

О ПРИМЕНЕНИИ НОВОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗУ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ ОБВОДНЕННЫХ МАССИВОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТЫ «АНТРАЦИТ»

В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов[✉], А. В. Антипенко

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»), г. Донецк, ДНР РФ

✉ hbv@bk.ru

Аннотация: В статье представлены результаты геодинамического мониторинга горного отвода шахты «Антрацит» в условиях неконтролируемого затопления выработанного пространства и горных выработок. Выполнены расчеты и картирование приповерхностных зон, опасных по возникновению провалов по нормативной методике и с применением нейронного алгоритма. По нормативной методике определена 21 провалоопасная зона. Ввиду того, что значительная часть зон, представляющих угрозу образования провалов земной поверхности расположена на территории жилой застройки или на сельскохозяйственных землях, был выполнен прогноз провалоопасности при помощи нейросети. В результате прогноза, количество зон, представляющих угрозу в ближайшие 20 лет сократилось до 11, а их площадь уменьшилась в 2.5 раза. Такой прогноз позволяет минимизировать затраты на выполнение мероприятий по защите земной поверхности от вредного влияния горных работ.

Ключевые слова: горный отвод, обводненный массив, провалы земной поверхности, горные выработки

Для цитирования: Дрибан В. А., Хохлов Б. В., Антипенко А. В. О применении нового подхода к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов для оценки рисков при затоплении шахты «Антрацит». *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(6):40–49. (https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_40_49).

ON THE APPLICATION OF A NEW APPROACH TO FORECASTING DIPS IN THE SURFACE ZONE OF WATER-FILLED MASSIFS FOR ASSESSING RISKS IN THE FLOODING OF THE «ANTHRACITE» MINE

V. A. Driban, B. V. Khokhlov[✉], A. V. Antypenko

Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR Russian Federation

✉ hbv@bk.ru

Abstract: The article presents the results of geodynamic monitoring of the mining allotment of the «Anthracite» mine under conditions of uncontrolled flooding of the mined-out space and mine workings. Calculations and mapping of near-surface zones that are dangerous for the occurrence of dips were completed according to the standard methodology and using a neural algorithm. According to the standard methodology, 21 failure-hazardous zones were identified. Due to the fact that a significant part of the zones posing a threat of the formation of failures of the earth's surface are located on the territory of residential buildings or on agricultural lands, a failure-hazard forecast was made using a neural network. As a result of the forecast, the number of zones posing a threat in the next 20 years was reduced to 11, and their area decreased by 2.5 times. Such a forecast allows minimizing the costs of implementing measures to protect the earth's surface from the harmful effects of mining operations.

Keywords: mine allotment, flooded massif, dips in the Earth surface, mine workings

For citation: Driban V. A., Khokhlov B. V., Antypenko A. V. On the application of a new approach to forecasting dips in the surface zone of water-filled massifs for assessing risks in the flooding of the «anthracite» mine. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(6):40–49. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_40_49.

Введение

Добыча пластовых полезных ископаемых, в частности угольных пластов, приводит к образованию обширных техногенно затронутых территорий земной поверхности. Это характерно для любых месторождений типа: Кузнецкий бассейн, Печерский или Донецкий.

Добыча угля в Донецком бассейне ведется уже более 200 лет и начиналась с малых глубин 20–100 м. В регионе в начале XX века функционировало около 2 тыс. шахт, из которых 95 % находились на глубине до 100 метров. В период восстановления после Великой Отечественной войны в Донецком бассейне для оперативного извлечения угля было построено более 600 мелких наклонных шахт с ручной и механизированной добычей угля непосредственно от выходов пластов на поверхность или от границ годного угля на очень малых глубинах [1]. Практически вся поверхность региона, включая западный, центральный и восточный Донбасс, оказалась подработанной на малых глубинах.

С 1994 года в Российской Федерации активно выполняются мероприятия по реструктуризации угольной промышленности [2], при этом основным методом ликвидации нерентабельных угледобывающих предприятий является так называемый мокрый способ, при котором происходит полное затопление выработанного пространства и всех горных выработок. Затопление выработанного пространства приводит к изменению физико-механических свойств горных пород, активизации процессов сдвижения, локальных оседаний и образованию провалов земной поверхности. Такие явления зафиксированы практически во всех горнопромышленных районах. Извлечение из недр полезного ископаемого привело к понижению уровня земной поверхности, вследствие чего грунтовые воды начинают залегать на меньшей глубине, а это в свою очередь ведет к образованию целого ряда негативных последствий и реальных угроз на территориях горных отводов ликвидированных шахт [3, 4].

Наиболее острыми проблемами, возникающими из-за повышения уровня грунтовых вод и затопления выработанного пространства в результате остановки шахтных водоотливов, являются:

- подтопление застроенных и сельскохозяйственных территорий с их последующим заболачиванием;
- выход газа в подвалы жилых построек и подземные сооружения промышленных объектов;
- миграция вредных загрязняющих веществ и высокоминерализованной шахтной воды в подработанном массиве горных пород и вынос их на земную поверхность;
- активизация процессов сдвижения пород над горными выработками с образованием внезапных провалов земной поверхности на тех участках, где подобные процессы давно завершились.

Как результат всего вышеизложенного – существенное повышение рисков нарушения условий эксплуатации зданий и сооружений, что может привести к невозможности их нормального использования, повреждению или даже полному разрушению, создавая угрозу жизни и безопасности людей.

Кроме того, рентабельным глубоким шахтам при затоплении брошенных шахт, эксплуатировавшихся на верхних горизонтах, сейчас приходится работать в обводненном массиве. Такие процессы наблюдаются практически во всех горнопромышленных районах Донбасса [5]. Эта проблема

актуальна не только для территорий Донецкого бассейна, но и для всех техногенно нагруженных и подработанных территорий.

ФГБНУ «РАНИМИ» ведет работы по развитию общетеоретических представлений о поведении и взаимодействии обводненных массивов с горными выработками. В рамках работ уже разработаны модели формирования и трансформации напряженного состояния обводненного массива горных пород и взаимодействия крепи горных выработок и обводненного массива при отработке свиты пластов. Разрабатываются методы и средства активного управления горным давлением и гидроизоляции в подземных горных выработках. Разработан новый подход к прогнозу образования провалов в приповерхностной зоне на основе методов искусственного интеллекта.

Новый подход к прогнозу провалообразования в приповерхностной зоне обводненных массивов заключается в том, что в начале производится построение и картирование нормативных провалоопасных зон на планах поверхности, а затем с помощью нейронной сети эти зоны оцениваются на предмет провалообразования в настоящее время.

Площадь провалоопасных зон в процентном отношении ко всей площади шахтного поля довольно велика и составляет порядка 5–30 %, и в большинстве случаев, в частности на Донбассе, шахтные поля расположены под населенными пунктами. Кадастровая стоимость таких земель весьма мала, и поэтому для обеспечения безопасной жизнедеятельности техногенно нарушенных территорий требуется надежный прогноз развития возможных опасных деформаций дневной поверхности и провалообразования. От правильной оценки вероятности и определения времени возможного возникновения провала зависит своевременность принятия мер по минимизации вреда наносимому подземным коммуникациям и объектам, расположенным на земной поверхности [6, 7]. Более того, точная локализация местоположения и размеров провалоопасной зоны, а также четкое понимание времени, в течение которого горная выработка может представлять угрозу земной поверхности, позволят свести к минимуму размеры участков поверхности, выводимых из обихода.

Цель данного исследования – построение и картирование зон возможного провалообразования и оценка их опасности в настоящее время.

Метод построения провалоопасных зон земной поверхности

Для осуществления поставленной задачи использовалась «Методика построения и обследования зон, опасных по провалам» [8].

Основные положения данной методики:

1. У погашенных вертикальных шахтных стволов (шурфов и технических скважин диаметром более 2,0 м) зона возможного провалообразования ограничивается окружностью радиусом $R_0 = 40$ м от центра ствола.
2. У погашенных шурфов и технических скважин диаметром до 2,0 м зона контроля ограничивается окружностью радиусом $R_0 = 20$ м от оси выработки.
3. Над погашенными наклонными и крутонаклонными вскрывающими выработками границы опасных зон на земной поверхности устанавливаются:
 - у устья выработки со стороны восстания – линией, перпендикулярной оси ствола и отстоящей от устья на 10 м плюс 5 м бермы;
 - со стороны падения – линией, перпендикулярной оси

выработки и проходящей через проекцию на земную поверхность точки, находящейся на глубине, равной H_n , вычисляемой по формуле:

$$H_n = \frac{2,5h_b}{k_p - 1}, \quad (1)$$

где h_b — высота выработки вчерне, м;

k_p — коэффициент остаточного разрыхления, который для однородной толщи пород кровли принимается: для аргиллитов — 1,15, для алевролитов — 1,20, для песчаников — 1,25.

Для толщи переслаивающихся коренных пород, залегающих выше выработки, величину k_p следует определять по формуле:

$$k_p = \frac{1,15\sum m_{арг} + 1,20\sum m_{ал} + 1,25\sum m_{пес}}{\sum m_{арг} + \sum m_{ал} + \sum m_{пес}}, \quad (2)$$

где $\sum m_{арг}$, $\sum m_{ал}$, $\sum m_{пес}$ — суммарная мощность слоев аргиллита, алевролита и песчаника, залегающих в кровле выработки, м;

— вдоль продольной оси выработки — прямыми линиями, отстоящими от оси со стороны падения на $l_n = 10h_b$ плюс 5 м бермы, где h_b — высота выработки вчерне (при отсутствии фактических данных величина выработки вчерне принимается равной 2,5 м), м, и со стороны устья — на 10 м плюс 5 м бермы.

4. Над подготовительными или одиночными выработками возможно образование провалов, если глубина выработки $H_{гв}$ от поверхности карбона меньше высоты распространения обрушения пород над выработкой H_n в метрах, которую следует определять по формуле (1). Границу зоны возможного провалообразования на земной поверхности устанавливают со стороны падения и простирания пласта по контуру горной выработки, увеличенному на берму 5 м, а со стороны восстания от пятиметровой бермы под углом сдвижения — γ .

5. Над очистными выработками при разработке пластов с углами падения $\alpha \leq 45^\circ$ границы зоны возможных провалов в плане устанавливаются по контуру горной выработки, увеличенному на 5 м в каждую сторону. Если нижняя граница горной выработки расположена на глубине более 12 м (где m — вынимаемая мощность угольного пласта в метрах), то границу зоны провалов со стороны падения пласта устанавливают на расстоянии 5 м по падению от проекции изогипсы пласта, проведенной на глубине 12 м, со стороны восстания пласта от пятиметровой бермы под углом сдвижения — γ .

Обследование горного отвода шахты «Антрацит»

Шахта «Антрацит» (№ 15/16, «Платовская») — угледобывающее предприятие в г. Гуково (Ростовская область). Входила в ОАО «Гуковуголь». Закрыта в 1997 году.

Шахта «Антрацит» сдана в эксплуатацию в 1931 году с проектной мощностью 450 тыс. тонн угля в год и обрабатывала угольные пласты k_2^{1-8} , k_2 и i_3^H . В 1998 году шахта «Антрацит» была реорганизована в участок «Водоотлив-Запад» шахты «Ростовская» для защиты шахты от дополнительного притока шахтных вод.

В начале марта 2016 года подземный водоотлив шахты «Антрацит» (участок «Водоотлив-Запад» шахты «Ростовская») был оставлен работниками в связи с невыплатой заработной платы, после чего началось неконтролируемое затопление шахты.

Поле шахты расположено на северном крыле Должно-Сулино-Садкинской синклинали. В административном отношении шахта «Антрацит» расположена на территории Красносулинского района и города Гуково Ростовской области. Восточная часть шахтного поля расположена непосредственно под жилой застройкой города Гуково.

В процессе выполнения исследований было произведено обследование горного отвода шахты «Антрацит».

В результате обследования установлено:

1. Площадь бывшего горного отвода шахты «Антрацит» — 12,65 км².

2. На бывшем горном отводе шахты «Антрацит» зафиксировано 37 горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, из них стволов вертикальных — 5, наклонных стволов и сбоек — 11, шурфов вертикальных — 21.

3. Общее количество горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, — 37, из них расположены: под породными отвалами — 2; под зданиями и сооружениями — 14; под сельскохозяйственными — 5; под неиспользуемыми землями и лесонасаждениями — 16.

4. Провалы устьев ликвидированных выработок не обнаружены.

Самоизливы воды из горных выработок не обнаружены.

На горном отводе шахты «Антрацит» по «Методике построения и обследования зон, опасных по провалам» [8] выделена 21 провалоопасная зона земной поверхности, а также определены их площади (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Провалоопасные зоны на территории горного отвода шахты «Антрацит» / Sinkhole-hazardous zones on the territory of the mining allotment of the «Anthracite» mine

№ объекта / № of object	№ зоны / № of zone	Название объекта / Name of object	Угол наклона, град. / Angle of inclination, degrees	Площадь, м ² / Square, m ²
1	1	Наклонный ствол № 01 пласта i_3^H	25	6 714
2	2	Конвейерный наклонный ствол № 01 пласта i_3^H	11	9 531
3	3	Шурф № 20 пласта k_2^{1-8}	90	3 356
		20-й вентиляционный ходок	18	
4	4	Вентиляционный ствол № 20 пласта k_2^{1-8}	17	9 978
5	5	Шурф шахты № 17 пласта k_2^{1-8}	90	2 649
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
6	6	Шурф № 18 пласта k_2^{1-8}	90	1 257
7	7	Наклонный ствол шахты № 25 пласта k_2^{1-8}	15	67 182
8		Вентиляционный шурф пласта k_2^{1-8}	90	
9		Шурф № 3 пласта k_2^{1-8}	90	
		Площадная зона от горных выработок по пластам k_2^{1-8} и k_2		
10	8	Наклонный ствол пласта k_2^{1-8}	15	23 130
11		Шурф № 9 пласта k_2^{1-8}	90	
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		

Продолжение таблицы 1 / Continuation of the table 1

№ объекта / № of object	№ зоны / № of zone	Название объекта / Name of object	Угол наклона, град. / Angle of inclination, degrees	Площадь, м² / Square, m²
12	9	Наклонный ствол пласта k_2^{1-8}	17	27 749
13		Шурф № 7 пласта k_2^{1-8}	90	
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
14	10	Шурф № 3 «В» пласта k_2	90	5 646
		17-й вентиляционный ходок пласта k_2	15	
15	11	Шурф № 5 пласта k_2^{1-8}	90	5 924
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
16	12	Шурф № 13 пласта k_2	90	24 415
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
17	13	Уклон № 1 пласта k_2^{1-8}	15	49 975
18		Шурф № 3 пласта k_2^{1-8}	90	
19		Шурф б/н пласта k_2^{1-8}	90	
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
20	14	Наклонный ствол № 16 пласта k_2	17	108 788
21		Наклонный ствол № 15-бис пласта k_2^{1-8}	19	
22		Наклонный ствол пласта k_2^{1-8}	18	
23		Уклон пласта k_2^{1-8}	18	
24		Шурф № 1 пласта k_2	90	
25		Шурф № 4 пласта k_2	90	
26		Шурф б/н пласта k_2^{1-8}	90	
27		Шурф № 14 пласта k_2	90	
28		Шурф № 4 пласта k_2^{1-8}	90	
		Площадная зона от горных выработок по пластам k_2^{1-8} и k_2		
29	15	Старый шурф пласта k_2^{1-8}	90	1 257
30	16	Шурф № 2 пласта k_2	90	1 257
31	17	Главный ствол № 1	90	9 215
32		Вспомогательный ствол	90	
33	18	Шурф № 6 пласта k_2^{1-8}	90	15 098
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
34	19	Шурф № 6-бис «В» пласта k_2	90	17 806
		Площадная зона от горных выработок по пласту k_2^{1-8}		
35	20	Вертикальный ствол шахты № 26	90	5 027
36	21	Главный ствол	90	7 092
37		Вспомогательный ствол	90	
Итого по шахте «Антрацит»				403 046

Согласно таблице 1, из 12,65 км² площади горного отвода шахты «Антрацит» опасными с точки зрения образования провалов земной поверхности, согласно «Методике построения и обследования зон, опасных по провалам» [8], являются чуть более 3 % (0,4 км²).

Из общей площади всех опасных по образованию провалов зон, равной 403 046 м², 99 156 м² (24,6 %) занимают сельхозугодия, 120 465 м² (29,9 %) занято жилой застройкой (в том числе и многоэтажной), а оставшиеся 183 425 м² (45,5 %) — неиспользуемые земли или промплощадки шахтных стволов. Таким образом, большая часть территорий, опасных по образованию провалов земной поверхности, активно используется, что представляет угрозу жизни и безопасности людей, особенно в условиях неконтролируемого затопления горных выработок и выработанного пространства шахты «Антрацит». Поэтому дополнительно была проведена оценка провалоопасной ситуации с применением искусственного интеллекта.

Оценка провалоопасности отдельных участков земной поверхности с применением нейронного алгоритма

Для прогноза образования провалов на земной поверхности над старыми горными выработками с учетом исследований [9–16] и нормативных документов [17–20] была разработана нейронная сеть [21]. Эта система основана на искусственных нейронных сетях и генетических алгоритмах и способна прогнозировать вероятность образования провалов земной поверхности с точностью до 94,6 %.

В качестве исходных факторов, способствующих развитию повреждений земной поверхности над старыми горными выработками, выбраны:

- глубина расположения выработки;
- степень диагенеза вмещающих пород;
- возраст выработки;
- углы наклона породных слоев и самой выработки;
- техногенный фактор, учитывающий взаимовлияние смежных выработок, влияние зон ПГД, обводненность, наличие пьезометров и прочих негативных факторов, повышающих вероятность образования провала.

Сеть была создана на основе перцептрона и генетического алгоритма, включающего в себя шесть входных нейронов, семь промежуточных и два исходящих нейрона. Подобная архитектура сети обусловлена физическим смыслом процессов, лежащих в основе прогнозируемого явления.

На шесть входных нейронов подаются главные факторы, обуславливающие процесс долговременного уменьшения устойчивости массива горных пород над старой горной выработкой. На вход первого нейрона поступает сигнал глубины расположения выработки. На второй — степень диагенеза. На третий — время от момента проведения выработки до момента возникновения провала, если провала не было — до настоящего времени. На четвертый — угол залегания пород. На пятый — угол наклона выработки. На шестой — фактор условий эксплуатации выработки.

Нейроны 7–13 организованы в два скрытых слоя. Именно эти нейроны отвечают за моделирование нелинейных процессов, которые являются основными физическими процессами в механизме потери устойчивости нагруженного собственным весом массива горных пород. Нейроны 14 и 15 выдают исходящие данные в виде наличия или отсутствия вероятности провала и времени его образования.

Были построены три группы номограмм для слабо-, средне- и высоко метаморфизованных горных массивов.

Номограммы позволяют провести предварительную оценку сроков появления провалов на дневной поверхности в зависимости от глубины расположения выработок при дей-

ствующих шести группах влияющих факторов: благоприятные условия поддержания выработки; выработка находится в зоне тектонической нарушенности; выработка находится в зоне влияния горных работ; негативные гидрогеологические условия; выработка находится в зоне плывунов; комплекс негативных факторов. Данная методика была апробирована на шахтах Донецко-Макеевского и Торезско-Снежнянского районов Донбасса [22].

Оценка провалоопасности участков приповерхностной зоны проводилась в три этапа.

На первом этапе производились предварительные построения. В графическом редакторе к цифровой растровой копии плана поверхности района привязывались аналогичные копии планов горных выработок всех пластов шахты «Антрацит». На план поверхности переносились линии выходов пластов под наносы. Далее линии выхода пластов клонировались в сторону падения с интервалами, учитывающими величину угла падения, который изменялся на разных участках от 15° до 18°. Таким образом, на плане дневной поверхности была получена еще одна поверхность, приблизительно соответствующая поверхности пласта в изоглубинах по карбону с шагом по глубине 80 м.

На втором этапе были нанесены границы нейрозон с учетом реальных контуров горных выработок по следующим правилам: интервалы глубин – 0–80 м и 80–160 м; разница в возрасте выработок – до 5–6 лет, но не более 10 лет; основные наклонные выработки выделялись в отдельные зоны (рис. 1).

На третьем этапе был выполнен расчет для таких условий поддержания выработок, при которых они представляют наибольшую угрозу земной поверхности, а именно: угол падения пород – 15°; угол наклона выработки – до 30°; комплекс негативных влияющих факторов; глубина расположения выработок – до 160 м (табл. 2). Для каждой нейрзоны были определены диапазон глубин по карбону, средний возраст выработок, а также рассчитано время образования провалов с учетом негативных влияющих факторов.

По результатам анализа данных таблицы 2 ячейки были закрашены следующим образом:

— светло-серый окрас получили ячейки, в которых время образования провалов меньше, чем средний возраст выработок. Это означает, что в данных зонах процесс провалообразования уже должен был завершиться и для объектов на поверхности угроза отсутствует;

— темно-серый окрас получали ячейки, если возраст выработки зоны укладывался в диапазон времени образования провалов, т.е. вероятность образования провалов существует в настоящее время;

— не закрашивались ячейки, в которых время образования провалов существенно больше среднего возраста выработок. Соответственно, в ближайшем будущем образование провалов в этих зонах весьма маловероятно.

Поскольку в данной работе оценка опасности возникновения провалов земной поверхности производилась на срок 20 лет от настоящего момента, можно выделить следующие нейрозоны (табл. 3).

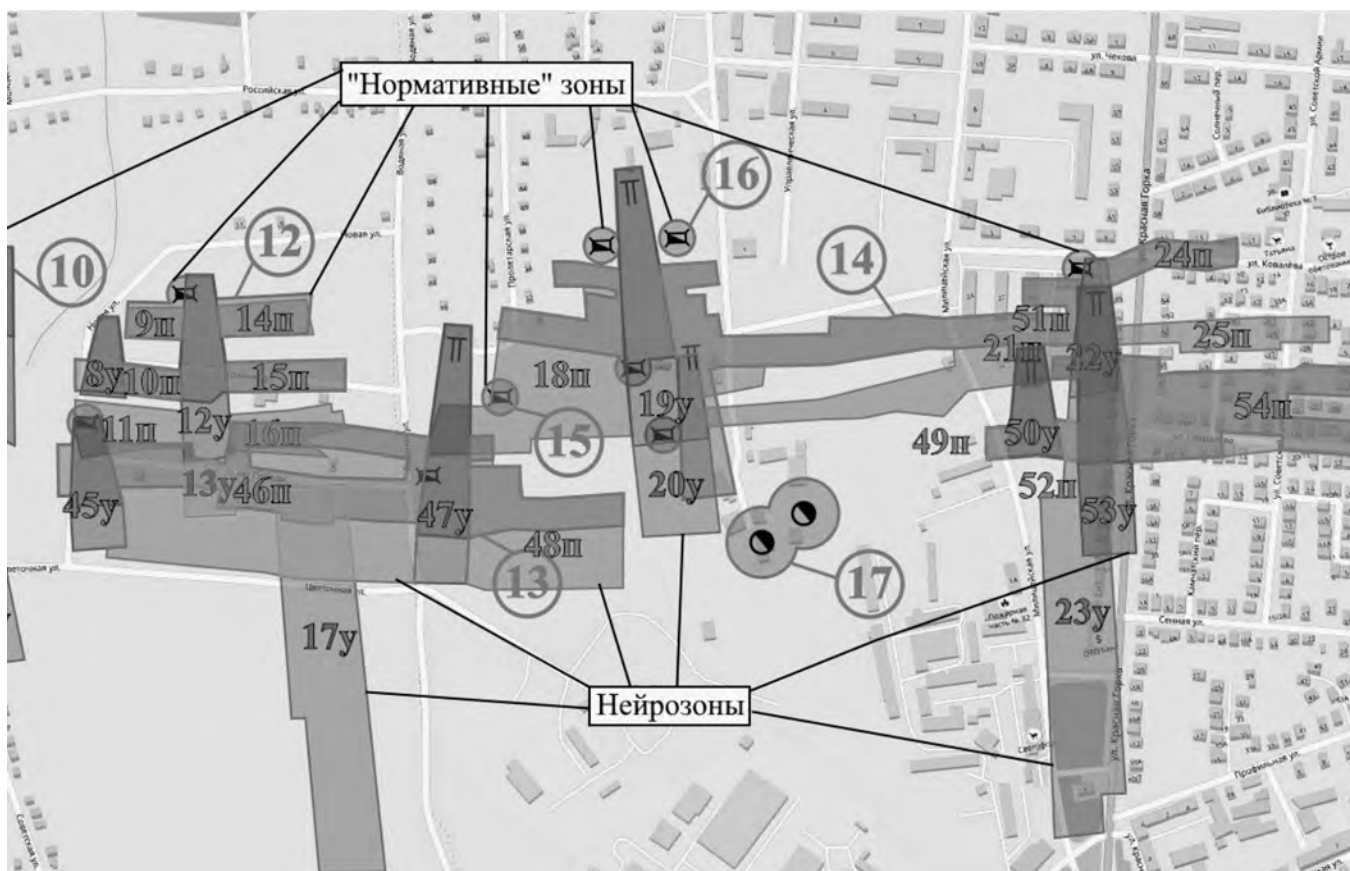


Рис. 1. Фрагмент плана поверхности шахты «Антрацит» с зонами, опасными по образованию провалов земной поверхности, построенными как по нормативной методике, так и с применением нейронного алгоритма
Fig. 1. Fragment of the surface plan of the «Anthracite» mine with zones that are dangerous due to the formation of surface dips, constructed both according to the standard methodology and using a neural algorithm

Таблица 2 / Table 2

Расчет провалоопасности горных выработок в пределах шахтного поля шахты «Антрацит» /
Calculation of the danger of sinkhole hazard at mine workings within the mine field of the «Anthracite» mine

№ зоны / № of zone	Интервал глубин по карбону, м / Carboniferous depth interval, m	Возраст выработок, лет / Age of workings, ears	Угол падения пород, град / Angle of incidence of rocks, degr.	Угол наклона выработок, град. / Angle of slope of workings, degr.	Фактор техногенных условий эксплуатации выработок / Factor of man-made conditions of mine operation	Время формирования провалов, лет / Time of formation of dips, years
Зоны пласта j_3^H						
1y	0–80	30	15	25	Благоприятные условия	0–172
2y	–	30	15	17	Благоприятные условия	0–193
Зоны пласта k_2						
3п	30–80	40	15	0	Благоприятные условия	162–234
4y	40–80	40	15	15	Благоприятные условия	138–198
5п	50	35	15	0	Благоприятные условия	192
6п	60–80	70	15	0	Благоприятные условия	206–234
7y	40–80	70	15	15	Благоприятные условия	138–198
8y	50–60	65	15	15	Благоприятные условия	154–169
9п	40	65	15	0	Благоприятные условия	177
10п	60	65	15	0	Благоприятные условия	206
11п	70	80	15	0	Благоприятные условия	220
12y	30–80	80	15	15	Благоприятные условия	122–198
13y	80–90	80	15	15	Благоприятные условия	198–212
14п	40	65	15	0	Благоприятные условия	177
15п	60	65	15	0	Благоприятные условия	206
16п	70–80	80	15	0	Благоприятные условия	220–234
17y	90–160	80	15	15	Благоприятные условия	212–301
18п	30–80	90	15	0	Благоприятные условия	162–234
19y	0–80	90	15	17	Благоприятные условия	0–193
20y	80–110	90	15	15	Благоприятные условия	198–238
21п	30–80	90	15	0	Благоприятные условия	162–234
22y	40–80	85	15	15	Благоприятные условия	138–198
23y	80–160	80	15	15	Благоприятные условия	198–301
24п	40	85	15	0	Благоприятные условия	177
25п	60	85	15	0	Благоприятные условия	206
Зоны пласта k_2^{1B}						
26y	30–80	65	15	16	Благоприятные условия	119–195
27y	0–80	65	15	17	Благоприятные условия	0–193
28п	25–35	90	15	0	Благоприятные условия	154–170
29п	30–40	80	15	0	Благоприятные условия	162–177
30п	50	80	15	0	Благоприятные условия	192
31y	0–80	80	15	15	Влияние горных работ	0–172
32п	30	80	15	0	Влияние горных работ	137
33п	40	80	15	0	Влияние горных работ	153
34п	60	80	15	0	Влияние горных работ	183
35п	20–70	80	15	0	Влияние горных работ	121–197
36y	0–80	80	15	15	Влияние горных работ	0–172
37y	80–120	80	15	15	Влияние горных работ	172–227
38п	20–50	80	15	0	Влияние горных работ	121–168
39y	90–160	80	15	15	Влияние горных работ	186–277
40y	0–80	85	15	15	Влияние горных работ	0–172
41y	80–90	85	15	15	Влияние горных работ	172–186
42п	60	90	15	0	Благоприятные условия	206
43y	30–80	90	15	15	Благоприятные условия	122–198
44y	80–100	90	15	15	Влияние горных работ	172–200
45y	30–70	90	15	15	Влияние горных работ	93–157
46п	30–70	90	15	0	Влияние горных работ	137–197
47y	0–70	90	15	15	Влияние горных работ	0–157
48п	30–70	90	15	0	Влияние горных работ	137–197

№ зоны / № of zone	Интервал глубин по карбону, м / Carboniferous depth interval, m	Возраст выработки, лет / Age of workings, ears	Угол падения пород, град / Angle of incidence of rocks, degr.	Угол наклона выработки, град. / Angle of slope of workings, degr.	Фактор техногенных условий эксплуатации выработок / Factor of man-made conditions of mine operation	Время формирования провалов, лет / Time of formation of dips, years
49п	40	90	15	0	Влияние горных работ	153
50у	0–40	90	15	30	Влияние горных работ	0–64
51п	20	90	15	0	Влияние горных работ	121
52п	40	90	15	0	Влияние горных работ	153
53у	0–70	90	15	18	Влияние горных работ	0–148
54п	20–40	90	15	0	Влияние горных работ	121–153
55п	10	80	15	0	Благоприятные условия	130
56п	30	85	15	0	Влияние горных работ	137
57у	10–80	85	15	15	Влияние горных работ	59–172
58у	80–120	85	15	15	Влияние горных работ	172–227
59у	120–160	85	15	15	Влияние горных работ	227–277
60п	10	80	15	0	Благоприятные условия	130
61п	40	85	15	0	Влияние горных работ	153
62у	50–80	80	15	15	Благоприятные условия	154–198
63у	80–160	80	15	15	Благоприятные условия	198–301
64п	20–40	80	15	0	Благоприятные условия	146–177
65у	20–80	80	15	15	Благоприятные условия	106–198
66у	80–130	80	15	15	Благоприятные условия	198–264

Таблица 3 / Table 3

Зоны, в которых возможно образование провалов в ближайшие 20 лет, в пределах шахтного поля шахты «Антрацит»
Zones where dips may form in the next 20 years within the mine field of the «Anthracite» mine

№ зоны / № of zone	Интервал глубин по карбону, м / Carboniferous depth interval, m	Возраст выработки, лет / Age of workings, ears	Угол падения пород, град. / Angle of incidence of rocks, degr.	Угол наклона выработки, град. / Angle of slope of workings, degr.	Время формирования провалов, лет / Time of formation of dips, years	Площадь, м² / Square, m²
Зоны пласта j_3^H						
1у	0–80	30	15	25	0–172	9 722
2у	0–80	30	15	17	0–193	21 866
Зоны пласта k_2						
19у	0–80	90	15	17	0–193	17 858
Зоны пласта k_2^{18}						
27у	0–80	65	15	17	0–193	18 677
31у	0–80	80	15	15	0–172	15 629
36у	0–80	80	15	15	0–172	15 366
40у	0–80	85	15	15	0–172	8 226
45у	30–70	90	15	15	93–157	7 479
47у	0–70	90	15	15	0–157	14 047
53у	0–70	90	15	18	0–148	16 258
57у	10–80	85	15	15	59–172	15 520

Как видно из таблицы 3, суммарная площадь зон, опасных по возникновению провалов в ближайшие 20 лет, составляет 160 649 м², что равняется 39,9 % от общей площади провалоопасных зон, рассчитанных по нормативной [8] методике (рис. 2). Так, площадь провалоопасных зон, расположенных на сельхозугодьях, сократилась с 99 156 до 46 853 м² (47,3 %), площадь провалоопасных зон, находящихся на территории жилой застройки, сократилась с 120 465 до 40 004 м² (33 %), а площадь зон, опасных по провалам земной поверхности, на неиспользуемых землях и промплощадках шахтных стволов уменьшилась с 183 425 до 73 792 м² (40,2 %).

Таким образом, из 21 выделенной по нормативной мето-

дике приповерхностной зоны, опасной по возникновению провалов, в ближайшие 20 лет наибольшую опасность представляют 11, и в гораздо меньших размерах.

Выводы

По результатам обследования горного отвода шахты «Антрацит» с применением нормативной методики была построена и картирована на плане поверхности 21 зона, опасная по возникновению провалов земной поверхности. Ввиду того что большая часть провалоопасных зон расположены либо на сельхозугодьях, либо на территории жилой застройки, а также учитывая тот факт, что шахта находится

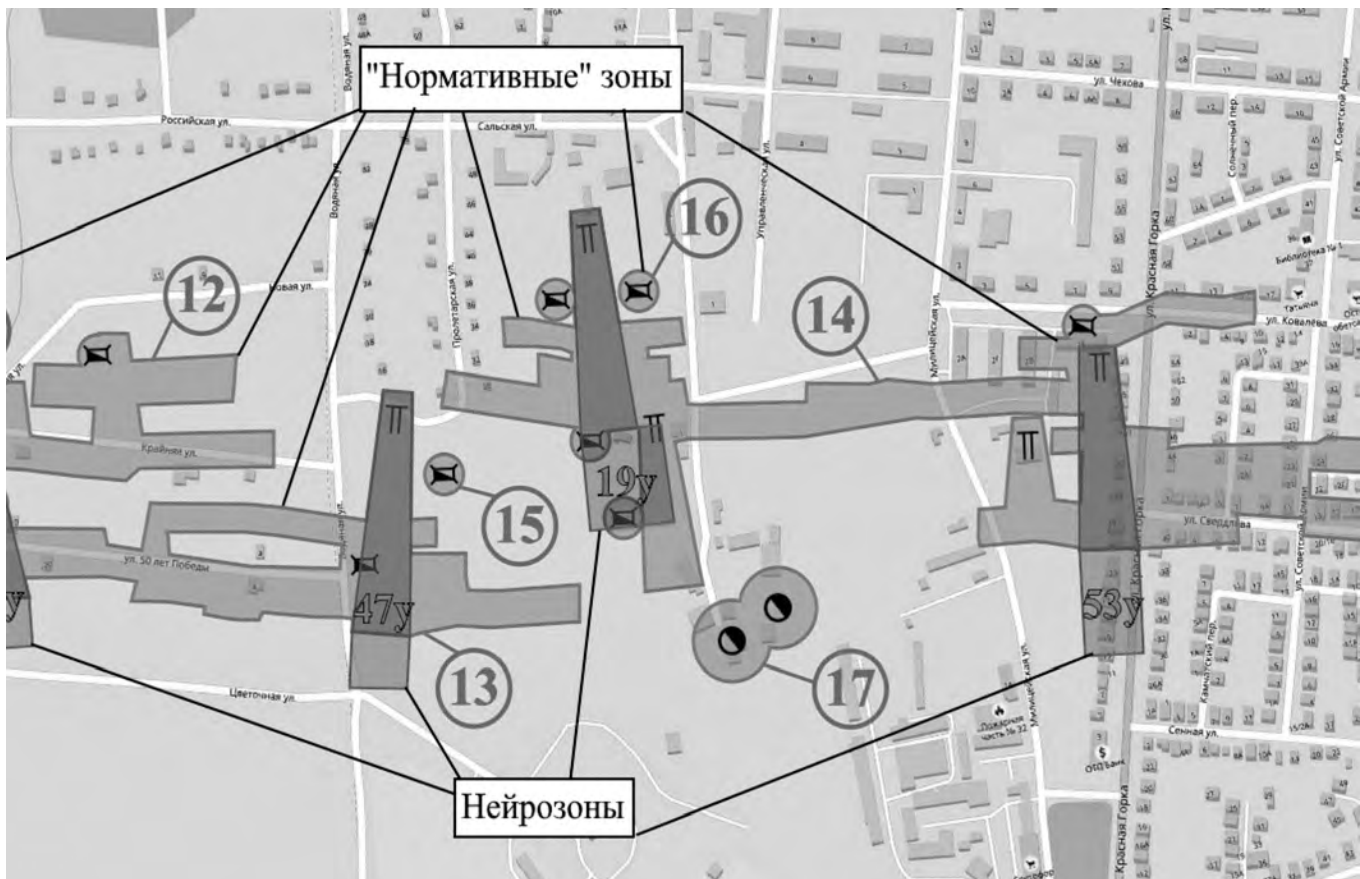


Рис. 2. Фрагмент плана поверхности шахты «Антрацит» с «нормативными» зонами, опасными по образованию провалов земной поверхности, и нейрозонами, представляющими угрозу провалообразования в ближайшие 20 лет

Fig.2. Fragment of the surface plan of the «Anthracite» mine with «regulatory» zones that are dangerous for the formation of surface dips, and neurozones that pose a threat of failure formation in the next 20 years

в состоянии неконтролируемого затопления, дополнительно выполнен прогноз провалоопасности приповерхностной зоны с использованием нейронного алгоритма.

В соответствии с полученными результатами, на горном отводе шахты «Антрацит» участки приповерхностной зоны, на которых сохраняются риски образования провалов в ближайшие 20 лет, располагаются над наклонными выработками на глубине до 80 м. При этом количество провалоопасных зон было сокращено до 11, а их площадь уменьшилась в 2,5 раза.

Исходя из полученных данных можно заключить, что использование нейронного алгоритма дает возможность более точно определить и участки земной поверхности, опасные

по возникновению провалов, и приблизительный период, в который данные зоны являются наиболее опасными. Дальнейшее использование нейросети для прогноза провалоопасности позволит сократить размеры опасных участков земной поверхности и минимизировать затраты на осуществление мероприятий по защите земной поверхности от вредного влияния горных работ.

Исследования проведены в рамках выполнения фундаментальной научно-исследовательской работы FRSR – 20230006 «Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины: монография / Ю. Н. Гавриленко, В. Н. Ермаков, Ю. Ф. Кренида [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 631 с.
2. Жукова, И. А. Состояние угольной промышленности Ростовской области: проблемы и перспективы ее развития / И. А. Жукова, В. С. Лобунец // Terra Economicus. – 2014. – Т. 12, № 2-3. – С. 174–177.
3. Славиковская, Ю. О. Техногенные пустоты недр как фактор негативного воздействия на окружающую среду при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 33–44. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-33-44.
4. Соколова, И. Н. Современный мониторинг сейсмических событий из района испытательного полигона Лобнор по данным сети ИГИ РК / И. Н. Соколова, А. Е. Великанов // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 3. – С. 24–32.
5. Славиковская, Ю. О. Техногенные пустоты недр как источник негативного воздействия на окружающую среду предприятий горнопромышленного комплекса // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды VIII Межд. конф. (Екатеринбург, 7 апреля 2020 г.). – Екатеринбург: изд-во Уральского государственного горного университета. – С. 275–279.
6. Mikhailova, I. N. Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / I. N. Mikhailova, I. N. Sokolova // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre. – 2019. – Vol. 53, №1. – P. 27–38. – DOI: 10.31905/RK46YGLU.

7. Кирков, А. Е. Превентивное обнаружение и локализация провалов подработанной земной поверхности — основа решения региональных проблем моногородов в горнопромышленных регионах / А. Е. Кирков, В. В. Федосеев, О. М. Кушим // Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. (Челябинск, 2–3 марта 2022 года) / Институт проблем комплексного освоения недр РАН. — Челябинск, 2022. — С. 49–51.

8. Хохлов, Б. В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам / Б. В. Хохлов, В. А. Дрибан, С. В. Голдин // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. — Донецк, 2019. — № 7 (22). — С. 142–157.

9. Vorhersage des erdoberflächeabsturzes oberhalb der alten kohlengrubenräumen / V. Driban, V. Nazimko, A. Feofanov [et al.] // *Altbergbau — Kolloquium*. — Freiberg, 2010. — P. 391–400.

10. Role of rock dip angle in runoff and soil erosion processes on dip/anti-dip slopes in a karst trough valley / F. Gan, B. He, Z. Qin [et al.] // *Journal of Hydrology*. — 2020. — Vol. 588. — P. 125093. — DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125093.

11. Runoff generation and erosion processes at the rock–soil interface of outcrops with a concave surface in a rocky desertification area / X. Zeng, X. Peng, T. Liu [et al.] // *CATENA*. — 2024. — Vol. 239. — P. 107920. — <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4487005>.

12. Peng, X. Drivers of soil erosion and subsurface loss by soil leakage during karst rocky desertification in SW China / X. Peng, Q. Dai // *International Soil and Water Conservation Research*. — 2022. — Vol. 10, № 2. — P. 217–227. — DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.10.001.

13. Постоев, Г. П. Модели механизма формирования и расчета параметров провалов земной поверхности над подземными полостями / Г. П. Постоев // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. — 2020. — № 4. — С. 36–47. — DOI: 10.31857/S0869780920040086.

14. Хамидуллина, Н. В. Физическое моделирование провалов земной поверхности / Н. В. Хамидуллина, М. В. Прокопова, А. Ю. Прокопов // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. — 2019. — № 2 (74). — С. 124–131.

15. Гавриленко, Ю. Н. Основные принципы моделирования сдвижений и деформаций земной поверхности методом конечных элементов / Ю. Н. Гавриленко, А. Г. Петрушин // *Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна*. — Донецьк, 2003. — Вип. 62. — С. 100–114.

16. Усанов, С. В. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения / С. В. Усанов, В. В. Мельник, А. Л. Замятин // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — Новосибирск: изд-во Сиб. отд. РАН, 2013. — № 6. — С. 83–89.

17. О порядке выделения провалоопасных зон и выбора комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот на ликвидируемых шахтах Восточного Донбасса: методическое руководство. — М.: ИПКОН РАН, 2007. — 34 с.

18. НПАОТ 10.0-1.01-16 Правила безопасности в угольных шахтах. — Оpubл. 20.05.2016 г. с изменениями, внесенными на основании Приказа Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики, Государственного комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики от 07.07.2016 г. № 63/319, от 20.06.2017 г. № 157/291. — Донецк, 2016. — 217 с.

19. Методические положения по решению гидрогеологических задач при разработке проекта ликвидации шахты (пособие проектировщику) РТМ 6.04.95. — Донецк: Донгипрошахт, 1995. — 17 с.

20. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах: руководящий документ / РАНИМИ. Утв. Мин. угля и энергетики ДНР 15.04.21. — Донецк, 2021. — 267 с.

21. Дрибан, В. А. Разработка системы прогноза обрушений земной поверхности над погашенными горными выработками / В. А. Дрибан, А. Н. Фефанов, И. В. Назимко // *Проблеми гірського тиску: зб. наук. пр.* — Донецьк, 2009. — № 17. — С. 22–57.

22. Прогноз провалоопасности подработанных территорий при затоплении горных выработок шахт Торезско-Снежнянского района на основе методов искусственного интеллекта / В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов, Д. М. Хламов, А. В. Антипенко // *Труды РАНИМИ*. — 2023. — № 20–21 (35–36). — С. 47–65.

REFERENCES

1. Gavrilenko YuN, Yermakov VN, Krenida et al. Man-made consequences of the closure of coal mines in Ukraine: monograph. Donetsk, 2004 (In Russ.).

2. Zhukova IA, Lobunets VS. The state of the coal industry of the Rostov region: problems and prospects of its development. *Terra Economicus*. 2014;12(2-3):174-7 (In Russ.).

3. Slavikovskaya YuO. Mining voids as a factor of negative environment of solid mineral mining. *Mining information and analytical bulletin*. 2021;2:33-44 (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-33-44.

4. Sokolova IN, Velikanov AE. Contemporary monitoring of seismic events from the Lobnor test site area based on data from IGR RK network. *Bulletin of NNC RK*. 2020;3:24-32 (In Russ.).

5. Slavikovskaya YuO. Man-made subsoil voids as a source of negative impact on the environment of mining enterprises. Environmental and technosphere safety of mining regions. — Transactions of the VIII International Conference. Yekaterinburg, 07.04.2020. Yekaterinburg, 2020:275-9 (In Russ.).

6. Mikhailova IN, Sokolova IN. Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*. 2019;53(1):27-38. DOI: 10.31905/RK46YGLU.

7. Kirkov AYе, Fedoseev VV, Kuzhim OM. Preventive detection and localization of deposit of the underworked earth surface—e is the basis for solving regional problems of individual cities in mining regions. Gold. Polymetals. XXI century: sustainable development: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Chelyabinsk, 2022:49-51 (In Russ.).

8. Khokhlov BV, Driban VA, Goldin SV, et al. Methodology for constructing and surveying zones that are dangerous due to dips. Transactions of RANIMI: collection of scientific works. 2019;7(22):142-157 (In Russ.).

9. Driban V, Nazimko A, Feofanov A, et al. Vorhersage des erdoberflächeabsturzes oberhalb der alten kohlengrubenräumen. *Altbergbau — Kolloquium*. Freiberg, 2010:391-400.

10. Gan F, He B, Qin Z, et al. Role of rock dip angle in runoff and soil erosion processes on dip/anti-dip slopes in a karst trough valley. *Journal of Hydrology*. 2020;588:125093. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125093.

11. Zeng X, Peng X, Liu T, et al. Runoff generation and erosion processes at the rock-soil interface of outcrops with a concave surface in a rocky desertification area. *CATENA*. 2024;239:107920. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4487005>.

12. Peng X, Dai Q. Drivers of soil erosion and subsurface loss by soil leakage during karst rocky desertification in SW China. *International Soil and Water Conservation Research*. 2022;10(2):217-27. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.10.001.

13. Postoev GP. Models of formation mechanism and parameters calculation for surface sinkholes over underground cavities. *Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2020;(4):36-47 (In Russ.). DOI: 10.31857/S0869780920040086.

14. Hamidullina NV, Prokopova MV, Prokopov AYu. Physical modeling of failures of the ground surface. *Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering*. 2019;2(74):124-31 (In Russ.).

15. Gavrilenko YuN, Petrushin AG. Basic principles of modeling displacements and deformations of the earth's surface by the finite element method. *Scientific works of DonNTU. Mining and geological series*. Donetsk, 2003;62:110-4 (In Russ.).
16. Usanov SV, Melnik VV, Zamyatin AL Monitoring of the transformation of the rock mass structure under the influence of the displacement process. *Physical and technical problems of mining*. Novosibirsk, 2013;6:83-9 (In Russ.).
17. On the procedure for identifying collapse-hazardous zones and choosing a set of technical measures to identify and eliminate voids in the liquidated mines of the Eastern Donbass: methodological guidance. Moscow, 2007 (In Russ.).
18. NLALP 10.0-1.01-16 Safety rules in coal mines; publ. 20.05.2016 with changes made on the basis of the Order of the Ministry of Coal and Energy of the Donetsk People's Republic, State Committee for Mining and Technical Supervision of the Donetsk People's Republic dated 07.07.2016 № 63/319, 20.06.2017 № 157/291. Donetsk, 2016 (In Russ.).
19. Methodological provisions for solving hydrogeological problems in the development of a mine liquidation project (designer's guide) GTM 6.04.95. Donetsk, 1995 (In Russ.).
20. Location, protection and maintenance of mine workings during coal seam mining. Guidance document. Approved by Ministry of Coal and Energy DPR 15.04.21. Donetsk, 2021. (In Russ.).
21. Driban VA, Feofanov AN, Nazimko IV. Development of a system for predicting the collapse of the earth's surface over extinguished mine workings. Rock pressure problems: collection of scientific works. Donetsk, 2009;17:22-57 (In Russ.).
22. Driban VA, Khokhlov BV, Khlamov DM, et al. Forecast of the failure hazard of the mined areas during flooding of the mine workings of the Torezsko-Snezhnyansky district based on artificial intelligence methods. Proceedings of the RANIMI. 2023;20-21:35-6 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS



Виктор Александрович Дрибан – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»), 83004, г. Донецк, ДНР РФ, Scopus Author ID 55963516100, e-mail: viktor-driban@yandex.ru

Victor A. Driban – Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics. Geophysics and Mine Surveying» (RANIMI), 83004, Donetsk, DPR Russian Federation, Scopus Author ID 55963516100, e-mail: viktor-driban@yandex.ru



Борис Валентинович Хохлов – канд. технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»), 83004, г. Донецк, ДНР РФ, e-mail: hbv@bk.ru

Boris V. Khokhlov – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics. Geophysics and Mine Surveying» (RANIMI), 83004, Donetsk, DPR Russian Federation, e-mail: hbv@bk.ru



Антон Викторович Антипенко – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (РАНИМИ), 83004, г. Донецк, ДНР РФ, e-mail: ministrxp@mail.ru

Anton V. Antypenko – Junior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics. Geophysics and Mine Surveying» (RANIMI), 83004, Donetsk, DPR Russian Federation, e-mail: ministrxp@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.08.2024. Поступила после рецензирования: 19.09.2024. Принята к публикации: 29.10.2024

Article info

Received: 23.08.2024. Revised: 19.09.2024. Accepted: 29.10.2024