

**РАЗДЕЛ 5.
ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ**

УДК 550.34.06

**ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ**

Анциферов А. В.¹, Туманов В. В.², Новгородцева Л. А.³,

Бородин Д. С.⁴, Подвалкова Е. В.⁵

*^{1,2,3,4,5}Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, Донецк, Российская Федерация
E-mail: ¹ranimi@ranimi.org*

Рассмотрена возможность применения результатов трехкомпонентного микросейсмического мониторинга, проведенного в Донбассе в 2020 и 2021 гг. на поле шахты «Калиновская – Восточная» в условиях работающей лавы для прослеживания зон трещиноватости, сопровождающих дизъюнктивные и пликативные структуры. Исключительная изученность геологического разреза позволила установить связь между отношениями максимальных компонент сложного сигнала и мощными зонами трещиноватости, изучить качественное отображение плоскостей сместителей надвигов в спектрах компонент, не противоречащее физико-математическим моделям, разработанным ФГБНУ «РАНИМИ». Показано, что вертикальное распределение скоростей продольных волн в разрезе зеркально отражается в амплитудах компонент спектров Фурье, что соответствует разрабатываемой в настоящее время теории метода микросейсмического зондирования. Сделаны выводы о необходимости детальнейших исследований с большим количеством регистрирующих приборов для выработки количественных критериев локации зон трещиноватости различной природы.

Ключевые слова: микросейсмические измерения, частотно-амплитудный спектр, дизъюнктивные нарушения, пликативные нарушения, тектоническое нарушение, волна Рэлея.

ВВЕДЕНИЕ

До сравнительно недавнего времени, выделения сопутствующего разработке угольных пластов метана воспринимались исключительно как угроза возникновения внезапных выбросов газа, угля и пород. Большое количество аварий и катастроф с человеческими жертвами происходило вблизи так называемых «ловушек метана», когда при отработке угольного пласта вскрывались локальные зоны трещиноватости массива, заполненные газом [1]. В настоящее время установлено, что с увеличением глубины разработки растет и содержание метана, как в угольных пластах, так и в окружающих породах, являющихся трещиноватыми коллекторами в зонах, сопровождающих любые тектонические нарушения как регионального, так и более мелкого масштаба [2, 3], а выявление и картирование подобных зон является актуальной и первостепенной задачей не только для прогноза горно-геологических условий разработки, но и для добычи газа из возможных мелких месторождений [4, 5].

К рубежу XXI века для детального геологического картирования тектонических нарушений в Донбассе выполнен огромный объем геофизических работ как наземными, так и подземными методами, включающие многоволновые сейсмические исследования [6], шахтные сейсморазведочные исследования в модификациях методов отраженных волн и просвечивания [7, 8], а также наземные сейсмические исследования [9]. В результате были установлены многие виды связей между параметрами фиксируемых сейсмических сигналов и повышенной трещиноватостью горных пород, установлен критерий аномального изменения динамических и кинематических характеристик вблизи плоскостей сместителей дизъюнктивных нарушений в замковых частях складок у пликативных нарушений; определена роль фациальных условий образования пород для значений скорости продольных и поперечных волн, созданы математические сейсмические модели надвиговых и сбросовых структур [10], а также исследованы теоретические законы распространения компонент волнового поля на угольных пластах различных типов с разными отношениями акустических жесткостей угля вмещающих пород.

В настоящее время ученые всего мира проявляют интерес к микросейсмическим исследованиям неоднородностей, динамике напряженного состояния горных массивов [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Коллективными усилиями научных организаций установлено, что микросейсмический шум (МСШ), всегда присутствующий на поверхности Земли, является интерференцией полей поверхностных волн Рэлея и Лява с эндогенным откликом геологической среды; доказана возможность исследования МСШ как для разделения крупных блоков кристаллического фундамента, так и для картирования локальных геологических структур [21]. Достигнуты большие успехи в анализе спектральных характеристик микросейсмических сигналов и обработке накопленных регистрируемых данных [22, 23]. Наиболее близким к Донбассу и хорошо обследованным геофизическими методами и микросейсмическими измерениями районом является Воронежский кристаллический массив [24], где уровень максимальных значений МСШ составил сотни нанометров. По результатам многомесячных наблюдений установлены: энергетические характеристики техногенной сейсмичности, характер сезонных и годовых вариаций микросейсмических колебаний, региональные особенности спектральных характеристик нормального фона в диапазоне частот от 0,2 до 7,0 Гц.

ОПЫТ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ДОНБАССЕ И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РЕГИОНА

В Донбассе микросейсмические измерения на шахтных полях проводились, начиная с 2008 г. на шахте «Красноармейская-Западная» №1 для исследования геодинамических процессов над областью горных работ в 2008 и 2013 гг. [25, 28, 29], а также на поле шахте «Калиновская-Восточная» для установления природы сейсмических толчков магнитудой от 1 до 2,8 [26]. При этом во всех случаях имели место макросейсмические события в виде обрушения консоли целика или разрядки напряженного состояния массива при приближении лавы к отработываемому контуру участка, и даже был зафиксирован уровень регистрируемого сигнала в

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ

$n=1000$ раз превышающий максимальные значения МСШ на Воронежском кристаллическом массиве.

Подобное увеличение интенсивности микросейсмических сигналов, измеряемых на поверхности, показало, что на глубине отработки происходят сейсмические события в виде микроземлетрясений, которые можно аппроксимировать отдельными заглубленными источниками упругих колебаний [18]. Таким образом, на поверхности шахты измеряется сложный сигнал, состоящий из объемных волн и их преобразований в сумме с природными поверхностными волнами и техногенными сигналами.

Теоретические разработки ученых по пассивной сейсморазведке направлены на создание математического аппарата для расчета аномальных эффектов от низкоскоростных и высокоскоростных неоднородностей в однородной изотропной среде, содержащей максимум несколько слоев при заданных параметрах поверхностной волны Рэлея. Геологические разрезы шахты «Калиновская-Восточная» представляют собой чередование преимущественно тонких слоев песчаников, аргиллитов, алевролитов, известняков и углей с включениями мощных (более 20 м) слоев песчаников. Очевидно, что развитие теории для выделения зон трещиноватости в тонкослоистых средах невозможно с помощью решения прямых задач. По-видимому, нужно находить подход, основанный на качественной интерпретации выделенных аномалий и расшифровке физической сущности явлений их вызывающих.

Целью данной статьи является сравнение значений компонент сложного сигнала и их отношений для известных, прослеженных бурением зон влияния тектонических нарушений и выбор направлений дальнейших исследований в области пассивной сейсморазведки.

ГЕОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

Рассмотрим более подробно геологические особенности разреза шахты «Калиновская-Восточная» и результаты сейсмических наблюдений, проведенных в январе 2020 года и мае-июне 2021 года.

На рис. 1 показана структурно-тектоническая схема, типичные геологические разрезы по линиям IX–IX', X–X', XI–XI' и местоположение датчиков микросейсмических измерений в 2020 и 2021 годах.

Породы, слагающие разрез, представлены флишеобразной толщей состоящей из песчаников (19–34)%, алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев (65–70)%, углей (0,3–0,2)% и известняков (0,6–3,0)%. Каждый отдельный цикл или сочетание слоев указывает на присущий только ему трансгрессивный или регрессивный режим осадконакопления. Наиболее общие закономерности, установленные по слоистым остаткам фауны и флоры, составу включений и окраске отдельных разностей, свидетельствуют о том, что аргиллиты и известняки образовались в условиях прибрежной части открытого моря, песчаники, включенные в цикл, образовались при временном обмелении бассейна, а песчаники мощностью от 20 м до 50 м накопились или в руслах палеорек или в пойменных частях дельт. В начале исследуемого периода

(отложения свиты C_2^5) дно бассейна осадконакопления было осложнено антиклинальной складкой (рис. 1, разрез IX–IX'), что стало крупной вертикальной пликативной неоднородностью разреза и привело в дальнейшем к образованию мощного Калиновского купола на северо-западе участка. Многие геологи — исследователи Донбасса — считают, что основные антиклинальные складки были образованы вертикальными движениями блоков кристаллического фундамента или при крупных сдвигах, как следствие трансформации осадочного чехла [1, 4]. На шахте «Калиновская-Восточная» гравитационное давление ядра складки на меньшие по плотности напластования крыльев привело к образованию многочисленных разрывов, из которых впоследствии образовались мелкие надвиги, окаймляющие ядро: Каменский, «В», «Д» и другие. Пересечение этих надвигов с радиально направленной трещиноватостью на крыльях, сопровождающей, как известно, как положительные, так и отрицательные структуры, образовало мощную разуплотненную зону — возможный путь движения метана вверх по разрезу. Именно такое движение прослеживается из зоны пересечения газонасыщенной пачки слоев k_2 – k_8 региональным Диагональным надвигом (рис. 1, разрез IX–IX'). Детальное геологическое описание скважин МС-306 и МС-171, где проводилось газопробование, показало, что интервалы глубин от 600 до 900 м при 100% поглощении бурового раствора являются вертикальными каналами для поступления метана из угольных пластов свиты C_2^5 в углепородный массив свиты C_2^6 . Таким образом, экранирующий плотный известняк между этими свитами — маркирующий горизонт L_1 — является проницаемым. Для подробного изучения положения маркирующего горизонта L_1 и взаимоотношения его с подстилающими породами свиты C_2^5 была построена карта изогипс поверхности горизонта L_1 и изучен состав подстилающего углевмещающего массива под известняком (рис. 2).

Анализ представленных данных показал, что дно бассейна конца периода осадконакопления свиты C_2^6 представляло собой глубокую впадину с минимальными абсолютными отметками поверхности -650 м (скважина МС-167) и -625 м (скважины МС-305, МС-320), вытянутую в северо-восточном направлении, согласно построению основных региональных надвигов района Французского, Первомайского, Калининского.

Анализ значений суммарной мощности глинистых сланцев в свите C_2^5 показал, что площадь участка испытала значительное прогибание, самая глубокая часть которого вытянута в северо-западном направлении. Мощность глинистых сланцев по оси прогибания составляет от 85 до 122 м. Расчлененный палеорельеф дна способствовал резким переходам от преимущественно глинистых напластований к преимущественно песчаным, а выносы крупных водотоков — к накоплению мощных песчаников, представленных крупнозернистыми фракциями, с невыдержанной косой слоистостью. Присутствие растительных остатков морской и наземной фауны в сланцах указывают, что этот интервал разреза формировался на частично заливаемом морем углубленном участке берега. Резкое изменение мощности глинистых отложений между разрезами IX–IX', X–X' дает возможность предположить наличие поперечного тектонического подъема на дне бассейна осадконакопления.

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ

Постепенный подъем и размыв отдельных участков площади сопровождался созданием неоднородных в вертикальном и горизонтальном направлениях участков, контуры которых впоследствии явились ослабленными зонами. По этим зонам на разных уровнях происходили подвижки региональных и более мелких надвигов, которые выражены многочисленными зеркалами скольжения и зонами трещиноватости со 100% поглощением бурового раствора. Пересечение тектонических структур разных направлений привело к созданию проницаемых каналов для поступления метана из более газонасыщенных пород в трещиноватые породы верхних горизонтов. Так, например, газовое опробование по скважине МС-171 показало, что отношение содержания метана в пластах l_1 и k_8 составляет 36/19 м³/т.с.б.м, тогда как для большинства скважин шахтного поля, картина обратная. В скважине МС-306 на севере участка также обнаружено газопроявление и газирование скважины из пород свиты C_2^5 на глубине 900 м.

Последующее за рассмотренным периодом кардинальное изменение осей палеонапряжений привело к образованию новой отрицательной структуры со слоем известняка L_1 в основании. Таким образом, очевидно, что максимальная трещиноватость массива должна проявиться в области пересечения двух пликтивных структур с каким-нибудь дизъюнктивным нарушением. Все выше сказанное приводит к следующим выводам:

- неоднородность угленосного массива шахты «Калиновская-Восточная» по вертикали связана не только со сменой преимущественного песчано-глинистого состава слагающих его комплексов, но и с положением этих комплексов относительно ядра антиклинальной складки (рис.1, б): внутри ядра происходит уплотнение, а на крыльях – разуплотнение, связанное с многочисленными разрывами и мелкими надвигами;

- движение плоскостей сместителей различных надвигов, направленное под разными углами к поверхности в верхних (надвиг Промежуточный и надвиг S) и нижних (надвиги Французский, Тимошенко и Диагональный) горизонтах, создает многочисленные тектонические подвижки, проявляющиеся как уплотнением, так и разрушением пород в зонах их влияния;

- области замыкания отрицательных структур, образованных на разных стадиях изменения палеорельефа, представляют еще один вид неоднородностей разреза, связанный с трещиноватостью.

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПАССИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Подробное описание методики и обработки результатов мониторинговых пассивных сейсмических наблюдений изложено в статьях [23, 26 - 29]. Главным физическим результатом исследований на поле шахты «Калиновская-Восточная» явилось подтверждение правильности установленного А.В. Горбатиковым [11] явления увеличения амплитуд в спектре микросейсмических сигналов над низкоскоростными неоднородностями разреза.

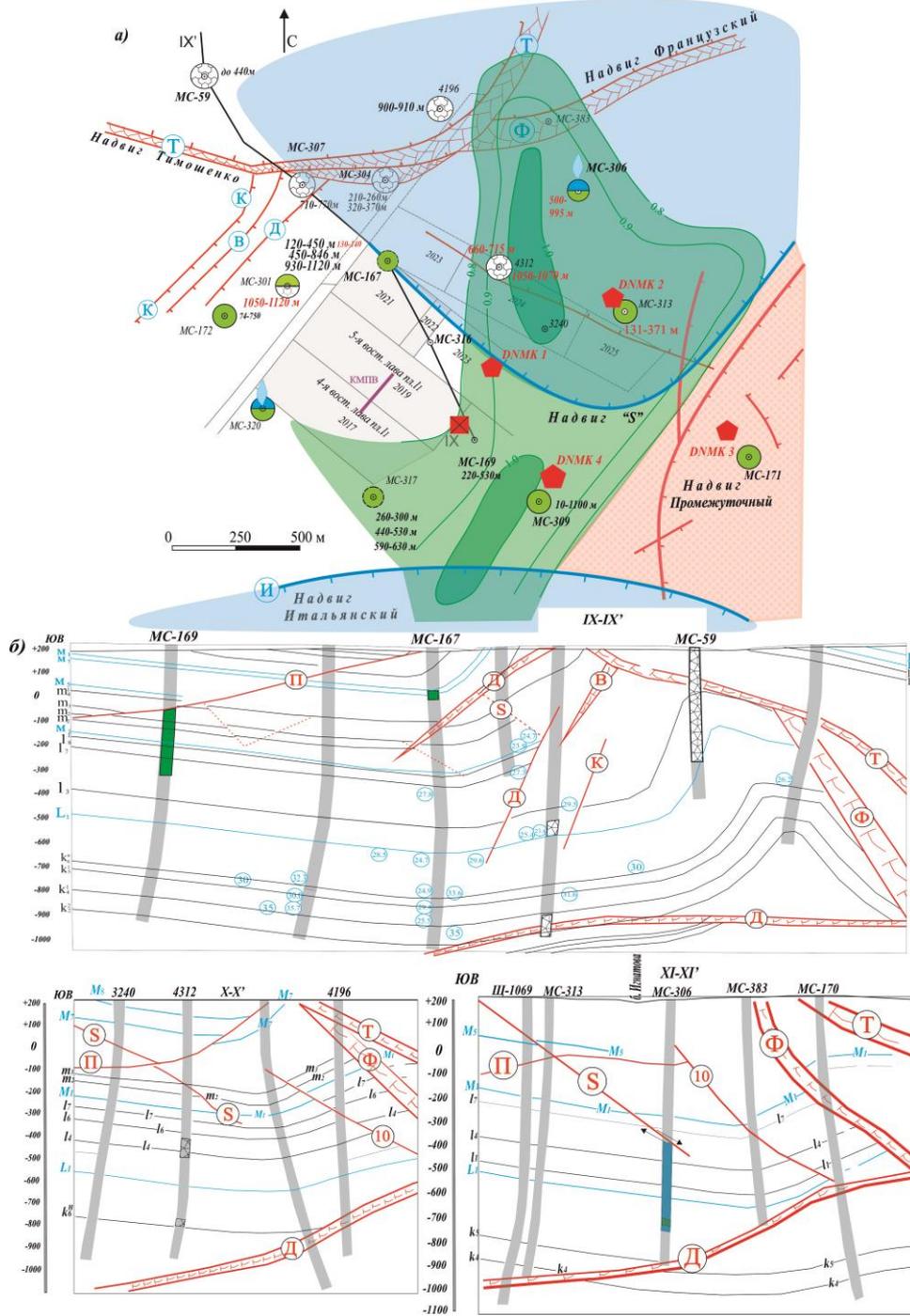
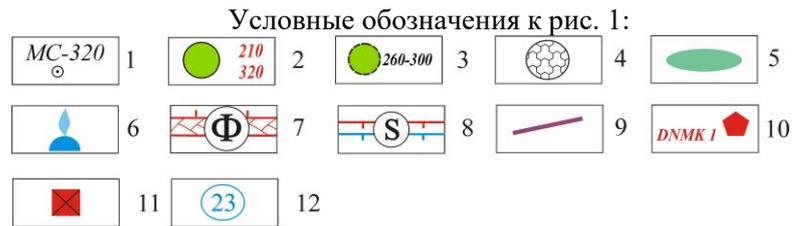


Рис 1. Геолого-структурная схема (а) и геологические разрезы по линиям IX-IX', X-X', XI-XI' (б)

Составлено авторами.

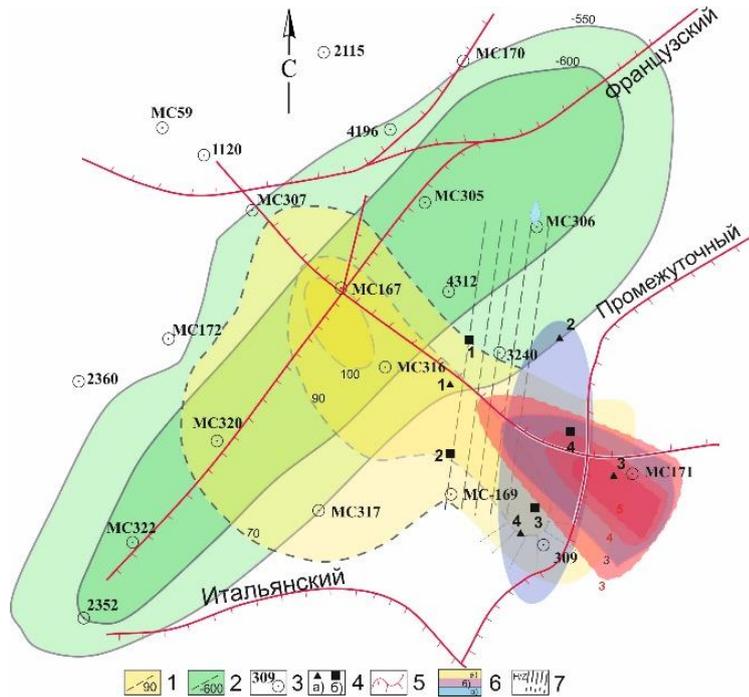
ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ



1 — скважина и её номер; 2 — поглощение промывочной жидкости 50–100%, цифры указывают интервал глубин, в м; 3 — частичное поглощение промывочной жидкости в интервале глубин, м; 4 — слабая трещиноватость массива; 5 — изопахиты угольного пласта l_1 ; 6 — газопроявления; 7 — надвиги регионального масштаба и их название: Т — Тимошенко, Ф — Французский, И — Итальянский; 8 — надвиги второго ранга и их название: S-надвиги «S», «Д», «В», К — Каменский, П — Промежуточный; 9 — профиль КМПВ; 10 — станции наблюдения ЕРМАК-5 (2020 год); 11 — источник сейсмических событий; 12 — газоносность угольного пласта в $\text{м}^3/\text{т.с.б.м}$

В исследовании использовались максимальные мгновенные скорости смещений грунта в единицах измерения – мм/сек, что в 100000 раз превосходит фоновые значения микросейсмического шума, зарегистрированные в восточной части Воронежского кристаллического массива [24]. В.А. Горбатиков исследовал и дальнейшими практическими работами [12-14] подтвердил, что максимальные амплитуды в преобразованном методом Фурье спектре смещений (или скорости смещений) грунта принадлежат поверхностной волне Рэлея, являющейся одной из составляющих фоновых значений МСШ. Высокие значения наблюдаемых нами сигналов в мм/сек связаны с техногенными макроимпульсами, возникающими при разрядке напряженного состояния массива. Проверка на эллиптичность показала, что макроколебания частиц, зафиксированные трехкомпонентными датчиками, подобны аналогичным колебаниям в волне Рэлея, что дает возможность использовать наблюдаемые на поверхности шахты значения для анализа трещиноватости массива. В табл. 1 представлены данные сейсмического мониторинга за 5 дней января 2020 года.

На структурно-сейсмофациальную схему (рис.2) вынесены значения отношений компонент H/Z , Y/Z и X/Z с целью определения их геологической информативности (время 13 ч 14 мин). Обобщенная геологическая характеристика сводится к следующему: отрицательная структура с преимущественно глинистым составом отложений (C_2^5), ось которой проходит по линии, соединяющей скв. 309, 316 и 167, пересекается с маркирующим горизонтом известняков L_1 отложившихся во впадине по изогипсам -650 м, -500 м, но имеющей поперечное направление. Наблюдаемые внутри разреза надвиги движутся к самой глубокой части впадины (C_2^5), находящейся в районе скважин 167 и 316. Надвиг Промежуточный показан на схеме два раза: сначала на глубине 550 м (скв.171) и на поверхности (скв. 320, 167, 305).



1 — Суммарная мощность глинистых сланцев во впадине палеорельефа (свита C_2^5); 2 — изогипсы поверхности маркирующего известняка L_1 (свита C_2^6); 3 — скважина и ее номер; 4 — датчики мониторинговых наблюдений: а — в 2020 году, б — в 2021 году; 5 — надвиги; 6 — контуры зон по мониторингу 2020 года с различными отношениями компонент: а — N/Z , б — Y/Z , в — X/Z ; 7 — зона трещиноватости, предположительно связанная с фрагментом плоскости сместителя надвига Промежуточного по результатам мониторинга 2021 года.

Рис 2. Структурная сейсмофациальная схема мощности глинистых сланцев C_2^5 , покрывающего маркирующего горизонта известняков L_1 свиты C_2^6
Составлено авторами.

Таким образом, определено, что максимальная трещиноватость массива находится в узле пересечения двух пликативных структур с дизъюнктивными, а также в области пересечения надвигов S и Промежуточный в зоне пересечения пликативных структур вблизи скв.171. Контуры зоны максимальных значений N/Z и Y/Z находятся как раз над установленной бурением вертикальной зоной трещиноватости (100% поглощение бурового раствора наблюдается на глубинах от 1000 до 700 м). В указанном интервале глубин поглощения бурового раствора в свите C_2^5 отмечается уменьшение концентрации метана с последующим увеличением его в вышележащих породах свиты C_2^6 .

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ

Таблица 1.

Максимальные мгновенные скорости смещений A_{max} по измерениям за 2020 год

№ датчиков	Дата, чч.мм.гг.	Время, Гринвич	A_{max} , мм/с			H_{xy}	Y/X	X/Z	Y/Z	H/Z	\bar{A}
			E(y)	N(x)	Z						
1	14.01.2020	3:50:18	0.7	00.7	0.4	0.990	1.000	1.750	1.750	2.475	1.060
	14.01.2020	23:41:50	0.8	00.7	0.4	1.060	1.143	1.750	2.000	2.650	1.130
	15.01.2020	18:18:48	0.4	00.5	0.2	0.640	0.800	2.500	2.000	3.200	0.670
	16.01.2020	12:25:52	0.3	00.3	0.2	0.424	1.000	1.500	1.500	2.120	0.460
	17.01.2020	13:14:49	1.2	00.7	0.5	1.380	1.714	1.400	2.400	2.760	1.470
	18.01.2020	6:39:10	1.0	00.9	0.5	1.340	1.111	1.800	2.000	2.680	1.430
2	14.01.2020	3:50:18	0.4	00.6	0.2	0.720	0.667	3.000	2.000	3.600	0.740
	14.01.2020	23:41:50	0.3	00.5	0.2	0.580	0.600	2.500	1.500	2.900	0.616
	15.01.2020	18:18:48	0.1	00.3	0.1	0.316	0.333	3.000	1.000	3.160	0.330
	16.01.2020	12:25:52	0.2	00.3	0.2	0.360	0.667	1.500	1.000	1.800	0.412
	17.01.2020	13:14:49	0.7	10.3	0.8	1.480	0.538	2.250	0.875	1.850	1.670
	18.01.2020	6:39:10	0.4	00.7	0.3	0.810	0.571	2.333	1.333	2.700	0.860
3	14.01.2020	3:50:18	1.2	00.5	0.2	1.300	2.400	2.500	6.000	6.500	1.370
	14.01.2020	23:41:50	1.2	00.4	0.2	1.260	3.000	2.000	6.000	6.300	1.280
	15.01.2020	18:18:48	0.6	00.2	0.1	0.630	3.000	2.000	6.000	6.300	0.640
	16.01.2020	12:25:52	0.7	00.3	0.1	0.760	2.333	3.000	7.000	7.600	0.770
	17.01.2020	13:14:49	2.4	00.9	0.5	2.560	2.667	1.800	4.800	5.120	2.610
	18.01.2020	6:39:10	1.5	00.5	0.3	1.580	3.000	1.667	5.000	5.267	1.610
4	14.01.2020	3:50:18	1.0	00.5	0.4	1.120	2.000	1.250	2.500	2.800	1.180
	14.01.2020	23:41:50	1.1	00.5	0.4	1.210	2.200	1.250	2.750	3.025	1.270
5	15.01.2020	18:18:48	0.7	00.4	0.4	0.806	1.750	1.000	1.750	2.015	0.890
	16.01.2020	12:25:52	0.6	00.2	0.2	0.630	3.000	1.000	3.000	3.150	0.663
	17.01.2020	13:14:49	1.1	00.7	0.6	1.300	1.571	1.167	1.833	2.167	1.430

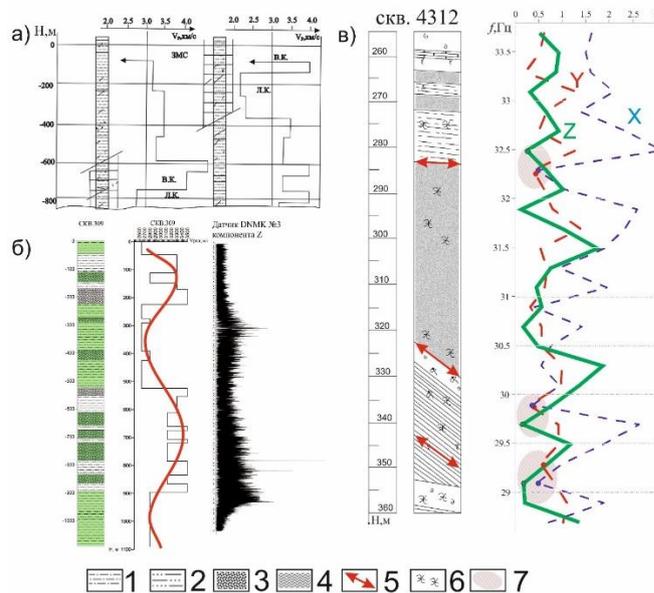
Составлена авторами.

Контуры зоны повышенных значений отношений Y/Z совпадают с контурами аномалии H/Z , что показывает на ведущую роль компоненты "Y" при ортогональном пересечении ею зоны влияния надвига Промежуточного. Отношения компонент X/Z создают аномалию, контуры которой вытянуты в направлении от узла пересечения надвигов Промежуточного и «S» к скв. 306, где было зафиксировано газопроявление с глубины 900 м. Это явление можно интерпретировать как наличие зоны трещиноватости внутри массива, соединяющей мощный узел пересечения двух нарушений с апофизой надвига Промежуточного, содержащей повышенное количество метана.

Небольшое количество датчиков (4 шт.) не позволило более подробно изучить результативность выбранных параметров для расчленения разреза по глубине.

Изменение микросейсмических сигналов по глубине и сравнение его с геологическим разрезом рассмотрим на примерах сопоставления спектров сложного сигнала, полученных при мониторинге и прошедших специальный комплекс обработки полученного материала за 2021 год [23].

На рис. 3 приведены примеры, раскрывающие физический смысл привязки спектров сложного сигнала по глубине.



1 — тонкослоистые переслаивания песчано-глинистых пород: аргиллитов, алевролитов и песчаников, 2 — крупнослоистые переслаивания; 3 — песчаники; 4 — глины; 5 — зеркала скольжения; 6 — трещиноватость, 7 — минимальные значения компонент сложного сигнала.

Рис. 3. Сейсмологические модели надвиговых структур по данным [9] (а); результаты обработки импульса сложного сигнала (компонента Z) и скоростной разрез V_p по скв.309 (б) и нормированные значения оцифрованного спектра компонент X, Y, Z в нарушенной зоне (в)

Составлено авторами.

Рис. 3а соответствует сейсмогеологическим моделям надвиговых структур для разных глубин разреза [9]. В обоих случаях висячее крыло надвига (в.к.) обладает большей плотностью и, соответственно, большей скоростью распространения продольных волн (V_p), чем лежащее крыло (л.к.). Для дальнейшего анализа данных будем учитывать то, что на амплитудно-частотном спектре в области пересечения плоскостей сместителя в соответствии с физическим постулатом В.А. Горбатикова [11-14] должна наблюдаться обратная картина для амплитуд скорости смещения частиц в микросейсмическом сигнале.

На рис. 3б приведен амплитудно-частотный спектр для компоненты Z датчика 3 у скв.309, находящейся в лежащем крыле надвига Промежуточного и в зоне сближения плоскостей сместителей надвигов Итальянского и «S». Низкие значения скоростей продольных волн (V_p) на глубине 850–900 м обусловлены не только разрушением пород перед фронтом надвига Промежуточного, но, главным образом, трещиноватостью пород S_2^5 в зоне замыкания впадины, вмещающей преимущественно глинистые отложения (рис. 2). Графики трёх компонент датчика 1 у скважины 4312 показывают, что в зонах движения плоскости сместителя надвига «S» (красные стрелки) наблюдаются совпадающие или слегка смещённые минимумы всех трёх компонент, переходящие в максимальные значения амплитуд горизонтальных компонент и изредка всех трёх компонент.

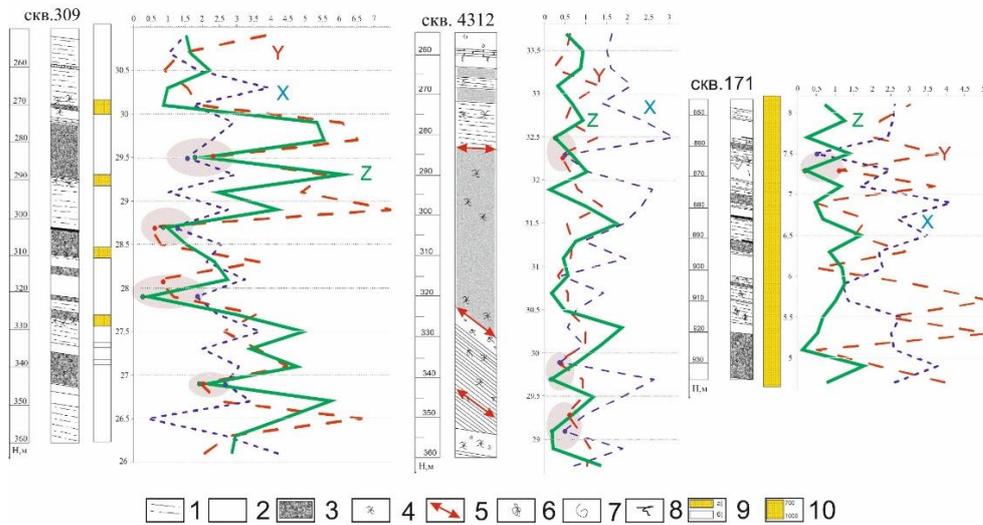
На рис 4 показано сопоставление графиков компонент X, Y, Z скважин 309 и 4312 с известными зонами трещиноватости как в верхних (глубины 250–400 м, датчики 1 и 3 соответственно), так и в нижних частях разреза – скв.171, датчик 4.

Максимумы значений компонент Z и Y у скв.309 совпадают с субгоризонтальными зонами 100% поглощения бурового раствора, а мощная вертикальная зона трещиноватости в узле пересечения надвигов Промежуточного и «S» проявляется сложным чередованием максимумов и минимумов компонент амплитудно-частотного спектра.

Интервал глубин 850-900 м по скв.171 в вертикальной зоне трещиноватости характеризуется тонкослоистым переслаиванием с сильным дроблением глинистых сланцев на глубинах 859 и 871 м (кern кусочками), где внутри указанного интервала в прослоях песчаника и алевролитов наблюдаются многочисленные зеркала скольжения. На графиках компонент Z и Y напротив зеркал скольжения ($f=7.3$ Гц) наблюдается общий минимум, сопровождаемый на $f=7.5$ Гц и $f=7.1$ Гц общими максимумами значений амплитуд в зонах дробления. Для компоненты X наблюдается аналогичное, но более сложное распределение значений микросейсм.

Механизм отражения вертикальных неоднородностей разреза в записи сложного сейсмического сигнала представляется следующим образом: надвиговые структуры во время подвижек оказывают кратковременное, но очень сильное давление на нижележащие породы (появляется минимум значений компоненты Z), затем, породы, прошедшие хрупкое разрушение, образуют зоны трещиноватости со 100% поглощением бурового раствора. Это чаще всего происходит на контактах глинистых сланцев с песчаниками, где и появляются максимумы амплитуд компонент Z и Y (иногда X). Таким образом, амплитудно-частотные спектры скоростей смещения

грунта имеют прозрачный физический смысл и могут быть использованы для прослеживания зон влияния тектонических нарушений.



1 — сланец песчаный, 2 — сланец глинистый, 3 — песчаник, 4 — трещиноватость, 5 — зеркала скольжения, 6 — флора, 7 — фауна, 8 — кучерявчик, 9 — поглощение бурового раствора: а) 100%, б) от 20 до 50%, 10 — вертикальная зона поглощения бурового раствора.

Рис. 4. Фрагменты геологических разрезов зон влияния тектонических нарушений и распределения значений скорости смещений грунта по компонентам X, Y, Z.

Составлено авторами.

ВЫВОДЫ

Авторами охарактеризованы два способа обработки сложного сигнала при выявлении зон влияния тектонических нарушений. Первый способ заключается в использовании максимальных амплитуд скорости смещения грунта и является «псевдопросвечиванием» массива с глубины 1000 м до поверхности. Второй способ основан на использовании преобразований Фурье и разложении накопленного и осредненного трехкомпонентного сигнала в спектр. Оба способа показали хороший геологический результат, но, в связи с малым количеством датчиков, не позволили выработать надежные критерии для углубленных геологических характеристик плоскостей сместителей надвиговых структур. Очевидно, что для исследования количественных характеристик и формы зон трещиноватости необходима статистическая обработка большого количества данных площадных исследований микросейсмического мониторинга. Авторы отмечают перспективность дальнейшего использования микросейсмического исследования, однако получение

**ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ**

количественных характеристик зон трещиноватости возможно только при использовании большего количества датчиков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках гос задания ФГБНУ «РАНИМИ» ГЗ №: FRSR 2023-0007 «Разработка геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов».

Список литературы

1. Коболев В.П. Пояса безопасности угольных шахт Донбасса // Геотехнологии. 2019. Т.2. С. 1-11.
2. Анциферов А.В., Голубев А.А., Канин В.А., Тиркель М.Г., Загара Г.З. и др. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины: монография. Донецк: Вебер, 2009. Т.1. 456 с.
3. Иванов Л.А. Глубина как фактор газоносности углей // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. Донецк, 2020. № 9 (24). С. 48–54.
4. Корчемагин В.А., Алехин В.И., Павлов И.О. Структурно-тектонифизические исследования для прогноза газоносности и горно-геологических условий на полях шахт Донецко-Макеевского района // Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ, 2010. Вып. 87. С. 209–217.
5. Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Хохлов М.Т., Привалов В.А., Голубев А.А. и др. Газоносность угольных месторождений Донбасса. К.: Наукова думка, 2004. 231 с.
6. Хохлов М.Т., Харитонов О.М., Трифонов П.Г., Козельский И.Т. и др. Многоволновые сейсмические исследования угольных месторождений Донбасса. К.: Наукова думка, 1990. 132 с.
7. Анциферов А.В. Прогноз горно-геологических условий отработки угольных пластов методами шахтной геофизики. К.: УкрГГРИ, 2003. 48 с.
8. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. Донецк: ООО «Алан», 2003. 311 с.
9. Анциферов А.В., Тиркель М. Г., Анциферов В. А. Сейсмическая разведка углепородных массивов. Донецк: Вебер, 2008. 202 с.
10. Анциферов А. В., Глухов А. А. Математическое моделирование в шахтной сейсморазведке. К.: Наукова думка, 2012. 254 с.
11. Горбатилов А.В., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н. Технология глубинного зондирования земной коры с использованием естественного низкочастотного микросейсмического поля // Изменение окружающей среды и климата: монография. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т.1. Ч.2. С. 223–236.
12. Горбатилов А.В. Возможность оценки параметров геологических объектов на основе использования фонового микросейсмического поля. Результаты экспериментальных исследований и моделирования // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: матер. междунар. сейсмологической школы. Обнинск, 2006. С. 67–72.
13. Горбатилов А.В., Цуканов А.А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих коростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2011. №4. С. 96–112.
14. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. №7. С. 66–84.
15. Аносов Г.И., Деметьев Ю.В., Чугачевич В.Я., Кроволапчук М.П. Методические особенности сейсмического микрорайонирования урбанизированных территорий сейсмически малоактивных регионов России // Сб. тр. конф. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ. М.: 2018. 11–14 декабря. С. 393–347.
16. Биряльцев Е.В., Камиллов М.Р. Выбор метода микросейсмических исследований в зависимости от решаемой задачи // Георесурсы. 2018. Т.20. №3. Ч.2. С. 217–221.

17. Анциферов А.В., Глухов А.А., Туманов В.В., Новгородцева Л.А. О программном комплексе обработки результатов микросейсмического мониторинга углеродных массивов // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2023. Т.10. №1. С. 15–22.
18. Симоненко В.А., Шишкин Н.И., Шишкина Г.А. Движение грунта в волне Рэлея, возникающей при подземном взрыве // *Прикладная механика и техническая физика*. 2006. Т.47. №4. С. 3–14.
19. Захаров В.Н., Харченко А.В. Влияние слоистого строения пород почвы и кровли на структуру полного волнового поля и параметры отдельных типов волн // *Науч. сообщ. ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского*. М.: 2002. Вып. 321. С. 108–121.
20. Сероглазов Р.Р. Эндогенные свойства короткопериодных микросейсм // *Вулканология и сейсмология*. 1991. №4. С. 32–43.
21. Орлов Р. А. Опыт использования микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы (на примере Воронежского Кристаллического массива) // *Вестник ВГУ, серия: геология*. 2011. №1, январь-июнь. С. 184–192.
22. Бережной Д.В., Биряльцев Е.В., Биряльцева Т.Е., Кипоть В.Л., Рыжков В.А. и др. Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды // *Сб. НИИ математики и механики Казанского университета*. Казань, 2008. С. 360–386.
23. Анциферов А.В., Глухов А.А. Комплекс обработки и анализ результатов микросейсмического мониторинга углеродных массивов // *Горный журнал*. 2024. №10(2327). С. 7–13.
24. Шарова Н.В., Маловичко А.А., Щукина Ю.К. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. К.2. Микросейсмичность. Петрозаводск, 2007. 95 с.
25. Мельников Н.Н. Методы и системы сейсμοдеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2009. Т.1. 303 с.
26. Анциферов А.В., Туманов В.В., Лобков Н.И., Бородин Д.С., Шалованов О.Л. и др. Мониторинг техногенной сейсмичности в зоне влияния угольных шахт Донбасса (на примере ш. «Калиновская-Восточная» ГП «Макеевуголь») // *Труды РАНМИ: сб. науч. тр. Донецк*, 2020. №9(24). С. 78–87.
27. Анциферов А.В., Туманов В.В., Новгородцева Л.А., Бородин Д.С. Оценка трещиноватости массива по данным наблюдений сложного сейсмического поля на поверхности шахты Калиновская-Восточная Донецко-Макеевского района ДНР // *Горный журнал*. 2024. №10(№2327). С. 14–24.
28. Туманов В.В., Трифонов А.В., Буждежан А.В. Определение областей напряжений в покровной толще подрабатываемого массива сейсмическим зондированием. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2013. № 13–2. С. 423–429
29. Глухов А.А., Туманов В.В., Трифонов А.В. Розроблення технології сейсмічної діагностики стану гірського масиву над видобувною виробкою при відпрацюванні вугільних пластів з потенційною небезпекою геодинамічних явищ. *Наука та інновації*. 2014. Т. 10. № 6. С. 52–54.

INTERRELATION BETWEEN THE COMPONENTS OF A COMPLEX PASSIVE SEISMIC SIGNAL FIELD WHEN IDENTIFYING THE INFLUENCE ZONES OF TECTONIC DISTURBANCES IN DONBASS

Antsiferov A. V.¹, Tumanov V. V.², Novgorodtseva L. A.³, Podvalkova Y. V.⁴

*^{1,2,3,4}Republican Academic Scientific, Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying, Donetsk, Russian Federation
E-mail: ¹ranimi@ranimi.org*

This study investigates the potential applications of three-component microseismic monitoring data acquired in the Donbas region during the years 2020 and 2021, specifically at the mine field known as “Kalinovskaya–Vostochnaya.” Throughout this period, monitoring was carried out under conditions of ongoing mining activities, where the presence of an active longwall face introduced additional complexities for seismic data

interpretation. The central aim was to determine whether microseismic observations could be effectively utilized for tracking and delineating zones of fracturing that typically accompany disjunctive (such as faults and ruptures) and plicative (fold-related) structural features within the subsurface geology.

A defining characteristic of the investigation was the exceptionally comprehensive knowledge of the geological section in the studied area. Detailed stratigraphic, structural, and geophysical mapping provided a unique opportunity to correlate observed microseismic signal attributes with specific geological formations and processes. Analytical attention was focused on the relationships between the amplitude ratios of the maximum components of complex microseismic signals and the presence or extent of fracture zones. The results demonstrated a robust correspondence: areas exhibiting strong maximum component ratios were almost invariably associated with the largest and most energetically significant fracture zones within the geological profile.

In addition, particular emphasis was placed on the qualitative representation of fault displacement planes, primarily those associated with thrust structures. Through spectral analysis of the microseismic components, distinct features corresponding to the spatial disposition and orientation of fault planes were identified. These spectral attributes proved to be in close agreement with the physical and mathematical modeling efforts undertaken by the Federal State Budgetary Scientific Institution “RANIMI.” Their models provided critical theoretical guidance for interpreting spectral data and for corroborating observed signal behaviors within the context of established physical principles.

A further significant finding was made concerning the vertical distribution of P-wave velocities within the geological section. Through both direct measurement and indirect spectral analysis, it was shown that these vertical velocity variations are reflected — almost in mirror fashion — in the amplitude distributions of the respective Fourier spectrum components of the recorded microseismic signals. This empirical relationship indicates a strong physical basis for the current theoretical developments is associated with the technique of microseismic sounding, reinforcing its scientific credibility and laying the groundwork for future methodological improvement.

Collectively, the findings from this research highlight both the promise and the limitations of microseismic monitoring for geostructural characterization in mining environments. While qualitative correlations and model-based interpretations are robust, the study underscores the necessity for further targeted research. Specifically, it advocates for the deployment of a substantially increased number of seismic sensors, optimally distributed throughout the mine field and surrounding geological structures. Only through such detailed, high-density observation can truly quantitative criteria be established — criteria that would allow precise localization, classification, and potentially predictive characterization of fracture zones arising from diverse geological and mining-induced mechanisms. This advancement would not only support safer and more efficient mining operations but also contribute significant knowledge to the fields of geophysics and underground resource management.

Keywords: microseismic measurements, frequency and amplitude spectrum, disjunctive faults, plicative faults, tectonic fault, Rayleigh wave.

References

1. Kobolev V.P. Poyasa bezopasnosti ugolnykh shakht Donbassa // *Geotekhnologii*. 2019. T.2. S. 1–11.
2. Anciferov A.V., Golubev A.A., Kanin V.A., Tirkel M.G., Zadara G.Z. i dr. *Gazonosnost i resursy metana ugolnykh bassejnov Ukrainy: monografiya*. Doneck: Veber, 2009. T.1. 456 s. (in Russian)
3. Ivanov L.A. Glubina kak faktor gazonosnosti uglej // *Trudy RANIMI: sb. nauch. tr.* Doneck, 2020. № 9 (24). S. 48–54. (in Russian)
4. Korchemagin V.A., Alekhin V.I., Pavlov I.O. Strukturno-tektonofizicheskie issledovaniya dlya prognoza gazonosnosti i gorno-geologicheskikh uslovij na polyakh shakht Donecko-Makeevskogo rajona // *Geotekhnicheskaya mekhanika*. Dnepropetrovsk: IGTM, 2010. Vyp. 87. S. 209–217. (in Russian)
5. Anciferov A.V., Tirkel M.G., Khokhlov M.T., Privalov V.A., Golubev A.A. i dr. *Gazonosnost ugol'nykh mestorozhdenij Donbassa*. K.: Naukova dumka, 2004. 231 s. (in Russian)
6. Khokhlov M.T., Kharitonov O.M., Trifonov P.G., Kozelskij I.T, i dr. *Mnogovolnovye sejsmicheskie issledovaniya ugol'nykh mestorozhdenij Donbassa*. K.: Naukova dumka, 1990. 132 s.
7. Anciferov A.V. *Prognoz gorno-geologicheskikh uslovij otrabotki ugol'nykh plastov metodami shakhtnoj geofiziki*. K.: UKRGGRI, 2003. 48 s. (in Russian)
8. Anciferov A.V. *Teoriya i praktika shakhtnoj sejsmorazvedki*. Doneck: OOO «AlaN», 2003. 311 s.
9. Anciferov A.V., Tirkel M.G., Anciferov V.A. *Sejsmicheskaya razvedka ugleporodnykh massivov*. Doneck: Veber, 2008. 202 s. (in Russian)
10. Anciferov A.V., Glukhov A.A. *Matematicheskoe modelirovanie v shakhtnoj sejsmorazvedke*. K.: Naukova dumka, 2012. 254 s. (in Russian)
11. Gorbaticov A.V., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Stepanova M.YU., Ovsyuchenko A.N. *Tekhnologiya glubinnogo zondirovaniya zemnoj kory s ispolzovaniem estestvennogo nizkochastotnogo mikrozejsmicheskogo polya // Izmenenie okruzhayushchej sredy i klimata: monografiya*. M.: IFZ RAN, 2008. T.1. CH.2. S. 223–236. (in Russian)
12. Gorbaticov A.V. *Vozmozhnost ocenki parametrov geologicheskikh obektov na osnove ispolzovaniya fonovogo mikrozejsmicheskogo polya. Rezultaty ehksperimentalnykh issledovanij i modelirovaniya // Sovremennye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskikh dannykh: mater. mezhdunar. sejsmologicheskij shkoly*. Obninsk, 2006. S. 67–72. (in Russian)
13. Gorbaticov A.V., Cukanov A.A. *Modelirovanie voln Rehleya vblizi rasseivayushchikh korostnykh neodnorodnostej. Issledovanie vozmozhnostej metoda mikrozejsmicheskogo zondirovaniya // Fizika Zemli*. 2011. №4. S. 96–112. (in Russian)
14. Gorbaticov A.V., Stepanova M.YU., Korablev G.E. *Zakonomernosti formirovaniya mikrozejsmicheskogo polya pod vliyaniem lokal'nykh geologicheskikh neodnorodnostej i zondirovanie sredy s pomoshch'yu mikrozejsm // Fizika Zemli*. 2008. №7. S. 66–84. (in Russian)
15. Anosov G.I., Dementev YU.V., Chugaevich V.YA., Krovlapchuk M.P. *Metodicheskie osobennosti sejsmicheskogo mikrorajonirovaniya urbanizirovannykh territorij sejsmicheski maloaktivnykh regionov Rossii // Sb. tr. konf. Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskanij v stroitel'stve v RF*. M.: 2018. 11–14 dekabrya. S. 393–347. (in Russian)
16. Biryalcev E.V., Kamilov M.R. *Vybor metoda mikrozejsmicheskikh issledovanij v zavisimosti ot reshaemoj zadachi // Georesursy*. 2018. T.20. №3. CH.2. S. 217–221. (in Russian)
17. Anciferov A.V., Glukhov A.A., Tumanov V.V., Novgorodceva L.A. *O programmnom komplekse obrabotki rezultatov mikrozejsmicheskogo monitoringa ugleporodnykh massivov // Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2023. T.10. №1. S. 15–22. (in Russian)
18. Simonenko V.A., Shishkin N.I., Shishkina G.A. *Dvizhenie grunta v volne Rehleya, vznikayushchej pri podzemnom vzryve // Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*. 2006. T.47. №4. S. 3–14. (in Russian)
19. Zakharov V.N., Kharchenko A.V. *Vliyanie sloistogo stroeniya porod pochvy i krovli na strukturu polnogo volnovogo polya i parametry otdelnykh tipov voln // Nauch. soobshch. NNC GP-IGD im. A.A. Skochinskogo*. M.: 2002. Vyp. 321. S. 108–121. (in Russian)
20. Seroglazov P. P. *Endogennye svoystva korotkoperiodnykh mikrozejsm // Vulkanologiya i sejsmologiya*. 1991. №4. S. 32–43. (in Russian)
21. Orlov R.A. *Opyt ispolzovaniya mikrozejsmicheskogo shuma dlya resheniya geologicheskikh zadach v usloviyakh platformy (na primere Voronezhskogo Kristallicheskogo massiva) // Vestnik VGU. Seriya: geologiya*. 2011. №1, yanvar-iyun. S. 184–192. (in Russian)

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТ ПОЛЯ СЛОЖНОГО ПАССИВНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ВЛИЯНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОНБАССЕ

22. Bereznoj D.V., Biryalcev E.V., Biryalceva T.E., Kipot V.L., Ryzhkov V.A. i dr. Analiz spektralnykh kharakteristik mikrosejsm kak metod izucheniya struktury geologicheskoy sredy // Sb. NII matematiki i mekhaniki Kazanskogo universiteta. Kazan', 2008. S. 360–386. (in Russian)
23. Anciferov A.V., Glukhov A.A. Kompleks obrabotki i analiz rezul'tatov mikrosejsmicheskogo monitoringa ugleporodnykh massivov // Gornyj zhurnal. 2024. №10 (2327). S. 7–13. (in Russian)
24. Sharova N.V., Malovichko A.A., Shchukina YU.K. Zemletryaseniya i mikrosejsmichnost v zadachakh sovremennoj geodinamiki Vostochno-Evropejskoj platformy. K.2. Mikrosejsmichnost'. Petrozavodsk, 2007. 95 s. (in Russian)
25. Melnikov N.N. Metody i sistemy sejsmodeformacionnogo monitoringa tekhnogennykh zemletryasenij i gornykh udarov. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN, 2009. T.1. 303 s. (in Russian)
26. Anciferov A.V., Tumanov V.V., Lobkov N.I., Borodin D.S., Shalovanov O.L. i dr. Monitoring tekhnogennoj sejsmichnosti v zone vliyaniya ugolnykh shakht Donbassa (na primere sh. «Kalinovskaya-Vostochnaya» GP «Makeevugol» // Trudy RANIMI: sb. nauch. tr. Doneck, 2020. №9(24). S. 78–87. (in Russian)
27. Anciferov A.V., Tumanov V.V., Novgorodceva L.A., Borodin D.S. Ocenka treshchinovatosti massiva po dannym nablyudenij slozhnogo sejsmicheskogo polya na poverkhnosti shakhty Kalinovskaya-Vostochnaya Donecko-Makeevskgo rajona DNR // Gornyj zhurnal. 2024. №10 (№2327). S. 14–24. (in Russian)
28. Tumanov V.V., Trifonov A.V., Buzhdezhan A.V. Opredelenie oblastej napryazhenij v pokrovnoj tolshechke podrabatyvaemogo massiva sejsmicheskim zondirovaniem. Naukovi praci UkrNDMI NAN Ukraïni. 2013. № 13–2. S. 423–429 (in Russian)
29. Glukhov A. A., Tumanov V. V., Trifonov A.V. Rozroblennya tekhnologii sejsmichnoï diagnostiki stanu girs'kogo masivu nad vidobuvnoyu virobkoyu pri vidpracyuvanni vugil'nikh plastiv z potencijnoyu nebezpekoyu geodinamichnikh yavishch. Nauka ta innovacii. 2014. T. 10. № 6. S. 52–54.

Поступила в редакцию 06.10.2025 г.