ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2024;(2):35-50
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.14 DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_35

ИЗУЧЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННЫМ БУРЕНИЕМ ИЗ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Н.Н. Гриб

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Нерюнгри, Россия, e-mail: grib-n-n@yandex.ru

Аннотация: На современном этапе существует значительное количество методов прогноза тектонических нарушений шахтных полей. Однако они не всегда позволяют обеспечить необходимую достоверность и точность данных. В результате нарушения часто фиксируются лишь при вскрытии запасов полезного ископаемого или уже в процессе очистных работ. На шахтном поле шахты «Инаглинская» в Якутии для изучения тектонической нарушенности угольного пласта Д15 при подготовке участка поля к очистным работам был применен инновационный способ – бурение горизонтально-направленных скважин из подготовительных горных выработок. Целью бурения являлось детальное изучение тектонического строения шахтного поля. Бурение выполнялось без отбора керна, но с фиксацией зенитного и азимутального углов с интервалом 3 м и геофизическими исследованиями методом гамма-каротажа в режиме реального времени. Таким образом, прямым источником геологической информации являлся буровой шлам. Всего было пробурено 4 скважины и 65 ответвлений из них. Основными факторами для локализации тектонических нарушений являлись: вертикальные смещения кровли пласта, резкое изменение угла падения и мощности пласта, технологические факторы бурения (поглощение промывочной жидкости, прихваты бурового инструмента и пр.). На основе полученной при бурении информации для исследуемого участка определены абсолютные отметки и построена схема гипсометрии почвы пласта Д15. Установлено, что участок осложнен малоамплитудными тектоническими нарушениями – как пликативными, так и дизъюнктивными. Выявлены нарушение сбросового типа с амплитудой 6,4 м и флексура с амплитудой 24 м.

Ключевые слова: тектонические нарушения, горизонтально-направленное бурение, гамма каротаж, гипсометрия почвы угольного пласта.

Для цитирования: *Гриб Н. Н.* Изучение тектонических нарушений угольных пластов горизонтально-направленным бурением из подготовительных горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 2. – С. 35–50. DOI: 10. 25018/0236_1493_2024_2_0_35.

Investigation of tectonic faults in coal seams using horizontal directional drilling from temporary roadways

N.N. Grib

Neryungri Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Neryungri, Russia, e-mail: grib-n-n@yandex.ru

© Н.Н. Гриб. 2024.

Abstract: Today there are many methods to predict tectonic faults within the limits of mine fields. However, the data provided by these methods are not always sufficiently accurate and reliable. As a consequence, faults are often located when uncovering coal seams or even in the course of longwalling. In Inagli Mine in Yakutia, the tectonic faulting of coal seam D15 was investigated at the stage of the seam preparation for mining using an innovative approach—horizontal directional drilling from temporary roadways. The goal was to survey in detail the tectonic structure of the mine field. Drilling involved no core sampling but included recording of zenith and azimuth angles at an interval of 3 m, as well as the gamma ray logging in real time. In this manner, the direct source of the geological information is drill cuttings. All in all, 4 holes with 65 branches were drilled. The main factors for location of tectonic faults were: the vertical displacements in the seam roof, the leaps in the dip and thickness of the seam, the technology factors of drilling (circulation fluid consumption, drilling tool seizure, etc.). Based on the information obtained during drilling in the test site, the actual elevations were determined, and the hypsometric map of the floor of coal seam D15 was plotted. It is found that the test site is complicated with the low-amplitude tectonic faults, including both plicative and disjunctive dislocations. A fault displacement with an amplitude of 6.4 m and a flexure with an amplitude of 24 m are revealed.

Key words: tectonic faults, horizontal directional drilling, gamma ray logging, coal seam floor hypsometry.

For citation: Grib N. N. Investigation of tectonic faults in coal seams using horizontal directional drilling from temporary roadways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(2):35-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_35.

Введение

Тектонические нарушения угольных пластов являются одним из наиболее распространенных геологических факторов, которые в большинстве случаев осложняют проведение горных работ.

Изучение тектоники угольных месторождений проводится как на стадиях геологической разведки, так и в процессе эксплуатации месторождения.

Разработано большое количество методик и методов изучения тектонического строения угольных месторождений в целом и шахтных полей в частности [1], что свидетельствует об актуальности и важности решения данной проблемы для горнодобывающих предприятий. Используются как отдельные методики, основанные на применении геологических данных геологоразведочных скважин, документации горных выработок шахтной геологической службой [2, 3], горно-геологического анализа, геофизических методов [4—6], методы математического моделирования [7—9], так и комплексные, включающие геологические, горно-геометрические и геофизические методы, статистическую обработку и вероятностные методы прогноза, позволяющие получить более широкое представление о горно-геологических условиях изучаемого объекта [10, 11].

Также для изучения тектонических нарушений при разработке угольных месторождений предлагаются новаторские решения (например, использование мультифрактального подхода [12] или прочностных показателей пород кровли пласта в совокупности с 3D-моделированием в горно-геологической информационной системе Micromine [13]). Вместе с тем, несмотря на наличие обширной

нормативно-технической и научной базы, однозначного решения задачи прогноза тектонических нарушений угольных пластов на сегодняшний день нет.

Целью выполненных исследований являлось детальное изучение тектонического строения шахтного поля в процессе эксплуатации угольного месторождения.

Методы исследования

На шахтном поле шахты «Инаглинская» Чульмаканского каменноугольного месторождения при подготовке участка шахтного поля к очистным работам для изучения тектонических нарушений угольного пласта $Д_{15}$ был предложен инновационный способ горизонтально-направленного бурения скважин (ГНБ) в угольном пласте.

Обзор отечественной и зарубежной литературы показал, что данный подход на угольных месторождениях не применялся, хотя ГНБ позволяет решить широкий круг задач при разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа [14–16], прокладке трубопроводов, строительстве тоннелей [17 — 19].

В работе [20] авторы определили возможный круг решаемых задач при разработке твердых полезных ископаемых, бурении наклонно-горизонтальных скважин. Авторы отмечают: «Благодаря своим уникальным возможностям многофункциональные наклонные буровые установки имеют самую широкую потенциальную область применения и при добыче твердых полезных ископаемых, охватывающую: дегазацию угольных месторождений; осушение и водоотлив (проходка дренажных выработок и скважин водоосушения, заморозка породного массива); проходку наклонных и вертикальных горных выработок (стволов и вентиляционных скважин, штолен, штреков и т.д.); геологоразведочные работы (предварительная, детальная, эксплуатационная разведка месторождений ТПИ) и отбор валовых проб для технологических исследований; буровзрывные работы на открытых и подземных горных работах; повышение эффективности процессов скважинного выщелачивания и скважинной гидродобычи» [20, с. 27]. Отсюда следует, что развитие технологии многофункционального направленного бурения решает широкий круг задач при добыче твердых полезных ископаемых бурением горизонтально-направленных скважин.

Следует отметить, что на угольных месторождениях, как в нашей стране, так и за рубежом, ГНБ применяется в основном для дегазации угольных пластов, осушения и водоотлива (проходка дренажных скважин) [21 — 24].

Чульмаканское каменноугольное месторождение в структурном плане приурочено к зоне пологого залегания пород. Стратиграфический разрез угленосных отложений юрского периода на месторождении представлен двумя свитами (сверху вниз): кабактинской верхнеюрского возраста и дурайской среднеюрского возраста. На изучаемом участке промышленный и геологоразведочный интерес представляют угольные пласты дурайской свиты, в частности пласт $Д_{15}$. По данным детальной разведки, пласт $Д_{15}$ по мощности средний (1,0 — 1,5 м), по выдержанности — относительно выдержанный. Строение пласта преимущественно простое. Единичными скважинами выявлен 1 породный прослой мощностью 0,1 — 0,2 м, представленный алевролитами.

Моноклинальное залегание пластов угля осложнено волнистостью, складчатостью, крупноамплитудными, малоамплитудными и безамплитудными разрывными нарушениями, послойными подвижками и деформациями в породах и пластах угля, флексурными перегибами с возрастанием угла падения пластов до 5 — 10° [25].

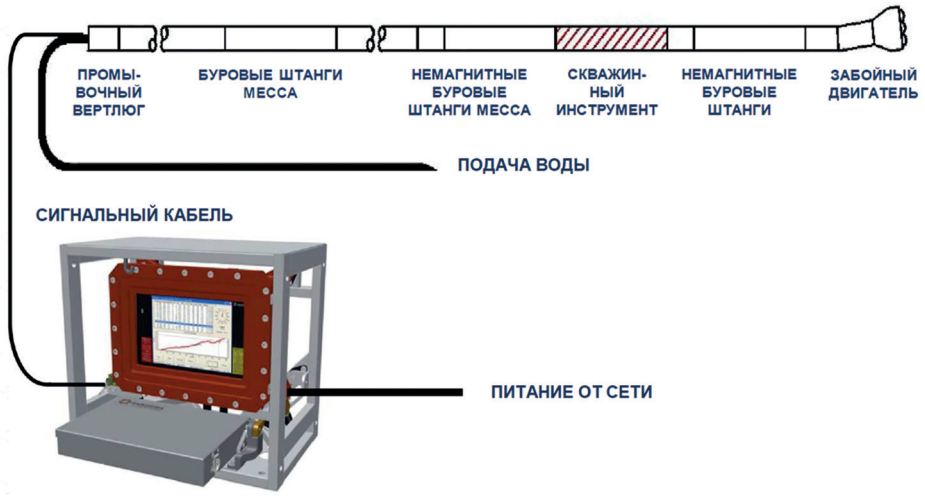


Рис. 1. Структурная схема системы направленного бурения (DGS)
Fig. 1. Directional drilling diagram (DGS)

Крупноамплитудные разрывные нарушения выявлены детальной разведкой.

Малоамплитудная тектоника начала изучаться на стадии освоения месторождения, и первые значимые результаты были получены в результате выполнения детализационных геологоразведочных работ в центральной части поля шахты «Инаглинская».

Задачами ГНБ являлись: локализация тектонических нарушений угольного пласта; уточнение распространения тектонических нарушений, выявленных ранее проведенными геологоразведочными работами; определение возможных амплитуд смещения тектонических нарушений и прослеживания их по простиранию и падению осадочной толщи пород, вмещающей угольный пласт $Д_{15}$.

Бурение куста скважин велось станком IDS-90 с системой направленного бурения DGS (Drill Guidance System) производства GE Mining Industrea (Австралия) (https://www.bloomberg.com/profile/company/637480Z:AU). Система DGS используется для проведения подземных направленных буровых работ, для дренирования газа и геологоразведочных работ. Она оснащена графическим пользовательским интерфейсом для управления забойными двигателями, а также средством проведения геофизических измерений в процессе бурения (рис. 1).

Система DGS включает в себя следующие устройства:

- персональный компьютер;
- переносной регистратор данных ODA Disk для хранения и передачи данных;
- линия МЕССА (модульный кабель-переходник с электрическим подключением) для соединения установленного около устья скважины ПК со скважинным инструментом;
- скважинный инструмент с мембранным интерфейсом, расположенным внутри бурильной колонны, для проведения исследований и геофизических измерений (AUS Ex 3870X).

Геофизические исследования в скважинах проводились методом гамма-каротажа (ГК).

Метод прост в исполнении и обладает достаточной дифференцирующей способностью, так как разница в естественной радиоактивности между углем и вмещающими породами составляет 5 — 7 раз.

1	ШАХТА :		"Инаглинская"					ПРОЕКТНЫЙ АЗИМУТ			330,0	Исходные данные по скважине 2				
2	СКВАЖИНА :		2					ПРОЕКН. ЛЕВО/ПРАВО			0,0					
3	ДАТА :		13.11.2021					МОЩНОСТЬ ПЛАСТА			3,0					
4	ГАММА :		0,0				ИНТЕНСИВНОСТЬ ИСКРИВЛЕНИЯ (град/6м)				1,5					
5	Длина скв.	Азимут	Зенит. угол	Л/П	В/Н	Абс. Отм	Датчик №1	Датчик №2								
6	м	град	град	м.	м.	м.	имп/сек	имп/сек								
7	0	330	0	0,0	0,00	761,00	0,00	0,00								
8	6	327,96	6,26	-0,11	0,33	761,33	118,00	120,00								
9	9	328,48	6,83	-0,20	0,67	761,67	142,00	144,00								
10	12	329,24	6,46	-0,26	1,02	762,02	129,00	125,00								
11	15	329,26	5,7	-0,30	1,33	762,33	98,00	113,00								
12	18	329,09	5,08	-0,34	1,62	762,62	192,00	190,00								
13	21	331,48	6,01	-0,33	1,91	762,91	184,00	168,00								
14	24	334,48	5,64	-0,17	2,21	763,21	145,00	145,00								
15	27	335,16	4,17	0,08	2,47	763,47	130,00	154,00								
16	30	334,25	2,36	0,33	2,64	763,64	139,00	150,00								
17	33	332,89	1,1	0,51	2,73	763,73	126,00	149,00								
18	36	331,62	0,3	0,63	2,76	763,76	149,00	136,00								
19	39	330,27	-0,54	0,68	2,76	763,76	127,00	139,00								
20	42	329,94	-1,15	0,69	2,71	763,71	150,00	153,00								
21	45	332,27	0,46	0,74	2,70	763,70	130,00	139,00								
22	48	332,2	2,27	0,86	2,77	763,77	141,00	133,00								
23	51	331,24	3,09	0,95	2,91	763,91	124,00	122,00								
24	54	330,16	3,69	0,99	3,08	764,08	130,00	135,00								
25	57	328,65	4,57	0,96	3,30	764,30	133,00	120,00								
26	60	327,9	5,1	0,87	3,55	764,55	131,00	143,00								
27	63	328,65	6,16	0,78	3,85	764,85	139,00	127,00								
28	66	328,25	6,58	0,69	4,18	765,18	148,00	150,00								
29	69	329,1	7,45	0,63	4,55	765,55	140,00	131,00								
30	72	328,53	7,71	0,56	4,94	765,94	125,00	123,00								
31																

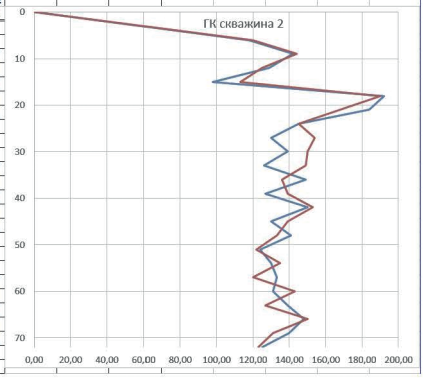
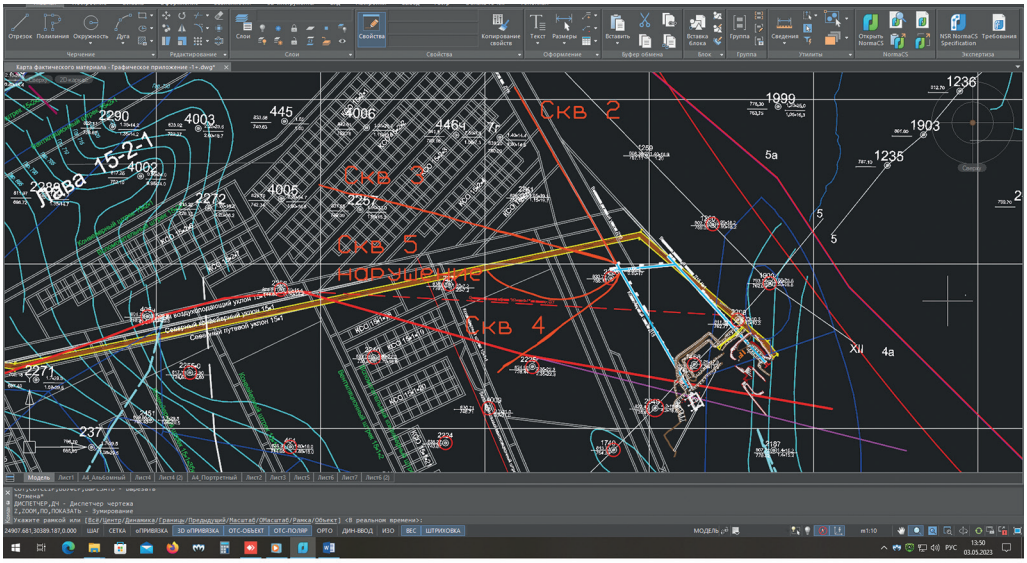


Рис. 2. Вид рабочего окна на персональном компьютере
Fig. 2. Drilling Parameters Window

В процессе бурения на дисплее персонального компьютера в реальном режиме времени отражается протокол параметров и результатов бурения (рис. 2).

При проведении детальных геологоразведочных работ на запроектированном участке веер скважин № 2—5 был заложен в Западном конвейерном стволе шахты «Инаглинская» (рис. 3). ГНБ выполнялось с горизонтальной, восходящей и нисходящей траекториями.

Направленное бурение выполнялось с ориентиром на предварительно заданные траектории пласта, полученные по



– проектируемые очистные выработки – траектории скважин ГНБ

Рис. 3. Схема расположения скважин горизонтально-направленного бурения
Fig. 3. The layout of wells for horizontal directional drilling

результатам детальной разведки, с фиксацией зенитного и азимутального углов с интервалом 3 м. Разрушение горных пород при бурении скважин проводилось с использованием винтовых забойных двигателей по всей площади забоя, поэтому прямым источником геологической информации является буровой шлам. Для выделения пластов угля среди вмещающих пород в процессе буровых работ проводился ГК с формированием диаграмм естественной радиоактивности в режиме реального времени.

В задачи бурения ответвлений от основного ствола в кровлю и почву входило определение мощности пласта, состава вмещающих пород, поиски пласта в зонах тектонических нарушений.

Все скважины и ответвления бурились или по простиранию, или по падению пласта. Зенитный угол оси скважин изменялся от 0° до 20°, в ответвлениях от 1,5° до 30° (по абсолютной величине), вследствие чего в пластопересечениях мы наблюдаем видимую мощность. Прогнозировать морфологию пласта по данным направленного бурения в данных работах было проблематично, тем более что бурение велось бескерновым способом. По этой же причине не совсем достоверно удавалось прогнозировать состав пород кровли по извлеченной буровой мелочи.

Основными факторами при локализации тектонических нарушений пласта были приняты: вертикальные смещения кровли пласта, резкое изменение угла падения и мощности пласта, технологические факторы бурения (поглощение промывочной жидкости, прихваты бурового инструменте и т.д.).

Результаты

Скважина № 2 пробурена вдоль проектируемого путевого уклона пласта $Д_{15}$ и вентиляционного уклона пласта $Д_{15}$. Кроме основного ствола пробурено девять нисходящих и восходящих ответвлений. Общий объем бурения составил 900 м.

По результатам бурения получена следующая геологическая информация.

Азимут заложения основного ствола составил 327,96°, зенитный угол заложения — (+6,26°). Основной ствол пробурен восстающей скважиной и пройден по углевмещающим породам до отметки 72 м. Проектное положение пласта (в 40 м от устья скважины) не встречено. В интервале отметок 0 — 250 м были пробурены дополнительно три восходящих и нисходящих ствола, которыми зафиксировано фактическое положение пласта с абсолютными отметками почвы в интервале 761,4 — 764,06 м. На отметке 331 м (от устья основного ствола скважины) ствол ответвления № 4 вышел из пласта (см. рис. 4).

Было отмечено полное поглощение промывочной жидкости, а также подтвержден геофизической документацией геологического разреза скважины, по данным гамма-каротажа, вход ответвления № 4 в породу. Бурением ответвления № 5 (с отметки 312 м до 384 м от устья скважины) подтвержден выход скважины из угольного пласта на отметке 333 м (рис. 4, 5). Восстающим ответвлением № 6 угольный пласт встречен не был. Таким образом, на отметке 333 м произошло смещение положения пласта в вертикальной плоскости.

Для уточнения положения пласта $Д_{15}$ бурением нисходящего ответвления № 7 была подсечена кровля пласта на отметке 473 м от устья скважины, и далее скважина проходила по пласту с небольшим восстанием, зенитный угол изменялся от (–2,6) до (+4,2), и в отметке 505 м она пересекла кровлю пласта и вышла во вмещающие породы.

С учетом результатов, полученных по ответвлению № 7, были заданы нисходящие ответвления № 8 и № 9, которые

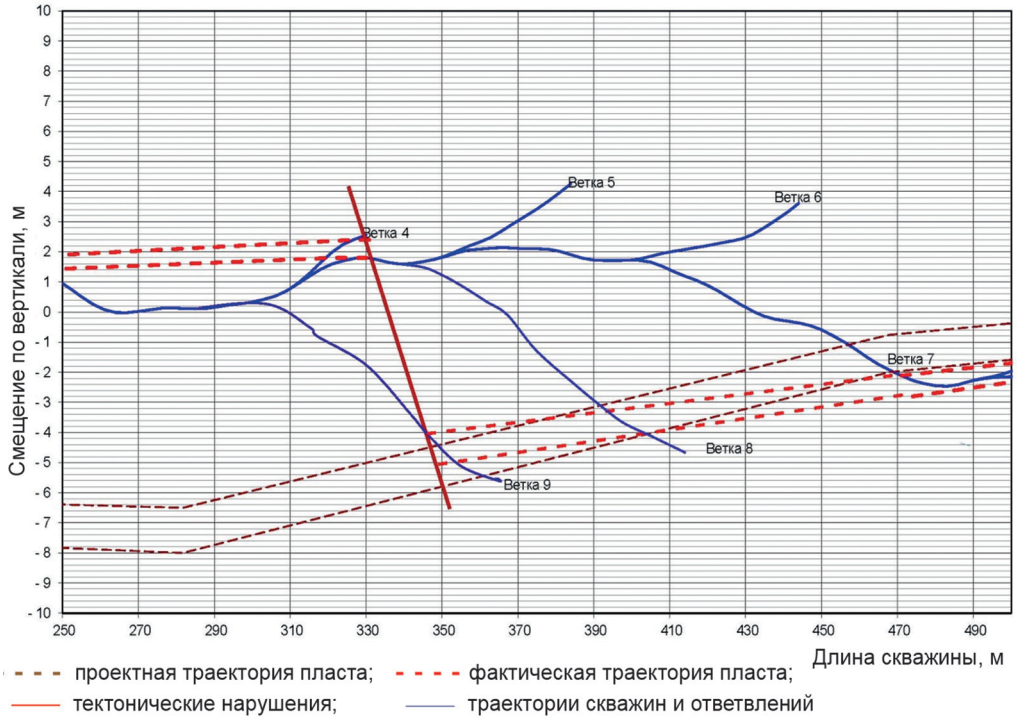


Рис. 4. Проекции на вертикальную плоскость траектории бурения стволов ответвлений № 4 – 8, скважины № 2, в интервале 250 – 500 м

Fig. 4. Projections on the vertical plane of the drilling trajectory of branches barrels No. 4–8, Borehole No. 2, in the interval of 250–500 m

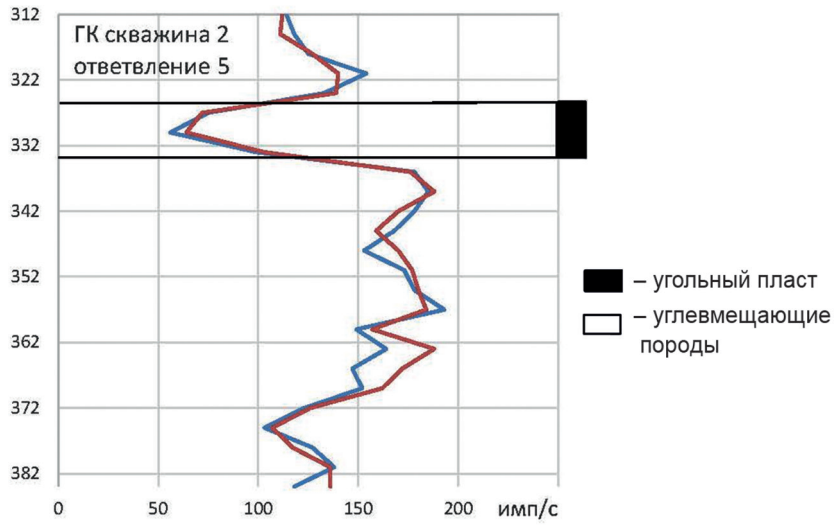


Рис. 5. Интерпретация диаграмм ГК с выделением границ пласта

Fig. 5. Gamma-ray logging interpretation and seam delineation

перебурили угольный пласт в интервалах: кровля — 393 м, почва — 403 м; кровля — 346 м, почва — 351,5 м, соответственно (см. рис. 4). Пласт в данных интервалах состоит из 2 пачек угля и породного прослоя (рис. 6). По результатам бурения ответвлений № 4—9 выявлено тектоническое нарушение сбросового типа, на отметке 333 м.

По данным бурения ответвлений № 4 и № 9, амплитуда смещения составила 6,4 м, что видно из проекции на вертикальную плоскость траектории стволов скважин и контура пласта $Д_{15}$ (рис. 4). По данным протокола цифровой системы DGS, абсолютная отметка кровли пласта в ответвлении № 4 составила 763,25 м, а в ответвлении № 9 — 756,85 м. Установленное нарушение в процессе ГНБ при детальной разведке Чульмаканского месторождения не было обнаружено.

При разработке угольных месторождений особое место занимает неразрыв-

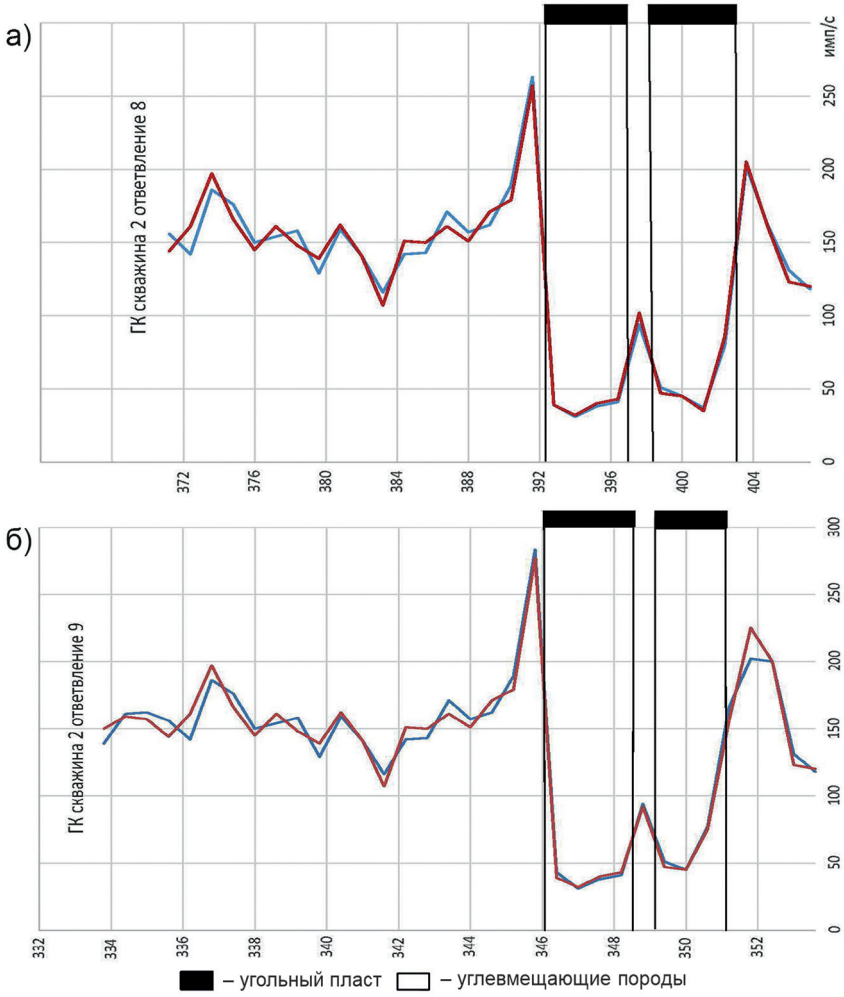


Рис. 6. Интерпретация диаграмм ГК с выделением границ пласта Д15: ответвление № 8 (а); ответвление № 9 (б)

Fig. 6. Gamma-ray logging interpretation and D15 delineation: sidehole No. 8 (a); sidehole No. 9 (b)

ная и малоамплитудная нарушенность угольных пластов, так как от полноты ее изученности зависит эффективность ведения горных работ, полнота извлечения полезного ископаемого. Поэтому рассмотрим изучение неразрывной и малоамплитудной тектоники ГНБ на примере скважины № 4.

Скважина № 4 заложена в Западном конвейерном стволе шахты Инаглинская. Кроме основного ствола пробурено 13 ответвлений. Всего с ответвлениями в данной скважине пробурено 723 м. Скважина пересекла проектную горную выработку, лаву 15-1-1 бис (см. рис. 3).

Начало бурения скважины проводилось с пространственными параметрами: по зенитному углу — 0°, по азимуту — 202°. Нисходящей веткой основного ствола скважина подсекла кровлю угольного пласта на отметке 20 м, при изменении зенитного угла с 0° до –3,33°. Далее скважина до отметки 108 м бурилась по породам кровли параллельно пласту с зенитным углом 8—12°, то есть в среднем угол падения пласта составил 10°. Таким образом, на отметке 20 м от устья произошло резкое изменение угла падения пласта — с 0° до 10°, что позволяет прогнозировать на этой отметке начало тектонического нарушения (рис. 7).

Ответвление № 1 пересекло пласт $Д_{15}$ в интервалах отметок 86—96 м и 170—204 м. По данным ГК, пласт в данном интервале без породных прослоев (см. рис. 8). Смещение кровли пласта между верхним и нижним крылом флексуры в скважине № 4 составило 24 м (см. рис. 7).

Ответвление № 3 забурено из угольного пласта и на отметке 208 м подсекло кровлю угольного пласта. Далее скважина прошла 3 м по породам кровли и на отметке 234 м подсекла почву

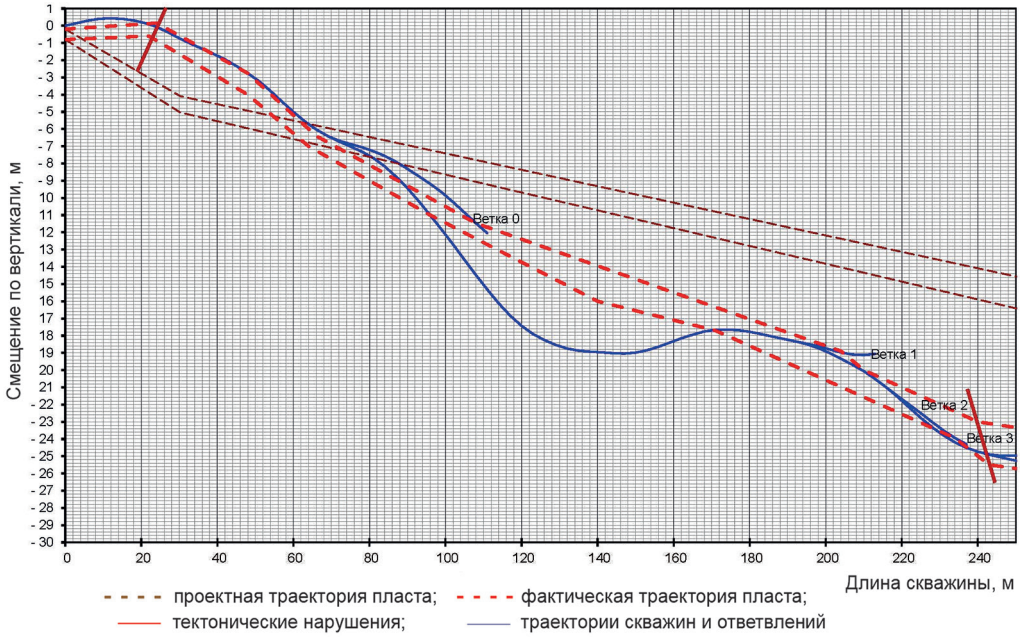


Рис. 7. Проекции на вертикальную плоскость траектории бурения основного ствола и ответвлений № 1—3, скважины № 4, в интервале 0—250 м

Fig. 7. Drilling course longitudinal sections for the main hole and side holes No. 1—3, borehole 4 and within the interval of 0—250 m

пласта. В пробуренном интервале пласт простого строения, породных прослоев не встречено. По результатам бурения основного ствола и ответвлений № 1 — 3 установлено тектоническое нарушение флексурного типа. По данным детальной разведки тектонических нарушений в указанном интервале не установлено. Основным стволом подсечено верхнее крыло в интервале отметок 0 — 20 м. Смыкающее крыло подсечено основным стволом и ответвлениями № 1 — 3 в интервале 24 — 242 м. Нижнее крыло перебурено ответвлениями № 3, 4 и 8, в интервале отметок 242 — 276 м (рис. 7, 9). Абсолютная отметка верхнего крыла 762,15 м, нижнего крыла 738,15 м.

На отметке 450 м от устья ответвления № 10 — 12 вышли из угольного пласта и подсекли тектоническое нарушение. Бурение ответвления № 13 с целью локализации местоположения пласта не увенчались успехом, так как на отметке 484 м произошла авария с буровым инструментом и бурение скважины было остановлено.

Бурением ответвлений № 4 — 12 установлено, что морфология пласта в ин-

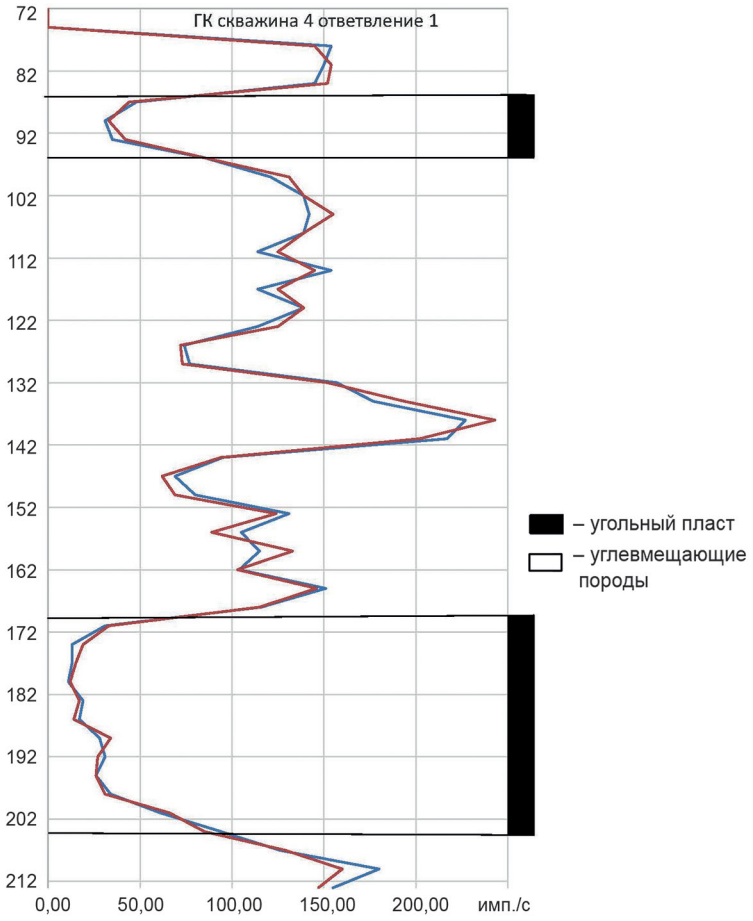


Рис. 8. Интерпретация диаграмм ГК, с выделением границ пласта Д15, в интервалах отметок 86 — 96 м и 170 — 204 м

Fig. 8. Gamma-ray logging interpretation and D15 delineation in the intervals of 86 — 96 and 170 — 204 m

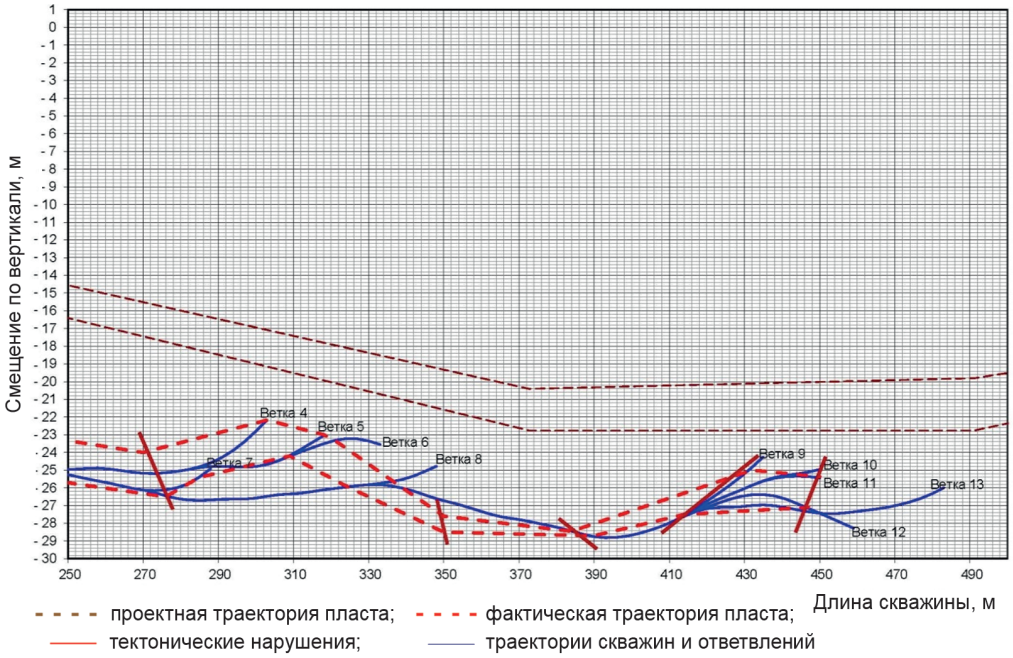


Рис. 9. Проекции на вертикальную плоскость траектории бурения ответвлений № 4—13, скважины № 4, в интервале 250—500 м

Fig. 9. Drilling course longitudinal sections for side holes No. 4—13, borehole No. 4 and within 250—500 m

тервале 270—450 м от устья скважины осложнена пликативными нарушениями в виде складок, флексур, фиксируется уменьшение мощности пласта. Пример локализации малоамплитудной тектоники показан на рис. 9.

Обсуждение результатов

Учитывая ограничения по объему статьи и аналогичность методических приемов исследования, при бурении скважин № 3 и 5, а также их ответвлений, подробно не будем останавливаться на результатах, полученных по каждой из них. Ниже проведем комплексный анализ геологических результатов, полученных горизонтально-направленным бурением скважин № 2—5. Следует отметить, что бурение скважины № 5 также остановлено в тектоническом нарушении — по причине аварии с буровым инструментом на отметке 442 м. Высокоамплитудная флексура (с амплитудой до 24 м), малоамплитудные тектонические нарушения также были локализованы в скважинах № 3 и 5.

При проведении комплексного анализа результатов геологоразведочных работ, выполненных скважинами горизонтального направленного бурения, определены абсолютные отметки почвы пласта $Д_{15}$ по каждой из скважин, в местах пересечения скважинами почвы пласта. Проектное положение пласта, спрогнозированное по результатам детальной разведки, не подтвердилось данными ГНБ.

По полученным данным построена схема гипсометрии почвы пласта $Д_{15}$ и ее объемная модель (см. рис. 10, 11), которые отражают в общем виде гипсометрию почвы пласта на изучаемом участке.

В результате ГНБ локализована высокоамплитудная флексура по скважинам № 3—5 юго-западного падения. Установлено пространственное положение

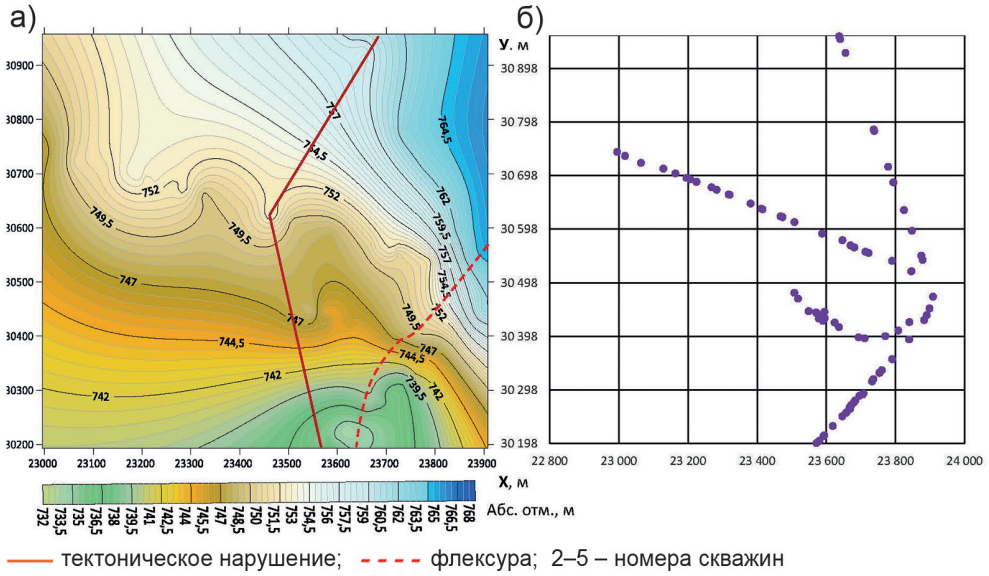


Рис. 10. Гипсометрия почвы, изучаемого участка, пласта Д15, построенная по скважинам № 2 – 5: гипсометрия почвы пласта Д15 (а); пространственное положение скважин (б)

Fig. 10. Hypsometry of the soil, the study area, layer D15, built on wells No. 2 – 5: D15 floor hypsometry (a); borehole spatial position (b)

тектонического нарушения, локализованного скважинами № 2 – 5. Выявлен ряд малоамплитудных нарушений угольного пласта $Д_{15}$ (см. рис. 10 и 11).

Заключение

Таким образом, на основе анализа полученных материалов горизонтально-направленного бурения из подземных

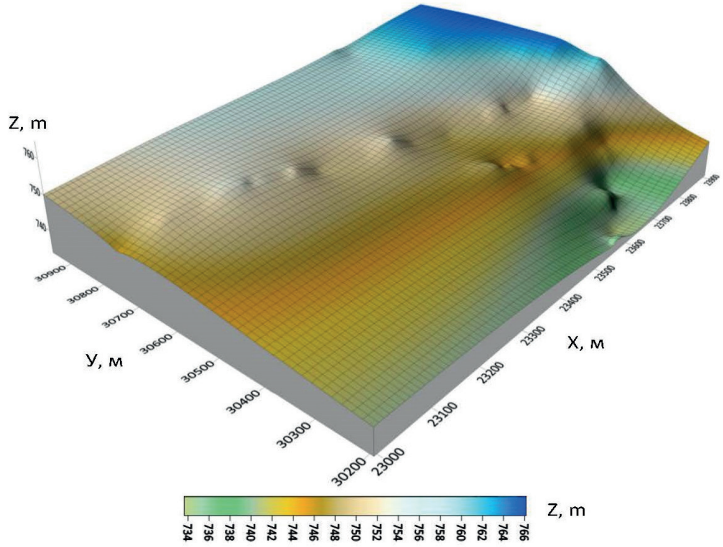


Рис. 11. Объемная модель гипсометрии пласта Д15 на изучаемом участке шахтного поля

Fig. 11. D15 hypsometry three-dimensional model within the mine field section being investigated

горных выработок, можно сделать вывод, что детализируемый участок осложнен малоамплитудными (как пликативными, так и дизъюнктивными) тектоническими нарушениями.

Выявлено тектоническое нарушение сбросового типа амплитудой 6,4 м.

Установлена тектоническая структура флексурного типа с амплитудой до 24 м.

Применение способа горизонтально-направленного бурения для изучения тектонических нарушений угольных пластов позволил достичь главную цель данных исследований — получить достоверные данные для обеспечения рационального и безопасного ведения горных работ в нарушенных участках шахтного поля.

Автор выражает признательность за помощь коллегам, чей вклад в данную работу носил технический характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калинченко В. М.*, *Шурыгин Д. Н.*, *Ефимов Д. А.* Прогнозирование мелкоамплитудной нарушенности угольных пластов: монография. — Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. — 131 с.

2. *Шабельников С. И.* Прогноз малоамплитудных тектонических разрывов угольных пластов в условиях проведения подземных горных выработок при подготовке лав // Форум гірників-2013: Матеріали міжнар. конф. Т. 4. — Дніпропетровськ, 2013. — С. 32—37. http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150154.

3. *Шабельников С. И.* Прогноз мест проявления малоамплитудных тектонических разрывов угольных пластов при проходке горных выработок // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 21—24. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.04.

4. *Байкенжина А. Ж.* Выявление и картирование тектонических нарушений как индикаторов выбросоопасных зон методом МОГТ-3D в условиях Карагандинского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. — № 8. — С. 145—155. http://earchive.tpu.ru/handle/11683/50264.

5. *Gyulai A., Dobróka M., Tormos T., Turai E., Savari T.* In-mine Geoelectric Investigations for Detecting Tectonic Disturbances in Coal Seam Structures // Acta Geophysica. 2013, vol. 61, no. 5, pp. 1184—1195. DOI: 10.2478/s11600-013-0112-6.

6. *Гайсин Р. М.*, *Цариков А. Ю.* Определение положения зон нарушенности угольных пластов по данным подземной электроразведки // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 19—26. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-19-26.

7. *Абдрахманов М. И.*, *Лапин С. Э.*, *Шнайдер И. В.* Создание цифровой модели структуры выемочного столба лавы методом сейсмозондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 11-2. — С. 148—158. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_148.

8. *Анциферов А. В.*, *Глухов А. А.*, *Анциферов В. А.* Шахтный сейсмический прогноз тектонических нарушений по отраженным волнам методом локации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 131—139. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-131-139.

9. *Nan Wang, Zijian Wang, Qianhui Sun and Jian Hui* Coal mine goaf interpretation: Survey, passive electromagnetic methods and case study // Minerals. 2023, vol. 13, no. 3, article 422. DOI: 10.3390/min13030422.

10. *Писаренко М. В.*, *Тайлаков О. В.*, *Соколов С. В.*, *Колмакова А. А.* О прогнозировании малоамплитудной нарушенности угольных пластов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2022. — № 2. — С. 356—366. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-356-366.

11. *Prykhodchenko V. F.*, *Shashenko O. M.*, *Sdvyzhkova O. O.*, *Prykhodchenko O. V.*, *Pilyugin V. I.* Predictability of a small-amplitude disturbance of coal seams in Western Donbas // Scientific Bulletin of National Mining University. 2020, no. 4, pp. 24—29. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/024.

12. *Malinnikova O., Uchaev D., Uchaev D., Malinnikov V.* The study of coal tectonic disturbance using multifractal analysis of coal specimen images obtained by means of scanning electron microscopy // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 129, no. 2, article 01017. DOI: 10.1051/e3sconf/201912901017.

13. *Васильева М. А.*, *Катков С. М.* Прогнозирование зон возможной тектонической нарушенности по прочностным показателям пород на базе программного обеспечения Micromine // Горный журнал. — 2017. — № 7. — С. 88—91. DOI: 10.17580/gzh.2017.07.17.

14. *Родивилов Д. Б.*, *Нежданов А. А.*, *Штоль А. В.* Идентификация малоамплитудных тектонических нарушений в процессе бурения горизонтальных стволов скважин в интервале нижнеберезовской подсвиты Медвежьего месторождения (Западная Сибирь) // Экспозиция Нефть Газ. — 2021. — № 2. — С. 17—20. DOI: 10.24412/2076-6785-2021-2-17-20.

15. *Tianshou Ma, Ping Chen, Jian Zhao* Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2016, vol. 2, pp. 365—395. DOI: 10.1007/s40948-016-0038-y.

16. *Саруев Л. А.*, *Шадрина А. В.*, *Саруев А. Л.*, *Васенин С. С.*, *Пахарев А. В.* Перспективы развития технологии и техники горизонтально-направленного бурения пилотных скважин для бестраншейной прокладки трубопроводов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2019. — Т. 330. — № 4. — С. 89—97. DOI: 10.18799/24131830/2019/4/232.

17. *Cai L.*, *Polak M. A.* A theoretical solution to predict pulling forces in horizontal directional drilling installations // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019, vol. 83, pp. 313—323. DOI: 10.1016/j.tust.2018.09.014.

18. *Baosong M. A.*, Yong C., *Jiguo L. I. U. etc.* Tunnel accurate geological investigation using long distance horizontal directional drilling technology // Tunnel Construction. 2021, vol. 41, no. 6, pp. 972—978. DOI: 10.3973/j.issn.2096-4498.2021.06.009.

19. *Xialin Liu* Predicting tunnel groundwater inflow by geological investigation using horizontal directional drilling technology // Advances in Civil Engineering. 2022, vol. 2022, article 6578331. DOI: 10.1155/2022/6578331.

20. *Твердов А. А.*, *Байсаров Э. Э.* Передовые технологии бурения наклонно-горизонтальных скважин при разработке твердых полезных ископаемых // Горная промышленность. — 2017. — № 3(133). — С. 26—30. http://imcmontan.ru/upload/imc_tverd7_.pdf.

21. *Tianshou Ma, Jinhua Liu, Jianhong Fu, Bisheng Wu* Drilling and completion technologies of coalbed methane exploitation: an overview // International Journal of Coal Science & Technology. 2022, no. 9. DOI: 10.1007/s40789-022-00540-x.

22. *Leśniak G., Brunner D. J., Topór T., Słota-Valim M., Cicha-Szot R., Jura B., Skiba J., Przystolik A., Lyddall B., Plonka G.* Application of long-reach directional drilling boreholes for gas drainage of adjacent seams in coal mines with severe geological conditions // International Journal of Coal Science & Technology. 2022, vol. 9. DOI: 10.1007/s40789-022-00553-6.

23. *Rout G., Tailakov O., Zastrelov D., Kolesnichenko S.* To the issue of monitoring the length of degasification boreholes // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, article 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202131501020.

24. *Houben G. J.*, Collins S., Bakker M. et al. Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells // Hydrogeol Journal. 2022, vol. 30, pp. 329—357. DOI: 10.1007/s10040-021-02425-w.

25. *Угольная* база России. Т. V. Кн. 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. — 638 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Kalinchenko V. M., Shurygin D. N., Efimov D. A. *Prognozirovanie melkoamplitudnoy narushennosti ugol'nykh plastov*: monografiya [Prediction of small-amplitude disturbance of coal seams: monograph], Novocherkassk, YuRGPU (NPI), 2013, 131 p.

2. Shabel'nikov S. I. Prediction of low-amplitude tectonic fissures of coal seams in the conditions of underground mine workings in the preparation of panels. *Forum Girnikiv, 2013: Materiali Mizhnarodnoi Konferencii*, vol. 4. Dnipropetrovs'k, 2013, pp. 32—37. http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150154.

3. Shabel'nikov S. I. Prediction of low-amplitude tectonic ruptures of coal seams at mine workings drivage. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 12, pp. 21—24. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.04.

4. Bajkenzhina A. Zh. Detection and mapping of tectonic disturbances as indicators of outburst hazard zones by MOGT-3D method detailed prospecting in the conditions of the Qaraghandy coal basin. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018, vol. 329, no. 8, pp. 145—155. [In Russ]. http://earchive.tpu.ru/handle/11683/50264.

5. Gyulai A., Dobróka M., Tormos T., Turai E., Savari T. In-mine Geoelectric Investigations for Detecting Tectonic Disturbances in Coal Seam Structures. *Acta Geophysica*. 2013, vol. 61, no. 5, pp. 1184 — 1195. DOI: 10.2478/s11600-013-0112-6.

6. Gaysin R. M., Tsarikov A. Yu. Location of damage zones in coal seams by underground resistivity prospecting. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 6, pp. 19 — 26. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-19-26.

7. Abdrakhmanov M. I., Lapin S. E., Shnaider I. V. Creation of a digital model of extraction pillar by the reflection seismic surveying method. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 11-2, pp. 148 — 158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_148.

8. Antsiferov A. V., Glukhov A. A., Antsiferov V. A. Mine seismic prediction of tectonic faults by reflected waves using the method of location. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 131 — 139. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-131-139.

9. Nan Wang, Zijian Wang, Qianhui Sun and Jian Hui Coal mine goaf interpretation: Survey, passive electromagnetic methods and case study. *Minerals*. 2023, vol. 13, no. 3, article 422. DOI: 10.3390/min13030422.

10. Pisarenko M. V., Tajlakov O. V., Sokolov S. V., Kolmakova A. A. About forecasting low — amplitude disturbances of coal seams. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 2, pp. 356 — 366. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-356-366.

11. Prykhodchenko V. F., Shashenko O. M., Sdvyzhkova O. O., Prykhodchenko O. V., Pilyugin V. I. Predictability of a small-amplitude disturbance of coal seams in Western Donbas. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2020, no. 4, pp. 24 — 29. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/024.

12. Malinnikova O., Uchaev D., Uchaev D., Malinnikov V. The study of coal tectonic disturbance using multifractal analysis of coal specimen images obtained by means of scanning electron microscopy. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 129, no. 2, article 01017. DOI: 10.1051/e3sconf/201912901017.

13. Vasil'eva M. A., Katkov S. M. Prediction of possible tectonic disturbance zones in Micromine based on rock strength parameters. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 7, pp. 88 — 91. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.07.17.

14. Rodivilov D. B., Nezhdanov A. A., Shtol' A. V. Identification of low-amplitude tectonic faults in the process of drilling horizontal wellbores in the interval of the Lower Berezovskaya subformation of the Medvezhye field (Western Siberia). *Jekspozicija Neft' Gaz*. 2021, no. 2, pp. 17 — 20. [In Russ]. DOI: 10.24412/2076-6785-2021-2-17-20.

15. Tianshou Ma, Ping Chen, Jian Zhao Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2016, vol. 2, pp. 365 — 395. DOI: 10.1007/s40948-016-0038-y.

16. Saruev L. A., Shadrina A. V., Saruev A. L., Vasenin S. S., Paharev A. V. Prospects for development of technology and facilities of pilot bores horizontal directional drilling for trenchless laying of pipelines. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019, vol. 330, no. 4, pp. 89 — 97. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2019/4/232.

17. Cai L., Polak M. A. A theoretical solution to predict pulling forces in horizontal directional drilling installations. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 83, pp. 313 — 323. DOI: 10.1016/j.tust.2018.09.014.

18. Baosong M. A., Yong C., Jiguo L. I. U. etc. Tunnel accurate geological investigation using long distance horizontal directional drilling technology. *Tunnel Construction*. 2021, vol. 41, no. 6, pp. 972 — 978. DOI: 10.3973/j.issn.2096-4498.2021.06.009.

19. Xialin Liu Predicting tunnel groundwater inflow by geological investigation using horizontal directional drilling technology. *Advances in Civil Engineering*. 2022, vol. 2022, article 6578331. DOI: 10.1155/2022/6578331.

20. Tverdov A. A., Bajsarov Je. Je. Advanced technologies for drilling deviated-horizontal wells in the development of solid minerals. *Russian Mining Industry*. 2017, no. 3(133), pp. 26 — 30. [In Russ]. http://imcmontan.ru/upload/imc_tverd7_.pdf.

21. Tianshou Ma, Jinhua Liu, Jianhong Fu, Bisheng Wu Drilling and completion technologies of coalbed methane exploitation: an overview. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022, no. 9. DOI: 10.1007/s40789-022-00540-x.

22. Leśniak G., Brunner D. J., Topór T., Słota-Valim M., Cicha-Szot R., Jura B., Skiba J., Przystolik A., Lyddall B., Plonka G. Application of long-reach directional drilling boreholes for gas drainage of adjacent seams in coal mines with severe geological conditions. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022, vol. 9. DOI: 10.1007/s40789-022-00553-6.

23. Rout G., Tailakov O., Zastrelov D., Kolesnichenko S. To the issue of monitoring the length of degasification boreholes. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 315, article 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202131501020.

24. Houben G. J., Collins S., Bakker M. et al. Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells. Hydrogeol Journal. 2022, vol. 30, pp. 329—357. DOI: 10.1007/s10040-021-02425-w.

25. *Ugol'naya baza Rossii*, vol. V. Kn. 2. Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Dal'nego Vostoka Rossii (Respublika Sakha, Severo-Vostok, o. Sakhalin, p-ov Kamchatka) [Russian coal base, vol. V, book 2. Coal basins and deposits of the Russian Far East (Republic of Sakha, Northeast, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula)], Moscow, ZAO «Geoinformmark», 1999, 638 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гриб Николай Николаевич — д-р техн. наук, профессор,
заместитель директора по научной работе,
Технический институт (филиал) Север-Восточного
федерального университета им. М.К. Аммосова,
e-mail: grib-n-n@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9237-0292,
Scopus ID: 55769374800.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

N.N. Grib, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Deputy Director for Research,
Neryungri Technical Institute (branch) of North-Eastern
Federal University, 678960, Neryungri, Russia,
e-mail: grib-n-n@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9237-0292,
Scopus ID: 55769374800.

Получена редакцией 29.05.2023; получена после рецензии 04.07.2023; принята к печати 10.01.2024.
Received by the editors 29.05.2023; received after the review 04.07.2023; accepted for printing 10.01.2024.

НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

Галченко Ю.П., Еременко В.А.
Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий
Год: 2023
Страниц: 288
ISBN: 978-5-98672-566-6 (https://www.gornaya-kniga.ru/catalog/2416)

В работе систематизированы результаты исследований по геомеханическому обоснованию возможности создания и применения конвергентной горнойтехнологии. На основе концепции коэволюции антагонистов и методов гомеостатической трансформации предложены биотехнологические принципы формирования этой технологии как сложного полиобъектного кластера в составе управляющего биологического и исполнительного технологического монокластеров.

Исследована модель техногенно измененных недр как нового литосферного и экологического объекта. Разработана гипотеза о структуре вторичного поля напряжений и рассмотрены технологические возможности активного управления напряженным состоянием природных и искусственных массивов. Выдвинута гипотеза о локализации релаксационных процессов на внешнем контуре единичной неоднородности, разработка которой позволила определить и исследовать совокупность ограничений, обеспечивающих безопасность, эффективность и экологичность конвергентных технологий при подземной разработке рудных месторождений.