров (А – участок изменения коэффициента относительных напряжений $K_{о.н.}$; В – участок изменения значений низкочастотной составляющей $A_н$) акустического сигнала, выделенных по линии горных выработок А и Б, вынесены на план обследованного выемочного столба *(рис. 3)*.

С учетом особенностей распределения значений параметров акустического сигнала в пределах выработок А и Б, проявляющихся в определенной симметрии выделенных участков их изменений, на *рис. 3* также отмечены линии проекции, соединяющие их и позволяющие предположить направления распространения выделенных зон в теле выемочного столба.

Характерные зоны углепородного массива, выделенные в сейсмическом просвечивании и при акустическом зондировании, объединены и представлены в виде интегральной зоны С изменения геомеханических характеристик в пределах горизонта залегания угольного пласта *(рис. 4)*.

Области с измененными геомеханическими характеристиками углепородного массива, выявленные с помощью двух геофизических

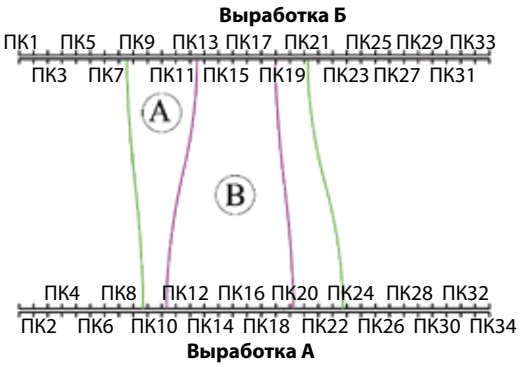

Рис. 3. Участки контрастного изменения параметров акустического сигнала в углепородном массиве выемочного столба: А – изменение коэффициента относительных напряжений $K_{о.н}$.; В – изменение значений низкочастотной составляющей $A_н$

Fig. 3. Areas of contrasting changes in acoustic signal parameters within the coal-bearing massif of the extraction panel: A – variation of the relative stress coefficient $K_{о.н}$.; B – variation of the low-frequency component $A_н$

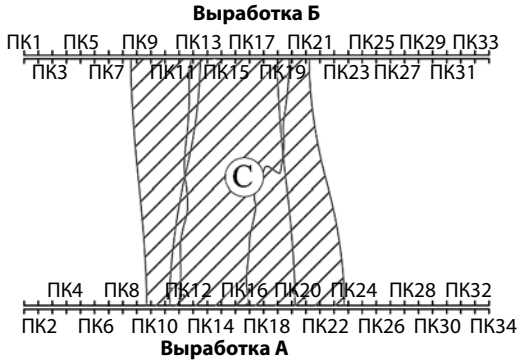

Рис. 4. Интегральная зона изменения геомеханических характеристик в пределах горизонта залегания угольного пласта, определенная по результатам комплексного геофизического исследования

Fig. 4. Integrated zone of geomechanical property variations within the coal seam horizon, determined based on the results of comprehensive geophysical investigation

методов, зарегистрированы на сопоставимых интервалах геофизических пикетов. На основании полученных результатов показано, что зона С характеризуется менее прочным состоянием углепородного массива, которое обусловлено повышением его трещиноватости, а также возможным изменением угла падения и простирания пласта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования подтверждают эффективность оригинального комплексного метода мониторинга, который объединяет сейсмоакустическое профилирование

и акустическое зондирование. Предложенный подход позволяет более точно оценивать геомеханические характеристики угольных пластов. Его применение способствует повышению эффективности дегазации и безопасности горных работ.

Список литературы • References

1. Золотых С.С. Заблаговременная дегазация угольных пластов как фактор повышения безопасности на шахтах Кузбасса // Горная промышленность. 2019. № 5(147). С. 18-22.
   Zolotykh S.S. Preemptive degassing of coal seams as a factor in improving safety at Kuzbass mines. *Mining Industry*. 2019;5(147):18-22. (In Russ.).
2. Исаченко А.А., Петрова Т.В. Закономерности проявления динамических событий и распределения локальных коллекторов метана в структурно неоднородном геомассиве при отработке угольных пластов с применением заблаговременной дегазации // Вестник КузГТУ. 2022. № 3(151). С. 54-63.
   Isachenko A.A., Petrova T.V. Patterns of dynamic event manifestation and distribution of local methane collectors in structurally heterogeneous geomechanical mass during coal seam extraction with preemptive degassing. *Bulletin of KuzSTU*. 2022;3(151):54-63. (In Russ.).
3. Леконцев Ю.М., Сажин П.В., Темиряева О.А. Дегазация угольного пласта методом поинтервального гидроразрыва и оборудование для его реализации // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2018. Т. 5. № 2. С. 89-92.
   Lekontsev Yu.M., Sazhin P.V., Temiryaeva O.A. Degassing of coal seams by sectional hydraulic fracturing and equipment for its implementation. *Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences*. 2018;5(2)89-92. (In Russ.).
4. Fan Y., Shu L.,Huo Z. et al. Numerical simulation of sectional hydraulic reaming for methane extraction from coal seams. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2021;(95):104180. DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104180.
5. Уткаев Е.А., Соколов С.В., Таюрский М.А. Мониторинг направленного гидровоздействия на углепородный массив в условиях действующих шахт // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 3. С. 23-30. DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.35.57.005.
   Utkaev E.A., Sokolov S.V., Tayursky M.A. Monitoring of directed hydro-impact on coal-bearing massif under operating mine conditions. *Bulletin of the Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2023;(3):23-30. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.35.57.005.
6. Комплексные наблюдения и контроль процессов стимуляции газоотдачи угольных пластов в шахтных условиях / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, С.В. Соколов и др. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 4. С.36-43. DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.10.37.004.
   Tailakov O.V., Utkaev E.A., Sokolov S.V. et al. Integrated observations and control of coal seam gas stimulation processes under mining conditions. *Bulletin of the Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2023;(4):36-43. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.10.37.004.
7. Технология и результаты сейсмотомографических исследований на проходящих волнах в угольных шахтах Кузбасса / А.С. Сальников, Б.А. Канарейкин, С.В. Долгова и др. // Технологии сейсморазведки. 2012. № 2. С. 74-88.
   Salnikov A.S., Kanareykin B.A., Dolgova S.V., et al. Technology and results of seismic tomography studies using traveling waves in Kuzbass coal mines. *Seismic Exploration Technologies*. 2012;(2):74-88. (In Russ.).
8. Тайлаков О.В., Макеев М.П., Соколов С.В. Повышение эффективности гидродинамического воздействия на углепородный массив на основе контроля его параметров методом сейсмической томографии // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. № 6. С. 38-42.
   Tailakov O.V., Makeev M.P., Sokolov S.V. Increasing the efficiency of hydrodynamic impact on coal-bearing massif based on parameter control by seismic tomography method. *High-Tech Development and Use of Mineral Resources*. 2020;(6):38-42. (In Russ.).
9. Применение сейсмоакустического профилирования для уточнения условий залегания угольных пластов / О.В. Тайлаков, М.П. Макеев, С.В. Соколов и др. Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. научн. статей, Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. Фрянова В.Н. Новокузнецк, 2012. С. 266-267.
10. Горбачев А.С., Шилов В.И. Аппаратно-программное обеспечение акустических зондирований // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 3. С. 20-25. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-3-20-25.
    Gorbachev A.S., Shilov V.I. Hardware and software support for acoustic logging. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(3):20-25. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-3-20-25.
11. Шадрин А.В., Диюк Ю.А., Телегуз А.С. Применение акустических методов для управления параметрами гидрообработки горного массива и оценки ее эффективности // Горная промышленность. 2018. № 2(138). С. 79-82. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-2-138-79-82.
    Shadrin A.V., Diyuk Yu.A., Teleguz A.S. Application of acoustic methods for managing hydraulic treatment parameters of rock mass and evaluating its effectiveness. *Mining Industry*. 2018;2(138):79-82. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2018-2-138-79-82.

Authors Information

Tailakov O.V. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry, Kemerovo, 650002, Russian Federation, e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

Utkaev E.A. – PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Coalbed Methane Resources and Recovery technologies of the Institute of Coal Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: utkaev@mail.ru

Sokolov S.V. – PhD (Engineering), Senior Researcher of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: sokolovsviuu@bk.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info

Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025