

Особенности влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения земной поверхности

Ф. М. Голубев✉, К. В. Репина

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, Российская Федерация

✉ f_golubev@list.ru

Резюме. На основании аналитического обзора существующих исследований в вопросе влияния свойств горного массива на продолжительность процесса сдвижения земной поверхности при ее подработке очистными горными выработками, а также анализа результатов натурных наблюдений на маркшейдерской наблюдательной станции приведены факторы, определяющие сроки проявления оседаний, вызванных подземной добычей угля. Проведен анализ способов расчета продолжительности процесса сдвижения и параметров зон влияния при движении очистного забоя. Установлена взаимосвязь отклонения фактического и расчетного времени сдвижения земной поверхности с кратностью подработки и обосновано влияние изменения упругих характеристик массива при подработке на продолжительность процесса сдвижения. Приведенные исследования позволяют уточнить методы определения продолжительности процесса сдвижения, что в свете планируемого восстановления промышленности и инфраструктуры Донбасса является крайне важной научно-технической задачей.

Ключевые слова: подработка угленосного массива, свойства горных пород, Донецко-Макеевский угленосный район, лава, мульда сдвижения, граничные углы, модуль Юнга

Благодарности, признательность, финансирование: Результаты, описанные в статье, получены в рамках выполнения работы FRSR-2024-0002 «Исследование деформированного состояния и геофизических свойств подработанного угленосного массива».

Для цитирования: Голубев Ф.М., Репина К.В. Особенности влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения земной поверхности. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(6):84-89. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-84-89>.

Features of the influence of multiple part-time work on the duration of the earth's surface displacement process

F. M. Golubev✉, K. V. Repina

FSBI "Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Surveying", Donetsk, Russian Federation

✉ f_golubev@list.ru

Abstract. Based on an analytical review of existing studies on the influence of the properties of a mountain range on the duration of the process of shifting the Earth's surface during its mining operations, as well as an analysis of the results of field observations at a surveying observation station, the factors determining the timing of subsidence caused by underground coal mining are presented in the article. The analysis of methods for calculating the duration of the displacement process and the parameters of the zones of influence during the movement of the cleaning face is carried out. The relationship between the deviation of the actual and estimated time of displacement of the earth's surface with the frequency of additional work is established and the influence of changes in the elastic characteristics of the array during additional work on the duration of the displacement process is substantiated. The above studies make it possible to clarify the methods for determining the duration of the displacement process, which is an extremely important scientific and technical task in the light of the planned restoration of industry and infrastructure in Donbass.

Keywords: Mining of the carboniferous massif, properties of rocks, Donetsk-Makeevsky coal-bearing region, lava, mulda displacement, boundary angles, Young's module

Acknowledgments, funding, financial Support: The results described in the article have been obtained as part of research project FRSR-2024-0002 “Research into the strain state and geophysical properties of an undermined coal-rock mass”.

For citation: Golubev F.M., Repina K.V. Features of the influence of multiple part-time work on the duration of the earth's surface displacement process. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(6):84-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-84-89>.

Введение

Подземные очистные работы на угольных шахтах при управлении кровлей полным обрушением вызывают оседания горного массива и деформации земной поверхности. Подавляющее большинство муниципальных образований и урбанизированных территорий угледобывающих регионов многократно подработано очистными выработками, что негативно сказывается на объектах социальной и производственной инфраструктуры, расположенных на подрабатываемой территории, приводит к их повреждениям, вплоть до потери ими деформационного ресурса и утраты безопасного эксплуатационного состояния.

В пределах основных угленосных районов Донбасса в разное время отрабатывалось более чем 20 угольных пластов. Свойства многократно подработанного углепородного массива существенно отличаются от характеристик горного массива при его первичной подработке, что приводит к возникновению погрешностей при прогнозе геомеханических и геодинамических процессов. Из-за необходимости обеспечения техногенной безопасности окружающей среды в горнодобывающих регионах становится актуальным вопрос проведения дополнительных исследований характера сдвижения подработанного углепородного массива для установления закономерностей изменений физических параметров массива горных пород на подработанных территориях с параметрами деформаций земной поверхности.

Методика прогноза деформаций земной поверхности, описанная в отраслевых стандартах^{1,2} ГСТУ 101.00159226.001-2003 и ПБ 07-269-98, не учитывает влияние физико-механических свойств горных пород подрабатываемого углепородного массива на параметры сдвижения. Однако, согласно исследованиям [1], прочностные характеристики горных пород в различных районах Донбасса могут различаться в 5–10 раз. Стоит отметить, что свойства могут изменяться и в процессе многократной подработки. Игнорирование структурных особенностей горного массива приводит к существенным отклонениям расчетных величин деформаций земной поверхности и продолжительности процесса сдвижения от фактических [2, 3].

Влияние подработки на изменение структуры горного массива и параметры процесса сдвижения отмечают в работах авторы [4–12]. Изменение упругих свойств горных пород, согласно базовым физическим законам, должно приводить как к изменению граничных углов, так и провоцировать изменение продолжительности процесса сдвижения земной поверхности. Исследования изменения граничных углов, в зависимости от упругих свойств горного массива, требуют

проведения ряда дополнительных полевых работ, однако на моделях подобные закономерности были получены в работе [13]. Вопрос же влияния упругих свойств горного массива на параметры продолжительности процесса сдвижения в современных источниках освещен лишь косвенно.

В работах [7–9] описано влияние горно-геологических условий отработки на абсолютные величины сдвижения земной поверхности. Автор определяет характер влияния литологического состава горного массива на размеры оседаний, что подразумевает при прочих равных условиях и изменение продолжительности процесса сдвижения, однако вопрос времени проявления деформаций автором не освещается.

Авторы [10] на основе комплексных натурных инструментальных наблюдений установили аналитическую зависимость продолжительности процесса сдвижений и деформаций подработанного слоистого массива горных пород от горнотехнических условий при больших глубинах. Автор [14] приводит результаты объемной работы по исследованию скорости подвигания очистного забоя на временные параметры процесса сдвижения, что так же косвенно указывает на взаимосвязь продолжительности процесса с упругими параметрами массива, однако не дает прямого подтверждения данного факта.

Все описанные исследования подчеркивают наличие влияния упругих параметров горного массива на продолжительность процесса сдвижения. Согласно исследованиям [15, 16], принципиальное изменение структуры горного массива происходит при многократной подработке. Поскольку территория Донбасса подрабатывалась на различных участках как минимум двумя пластами, определение наличия влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения в свете планируемого восстановления промышленности и инфраструктуры Донбасса является крайне важной научно-технической задачей.

Погрешности в величинах определения продолжительности процесса сдвижения могут приводить к несвоевременному применению мер защиты объектов поверхности от деформаций, вызванных влиянием горных выработок. Это создает риски критических повреждений для подрабатываемых зданий, сооружений и объектов транспортного сообщения.

Цель исследований: установление взаимосвязи структурных особенностей горного массива с продолжительностью процесса сдвижения.

Методы исследований

Для оценки степени влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения проводился факторный анализ изменения граничных условий сдвижения горных пород при многократной подработке и определялась степень отклонения зафиксированной продолжительности сдвижения земной поверхности на наблюдательных станциях от результатов расчета продолжительности по нормативным методикам.

Общая продолжительность процесса сдвижения (T , мес)

¹ Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. ГСТУ 101.00159226.001. Донецк, 2004. 128.

² Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. ПБ 07-269-98. Москва, 1998. 203.

от влияния отдельной очистной выработки, согласно действующему в РФ нормативному документу ПБ 07-269-98, определялось следующим образом:

– при подвигании очистного забоя по простиранию

$$T = k_T \frac{H}{C} (ctg \delta_0 + ctg \psi_3); \quad (1)$$

– при подвигании очистного забоя по падению

$$T = k_T \frac{H}{C} \left(\frac{\cos(\psi_1 + \alpha)}{\sin \psi_1} + \frac{\cos \beta_0}{\sin(\beta_0 + \alpha)} \right); \quad (2)$$

– при подвигании очистного забоя по восстанию

$$T = k_T \frac{H}{C} \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sin(\gamma_0 - \alpha)} + \frac{\cos(\psi_2 - \alpha)}{\sin \psi_2} \right), \quad (3)$$

где δ_0 , β_0 , γ_0 – граничные углы, определяемые по рекомендациям раздела 7 ПБ 07-269-98;

ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 – углы полных сдвижений, определяемые по рекомендациям раздела 7 ПБ 07-269-98;

H – глубина залегания пласта под рассматриваемой точкой;

α – угол падения пласта.

На территории Донбасса продолжительность процесса сдвижения определялась на основании таблицы 5.2, приведенной в документе ГСТУ 101.00159226.001-2003¹.

Как первый, так и второй методы не содержат параметров, учитывающих упругие характеристики, что при определенных горнотехнических условиях может приводить к существенным погрешностям в расчетах.

Исследование прочностных характеристик песчаников, расположенных на различных глубинах в пределах Донецко-Макеевского угленосного района Донбасса, позволяет установить взаимосвязь глубины с пределом прочности на сжатие горных пород, которая изображена на рисунке 1.

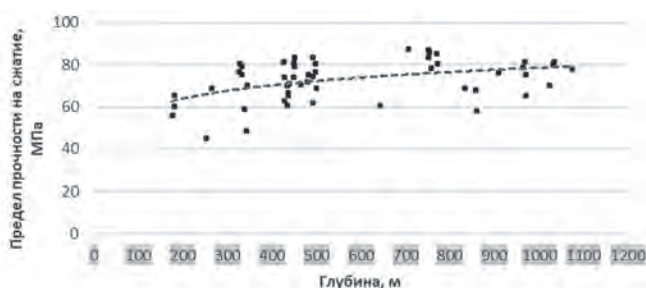


Рис. 1. Изменение предела прочности горных пород на сжатие с увеличением глубины /

Fig. 1. Change in the compressive strength of rocks with increasing depth

В свою очередь, зависимость продолжительности процесса сдвижения от глубины, согласно таблице 5.3¹ ГСТУ 101.00159226.001-2003, может быть установлена из выражения

$$T = k_v \cdot H + 1, \quad (4)$$

где k_v – коэффициент, отражающий скорость подвигания очистного забоя и варьирующийся в пределах от 0,0113 при

¹ Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. ГСТУ 101.00159226.001. Донецк, 2004. 128.

скорости более 100 м/месяц до 0,0504 при скорости менее 20 м/месяц.

Анализ формул (1) – (4) и рисунка 1 позволяет утверждать, что изменение прочностных и упругих свойств горных пород ведет к изменению продолжительности процесса сдвижения и требует проведения дополнительных исследований.

Для определения влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения были проанализированы материалы натурных наблюдений шахты «Ждановская». В геологическом строении участка, на котором расположена шахта, принимают участие отложения среднего карбона C_2^6 . Четвертичные отложения представлены суглинками и глинами с известковистыми включениями, обломками карбоновых пород в виде щебня и песчаных частиц. Мощность четвертичных отложений – 1,5-15,0 м. Перекрыты они почвенно-растительным слоем мощностью 0,20-0,40 м. Каменноугольные отложения представлены неравномерным чередованием различных по мощности и литологическому составу слоев глинистых и песчаных сланцев, песчаников, известняков и маломощных слоев углей и углистых сланцев.

В процентном отношении каменноугольная толща распределяется по литотипам следующим образом:

- песчаные и глинистые сланцы – 55,1 %;
- песчаники – 34,9 %;
- известняки – 6,4 %;
- угли и углистые сланцы – 3,6 %.

В геолого-структурном отношении участок расположен в центральной части южного крыла Чистяково-Снежнянской синклинали. На территории шахтного поля простирание пород с востока на запад по азимуту 90°, падение северное с углами 16–20°.

На рассматриваемой площади велась подработка земной поверхности по двум угольным пластам: пласту m_3 простого строения геологической мощностью 1,05 м и по пласту l_7 простого строения геологической мощностью 1,15 м.

Для текущих геологических условий продолжительность процесса сдвижения и длительность его активной стадии определялась по таблице 5.3 ГСТУ 101.00159226.001-2003, так как в ПБ 07-269-98 отсутствуют данные для данного региона.

Наблюдения проводились над 9-й восточной лавой пласта l_7 . Длина лавы вкрест простирания составляет 300 м. Длина лавы по простиранию составляла 3 093 м. Средняя вынимаемая мощность пласта была равна 1,19 м. Средний угол падения пласта составлял 16°. Средняя глубина подработки (в центре лавы) – 707 м. Со стороны восстания на расстоянии 37 м от лавы расположена 8-я восточная лава. По падению, простиранию и со стороны, обратной простиранию, очистные выработки отсутствуют.

При средней глубине отработки, равной 707 м, и скорости подвигания забоя лавы, равной 45 м/месяц, продолжительность процесса сдвижения лавы, согласно ГСТУ 101.00159226.001-2003, должна составлять 23 месяца.

За начало процесса сдвижения земной поверхности при удалении лавы от разрезной выработки принимался момент времени, когда очистной забой отходил от разрезной выработки на расстояние $C = A_0 H$, где A_0 – коэффициент, который определяется по ГСТУ 101.00159226.001-2003, а H – средняя глубина разработки лавы.

В нашем случае для 9-й восточной лавы угол сдвижения δ составлял 80°, соответственно, коэффициент A_0 был равен

0,3. Но так как лава была ранее подработана, то $A_0 = 0,15$. Тогда за начало процесса сдвижения следует принять момент времени, когда очистной забой отойдет от разрезной выработки на расстояние, равное $0,15 \times 707 = 106,1$ м. При скорости подвигания лавы, равной 45 м/месяц, это расстояние будет пройдено за 2,4 месяца, то есть процесс сдвижения активизируется спустя 72 суток после начала движения забоя 9-й восточной лавы пласта l_7 .

Длительность отработки 9-й восточной лавы при скорости движения забоя 45 м/месяц составит 68,7 месяца. Таким образом, от начала движения забоя 9-й восточной лавы до окончания процесса сдвижения земной поверхности должно пройти 91,7 месяца.

Для наблюдения за параметрами процесса сдвижения была заложена наблюдательная станция вдоль дороги г. Ждановка – г. Кировское (рис. 2).



Рис. 2. Схема закладки наблюдательной станции /
Fig. 2. The Scheme of laying the observation station

Границы зон влияния горных выработок на земную поверхность определялись в соответствии с документом¹ ГСТУ 101.00159226.001-2003 и учетом исследований [17–18], проведенных в РАНМИ в области изменения зон влияния в направлении падения угольных пластов.

Согласно результатам расчетов зона, влияния 9-й восточной лавы пласта l_7 на конец 2018 года только начинает оказывать воздействие на точки 10–15. В соответствии с методикой прогноза, описанной в документе¹ ГСТУ 101.00159226.001-2003, процесс сдвижения в этих точках должен продолжаться не менее 23 месяцев и стабилизироваться в конце 2020 года. Анализ графика, приведенного на рисунке 3, свидетельствует о существенно большей скорости протекания процесса сдвижения.

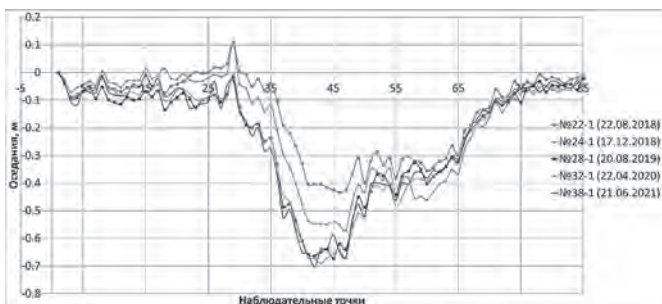


Рис. 3. Результаты измерений оседаний на наблюдательной станции в зоне влияния 9-й восточной лавы пласта l_7 /
Fig. 3. The results of measurements of subsidence at the observation station in the zone of influence of the 9th eastern lava formation l_7

Так, согласно данному графику, полная реализация процесса сдвижения произошла уже через 8 месяцев после достижения лавой положения, при котором зона влияния выработок покрывает все репера наблюдательной станции. Стоит отметить, что реализация оседаний для реперов, находящихся ближе к центральной части лавы (точки 35–45), потребовала порядка двух лет с момента попадания данных реперов в зону влияния горной выработки.

Результаты исследований

При определении продолжительности процесса сдвижения следует учитывать динамику хода лавы и возможность полной реализации сдвижений задолго до остановки очистного забоя. На основании анализа натурных наблюдений фиксировалось наличие изменения продолжительности сдвижения от центра мульды к ее краям. При определении причин неравномерного распределения продолжительности процесса сдвижения на различных участках наблюдательной станции также анализировалась степень подработанности горного массива.

В результате такого анализа было установлено, что на участке проведения наблюдений отработано два пласта, а в зону влияния 9-й восточной лавы пласта l_7 попадают зоны влияния еще трех горных выработок 7-й, 8-й восточных лав пласта l_7 и 10-бис восточной лавы пласта m_3 (рис. 4).

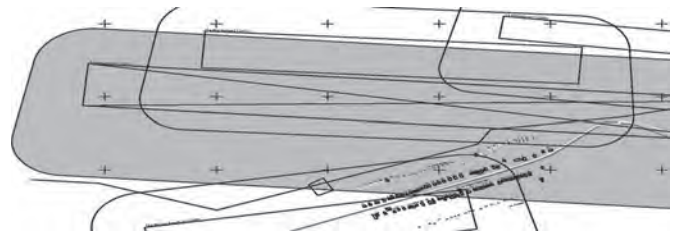


Рис. 4. Зоны влияния горных выработок, пересекающиеся с зоной влияния 9-й восточной лавы пласта l_7 /
Fig. 4. Zones of influence of excavations intersecting with the zone of influence of the 9th eastern lava formation l_7

Анализ рисунка 4 с учетом вышесказанного позволяет зафиксировать совпадение участка влияния надработавшей ранее лавы l_7 10-бис восточной лавы пласта m_3 с участком существенного ускорения процесса сдвижения, что свидетельствует о наличии взаимосвязи многократной подработки с продолжительностью процесса сдвижения.

В результате проведенных исследований было установлено, что существенное ускорение процесса сдвижения в нижней части мульды сдвижения может быть обосновано влиянием многократной подработки. Согласно исследованиям [4–5, 19], в результате многократной подработки горный массив существенно изменяет упругие характеристики, в частности проницаемость горных пород может увеличиваться до пяти порядков. Изменение проницаемости тесно взаимосвязано с изменением упругих свойств горного массива.

Определение такой взаимосвязи, согласно [6], можно определить из соотношения

$$E = 8,1 \cdot T_s (1 / k_{pr})^{1/2}, \quad (8)$$

где E – модуль Юнга, МПа;

T_s – эффективная поверхностная энергия, Дж/м²;

k_{pr} – коэффициент проницаемости, Дарси.

При этом коэффициент проницаемости является расчетной величиной, которая может определяться согласно формуле

$$k_{np} = \frac{K_{\phi} \cdot (\mu \cdot 1000)}{\alpha \cdot \gamma} \quad (9)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут;

μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с;

α – коэффициент размерности; если K выражен в сантиметрах в секунду, то $\alpha = 1$; если в метрах в сутки, то $\alpha = 864$;

γ – удельная масса воды, $1 \cdot 10^3$ кг/м³ [20].

Из-за того, что коэффициент фильтрации в зоне полных сдвижений может изменяться в несколько десятков раз, происходит соразмерное изменение коэффициента проницаемости, а соответственно, и упругих свойств горных пород, что является прямым обоснованием изменения продолжительности процесса сдвижения при многократной подработке.

Заключение

Проведенный анализ натурных наблюдений и аналитический обзор существующих исследований в вопросе влияния

свойств горного массива на продолжительность процесса сдвижения позволили прийти к следующим выводам:

1. Продолжительность процесса сдвижения, вызванного подработкой земной поверхности, напрямую взаимосвязана с упругими параметрами горного массива, и техногенное изменение таких параметров ведет к изменению сроков проявления оседаний.

2. Взаимосвязь скорости подвигания очистного забоя, глубины отработки лавы и кратности подработки горного массива может быть выражена через зависимости модуля упругости от фильтрационных характеристик массива, которые возможно определить методом опытной откачки.

3. Влияние многократной подработки может сокращать продолжительность процесса сдвижения в несколько раз, однако для определения степени влияния количества отработанных ранее пластов на изменение сроков реализации оседаний необходимо проведение дополнительных исследований с применением моделирования и анализом широкого спектра горнотехнической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Борисенко Э.В. Изменение прочностных характеристик образцов горных пород угленосных массивов Донбасса в процессе длительного водонасыщения. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2023; 10 (3): 25-29. <https://doi.org/10.15372/FPVGN2023100304>.
Borisenko E.V. Changes in the strength characteristics of rock samples of Donbass coal-bearing massifs during prolonged water saturation. *Fundamental and applied issues of Mining Sciences*. 2023; 10 (3): 25-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FPVGN2023100304>.
- Грищенко Н.Н., Скаженник В.Б., Бардакова Е.А. и др. Пространственное моделирование зон многократной подработки горными выработками участков со сложной структурой рельефа. *Журнал теоретической и прикладной механики*. 2024; 3 (88): 89-99. <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-3-89-99>.
Grishchenkov N.N., Skazhenik V.B., Bardakova E. A., et al. Spatial modeling of zones of multiple mining of sites with a complex relief structure. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2024; 3 (88): 89-99. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-3-89-99>.
- Иванов И.Ю., Шурыгин Д.Н. Математическое моделирование мульды сдвижения земной поверхности с учетом дифференцированного строения массива горных пород. Новочеркасск, 2010: 108.
Ivanov I. Yu., Shurygin D.N. Mathematical modeling of the Earth's surface displacement trend taking into account the differentiated structure of the rock mass. Novocherkassk, 2010: 108. (In Russ.).
- Дрибан В.А., Дуброва Н.А. Фильтрационная модель многократно подработанного массива. *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. 2017; 7 (50): 31-37.
Driban V.A., Dubrova N.A. Filtration model of a repeatedly processed massif. *Collection of scientific papers of the Donbass State Technical University*. 2017; 7 (50): 31-37. (In Russ.).
- Кулибаба С.Б., Рожко М.Д., Хохлов Б.В. Определение точек максимальных наклонов в мульде сдвижения. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна*. 2009; 9 (143): 158-167.
Kulibaba S.B., Rozhko M.D., Khokhlov B.V. Determination of the points of maximum slopes in the flow of displacement. *Sciences of the Donetsk National Technical University. Series: Girmicho-geologichna*. 2009; 9 (143): 158-167. (In Russ.).
- Семашко С.В. Современные движения флюидов в земной коре. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2011; 2: 51-67.
Semashko S.V. Modern movements of fluids in the Earth's crust. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2011; 2: 51-67. (In Russ.).
- Посыльный Ю.В. Методика исследования влияния толщи горных пород на максимальное оседание земной поверхности. *Неделя горняка*. 2007; 2: 115-123.
Posylny Yu.V. Methodology for studying the influence of rock strata on the maximum subsidence of the Earth's surface. *Miner's Week*. 2007; 2: 115-123. (In Russ.).
- Посыльный Ю.В. Линия симметрии главного сечения мульды сдвижения земной поверхности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2004; 5: 150-152.
Posylny Yu.V. The line of symmetry of the main section of the Earth's surface displacement trough. *Mining information and Analytical Bulletin*. 2004; 5: 150-152. (In Russ.).
- Посыльный Ю.В. Расчет граничных углов сдвижения по новым геометрическим элементам мульды в условиях шахты восточная ОАО «Ростовуголь». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000; 6: 123-126.
Posylny Yu.V. Calculation of boundary angles of displacement by new geometric elements of the mulch in the conditions of the Vostochnaya mine of Rostovugol OJSC. *Mining information and Analytical bulletin*. 2000; 6: 123-126. (In Russ.).
- Ларченко В.Г., Маталкина Ю.А., Шпакова А.О. Определение продолжительности процесса сдвижения подработанной толщи пород и земной поверхности. *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического института*. 2023; 30 (73): 27-34.
Larchenko V.G., Matalkina Yu.A., Shpakova A.O. Determination of the duration of the process of shifting the accumulated rock strata and the Earth's surface. *Collection of scientific papers of the Donbass State Technical Institute*. 2023; 30 (73): 27-34. (In Russ.).
- Новокшенов В.Н., Данилова А.Ф., Дешковский В.Н. и др. Некоторые особенности развития техногенной трещиноватости внутри повторно подработанного массива горных пород. *Маркшейдерский вестник*. 2011; 2 (82): 53-55.

- Novokshonov V.N., Danilova A.F., Deshkovsky V.N., et al. Some features of the development of technogenic fracturing inside a recycled rock mass. *The Surveyor's bulletin*. 2011; 2 (82): 53-55. (In Russ.).
12. Кулибаба С.Б. Анализ распределения оседаний земной поверхности в краевой части мульды сдвижения. *Проблемы горного давления*. 2003; 10: 38-47.
Kulibaba S.B. Analysis of the distribution of subsidence of the Earth's surface in the marginal part of the displacement trough. *Problems of mountain pressure*. 2003; 10: 38-47. (In Russ.).
13. Голубев Ф.М., Анциферов В.А., Крижановская Л.Н. К вопросу о влиянии физико-механических параметров подработанного горного массива на характер процесса сдвижения. *Журнал теоретической и прикладной механики*. 2024; 4 (89): 95-103. <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-4-95-103>.
Golubev F.M., Antsiferov V.A., Krizhanovskaya L.N. On the question of the influence of the physico-mechanical parameters of a mined mountain range on the nature of the displacement process. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2024; 4 (89): 95-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-4-95-103>.
14. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., Свирко С.В. Скорость изменения горизонтальных сдвижений подрабатываемой земной поверхности высокомеханизированными забоями шахт Кузбасса. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2014; 6 (106): 28-33.
Bykadorov A.I., Larichkin P.M., Svirko S.V. The rate of change of horizontal displacements of the mined earth's surface by highly mechanized mine faces in Kuzbass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014; 6 (106): 28-33. (In Russ.).
15. Дрибан В.А., Дуброва Н.А. Эволюция деформационных полей многократно подработанного горного массива. *Журнал теоретической и прикладной механики*. 2024; 2 (87): 88-95. <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-2-88-95>.
Driban V.A., Dubrova N.A. Evolution of deformation fields of a repeatedly mined mountain range. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2024; 2 (87): 88-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/0136-4545-2024-2-88-95>.
16. Driban V.A., Dubrova N.A. Evaluation of changes in rock mass permeability due to long-time repeated mining. *Progressive Technologies of coal, coalbed methane and ores mining*. Balkema, Netherlands, 2014: 167-174. (In Russ.).
17. Грищенко Н.Н., Шнеер В.Р., Блиникова Е.В. Особенности мульды сдвижения и зон деформаций в ней при отработке наклонных угольных пластов. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2010; 6: 323-335.
Grishenkov N.N., V.R., Shneer, Blinnikova E.V. Features of the displacement trough and deformation zones in it during mining of inclined coal seams. *Naukov pratsiyu UkrNDMI NAS Ukrainy*. 2010; 6: 323-335. (In Russ.).
18. Грищенко Н.Н. Прогноз деформаций земной поверхности в динамической мульде сдвижения. *Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 24–25 мая 2017 года*. Донецк, 2017; 7: 119-125.
Grishenkov N.N. Forecast of deformations of the Earth's surface in a dynamic displacement zone. *Innovative perspectives of Donbass: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference, Donetsk, May 24-25, 2017*. Donetsk, 2017; 7: 119-125. (In Russ.).
19. Кожоголов К.С., Таханов Д.К., Кожас А.К. и др. Разработка прогнозных методов расчета оседаний земной поверхности над горными работами. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2020; 2: 31-42. <https://doi.org/10.15372/FTPRI20200204>.
Kozhogulov K.C., Takhanov D.K., Kozhas A.K., et al. Development of predictive methods for calculating subsidence of the Earth's surface over mining operations. *Physico-technical problems of mining*. 2020; 2: 31-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRI20200204>.
20. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки: Утв. Министерством энергетики и электрификации СССР 01.01.1981. Москва, 1981: 142.
Guidelines for determining the coefficient of filtration of aquifers by experimental pumping: Approved by Ministry of Energy and Electrification of the USSR 01.01.1981. Moscow, 1981: 142. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Филипп Максимович Голубев –

канд. техн. наук, заведующий отделом, ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», 83004, г. Донецк, Российская Федерация; e-mail: f_golubev@list.ru

Ксения Владимировна Репина –

научный сотрудник, ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», 83004, г. Донецк, Российская Федерация; e-mail: ecoseka@rambler.ru

Критерии авторства:

Ф. М. Голубев – постановка задачи исследования, проведение эксперимента, анализ результатов исследования, написание текста статьи; К. В. Репина – проведение эксперимента, выполнение работы по систематизации материала, получение и подготовка данных для анализа, написание текста статьи.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.10.2025

Поступила после рецензирования: 26.11.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

ABOUT THE AUTHORS

Filipp M. Golubev –

Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, Federal State Budgetary Scientific Institution “Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying”, 83004, Donetsk, Russian Federation; e-mail: f_golubev@list.ru

Ksenia V. Repina –

Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Surveying”, 83004, Donetsk, Russian Federation, e-mail: ecoseka@rambler.ru

Contribution:

F. M. Golubev – Setting the research problem, conducting the experiment, analyzing the research results, writing the text of the article; K. V. Repina – Conducting an experiment, performing work on systematizing the material, obtaining and preparing data for analysis, writing the text of the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 29.10.2025

Revised: 26.11.2025

Accepted: 05.12.2025