

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В ГРАНИЦАХ ГОРНОГО ОТВОДА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

С.С. Кубрин, А.А. Стрелецкий,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им.
академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация: В статье описаны результаты гравиметрического и электрического методов анализа запыленности атмосферы угольного разреза до и после проведения массового взрыва. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью вскрытия механизмов влияния метеорологических параметров региона, а также микроклимата угольного разреза на процесс формирования и дальнейшего распространения пылегазового облака в границах разреза и за его пределами. Определено влияние климатических условий и микроклимата разреза на траекторию распространения пылегазового облака в рамках карьера, путем установления прироста массы пробоотборников, расположенных в определенном секторе, а также путем проведения априорной и апостериорной оценок запыленности приземного слоя атмосферы. Результаты исследования могут быть использованы для установления новых эмпирических закономерностей, описывающих влияние метеорологических параметров на траекторию распространения пылегазового облака в атмосфере, а также для разработки новых методов мониторинга и контроля облака.

Ключевые слова: гравиметрический анализ, электрический анализ, запыленность, седиментация, массовый взрыв, буровзрывные работы, угольный разрез.

Благодарность: Исследования проведены в рамках мероприятия № 1 Комплексной научнотехнической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р, и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

Для цитирования: Кубрин С.С., Стрелецкий А.А. Применение гравиметрического и электрического методов анализа для комплексной оценки запыленности приземного слоя атмосферы в границах горного отвода угольного разреза // Маркшейдерия и недропользование. 2023. №6. С. 106-110. DOI: 10.56195/20793332_2023_6_106_110.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE DUSTINESS OF THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE WITHIN THE BOUNDARIES OF THE MINING BRANCH OF THE COAL MINE

S.S. Kubrin, A.A. Streletskiy,

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract: The article describes the results of gravimetric and electrical methods for analyzing the dust content of the atmosphere of a coal mine before and after a mass explosion. The relevance of this study is due to the need to uncover the mechanisms of influence of the meteorological parameters of the region, as well as the microclimate of the coal mine on the formation and further spread of the dust and gas cloud within the boundaries of the section and beyond. The influence of climatic conditions and microclimate of the section on the trajectory of the dust and gas cloud propagation within the quarry was determined by determining the mass gain of samplers located in a certain sector, as well as by conducting a priori and a posteriori estimates of the dust content of the surface layer of the atmosphere. The results of the study can be used to establish new empirical patterns describing the influence of meteorological parameters on the trajectory of a dust and gas cloud in the atmosphere, as well as to develop new empirical patterns describing the influence of meteorological parameters on the trajectory of dust and gas cloud propagation in the atmosphere, as well as for the development of new methods of cloud monitoring and control.

Keywords: gravimetric analysis, electrical analysis, dustiness, sedimentation, mass explosion, drilling and blasting, coal mine.

Acknowledgment: The research was carried out within the framework of Event No. 1 of the Comprehensive Scientific and Technical Program of the Full Innovation Cycle, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1144-r dated May 11, 2022, and the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation No 075-15-2022-1185 dated September 28, 2022.

For citation: Kubrin S.S., Streletskiy A.A. Application of gravimetric and electrical analysis methods for a comprehensive assessment of the dustiness of the surface layer of the atmosphere within the boundaries of the mining branch of the coal mine. Surveying and sub-soil use. 2023;(6): 106-110.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2023_6_106_110.

Разработке угольных месторождений открытым способом непременно сопутствует пылевое загрязнение территории в границах горного отвода, а также территории близлежащих населенных пунктов [1]. Качество окружающей среды, а в частности состояние флоры, фауны региона, а также состояние биоты в целом, напрямую зависят от соблюдения технологии добычи полезных ископаемых открытым способом.

Наибольшая доля пылевого загрязнения приходится на буровзрывные работы. В 70-75% случаев производства массовых взрывов, пылегазовое облако распространяется за границы горного отвода. Мелкодисперсная пыль, распространяясь в приземном слое атмосферы и седиментируясь на почву близлежащих территорий, может менять химический состав почвенно-растительного покрова [2]. Поэтому задача мониторинга пылегазового облака, образованного в результате проведения массового взрыва на угольном разрезе является актуальной.

Материалы и методы исследования

Исследование пылевого загрязнения окружающей среды в границах горного отвода проводилось с использованием гравиметрического и электрического методов анализа.

Перед проведением массового взрыва на угольном разрезе были разложены предварительно взвешенные пробоотборники, представляющие собой мелкозернистую сетку из мельтблауна и спанбонда, с параметрами сторон 175×95 мм. На рисунке 1 показана схема установки пробоотборников в границах горного отвода. Также, помимо раскладки пробоотборников, в каждой из представленных на рисунке точек, производился замер массовой концентрации частиц респираторной пыли с помощью прибора экологического контроля DT-9980M, работа которого основана на электрическом методе.

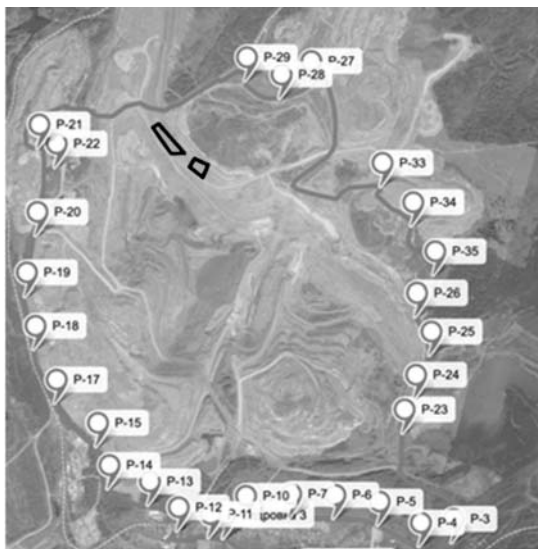


Рис. 1. Схема расположения пробоотборников /

Fig. 1. Arrangement of samplers

Круглыми метками обозначены точки раскладки пылесборников, черным — взрывааемый блок, серым контуром — граница горного отвода.

Также перед проведением массового взрыва было изучено состояние погоды, в частности: сила и направление ветра. Данные метеорологические параметры напрямую влияют на траекторию и дальность распространения пылегазового облака.

Результаты исследования

После проведения массового взрыва, пробоотборники были собраны и взвешены, на электронных весах. Данные об изменении массы представлены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Данные гравиметрического анализа / Gravimetric analysis data

Порядковый номер точки	Номер пробоотборника	Масса до взрыва, гр.	Масса после взрыва, гр.
1	P-1	2,65	2,70
2	P-2	2,69	3,14
3	P-3	2,71	2,76
4	P-4	2,82	2,97
5	P-5	2,80	2,92
6	P-6	2,62	2,88
7	P-7	2,63	2,65
8	P-8	2,64	-
9	P-9	2,63	-
10	P-10	2,67	2,95
11	P-11	2,56	3,09
12	P-12	2,67	2,97
13	P-13	2,59	2,70
14	P-14	2,36	3,0
15	P-15	2,70	2,88
16	P-16	2,55	-
17	P-17	2,56	2,75
18	P-18	2,62	3,61
19	P-19	2,69	3,02
20	P-20	2,63	2,68
21	P-21	2,70	3,32
22	P-22	2,64	2,75
23	P-23	2,65	2,68
24	P-24	2,68	2,69
25	P-25	2,61	2,65
26	P-26	2,66	2,67
27	P-27	2,73	2,88
28	P-28	2,64	2,72
29	P-29	2,61	2,65
30	P-30	2,67	-
31	P-31	2,66	-
32	P-32	2,75	-
33	P-33	2,66	3,38
34	P-34	2,66	3,72
35	P-35	2,63	3,66

Прочерками в таблице обозначены пробоотборники, которые не удалось обнаружить после проведения массового взрыва.

Из данных полученных на основе гравиметрического метода следует, что наибольший привес пробоотборников наблюдается в точках Р-33, 34, 35. Также по этим данным можно сделать вывод что именно пылегазовое облако распространялось в Юго-Восточном направлении, что соответствует параметру направления ветра в день проведения массового взрыва на угольном разрезе.

Данные, полученные в результате измерения массовой концентрации респираторных частиц, с помощью прибора экологического контроля DT-9980М, приведены в *таблице 2*.

Из *таблицы 2* видно, что в точках, охватывающих Восточную, Юго-Восточную сторону угольного разреза (Р-33, Р-34, Р-35, Р-26, Р-25, Р-24, Р-23, Р-5, Р-4, Р-3) наблюдается значительное увеличение концентрации частиц пыли респираторных фракций. Данный факт объясняется метеоусло-

виями в день проведения массового взрыва, а именно действующим Юго-Восточным ветром.

Заключение

Региональный микроклимат в районе проведения горных работ (температура, влажность атмосферного воздуха, сила и направление ветра), способ разработки угольного месторождения, а также технология ведения горных работ, все это является факторами, напрямую влияющими на пылевыведение [3]. В свою очередь пыль, образованная в результате проведения массовых взрывов, является причиной возникновения, как у рабочих горной отрасли, так и у местных жителей близлежащих населенных пунктов, различных пневмопатологий, таких как силикоз, пневмокониоз [4-6]. Опасность мелкодисперсной пыли для человека, в частности респираторных частиц РМ_{2,5} и РМ₁₀, подтверждена множеством зарубежных и отечественных исследований [7-13]. Помимо негативного влияния на дыхательную систему человека, данные частицы способны проникать в кровеносную систему человека [14, 15], и вы-

Таблица 2 / Table 2

Данные концентрации респираторных частиц / Respirable particle concentration data

№ точки	Название	До массового взрыва						После массового взрыва					
		0.3 мкм	0.5 мкм	1 мкм	2.5 мкм	5 мкм	10 мкм	0.3 мкм	0.5 мкм	1 мкм	2.5 мкм	5 мкм	10 мкм
1	Р-1	57264	12364	1646	206	34	14	112512	31450	5370	638	109	44
2	Р-2	89600	21024	3601	439	100	49	88510	25010	4460	527	90	35
3	Р-3	155632	37903	5321	600	113	56	186537	62920	17330	3232	818	420
4	Р-4	147702	35405	5086	599	124	63	425842	132703	19295	3812	1063	544
5	Р-5	153980	37996	5799	705	141	66	108588	30066	6546	1110	343	192
6	Р-6	148200	35171	5521	633	150	76	80158	22476	4360	677	151	73
7	Р-7	152782	38528	6491	798	172	75	138800	43168	10679	1964	592	368
8	Р-10	149283	38588	7091	985	216	119	74127	21870	4550	634	150	79
9	Р-11	159251	44487	10806	2154	703	397	178110	56578	10863	1472	337	163
10	Р-12	131132	34192	6202	850	185	110	145914	42381	12406	2767	879	487
11	Р-13	146849	38042	7273	1163	273	149	201841	64894	19708	4165	1253	690
12	Р-14	128613	32096	5634	745	190	99	86956	29275	7646	1292	303	152
13	Р-15	124704	31558	5141	579	123	56	108056	32262	8100	1399	345	198
14	Р-17	132380	33539	5555	706	139	67	209909	69474	16815	2931	731	347
15	Р-18	121228	30193	5491	729	150	68	138287	50400	13958	2566	594	299
16	Р-19	122477	31306	5759	794	172	90	70982	19347	3388	546	128	85
17	Р-20	213345	44385	9797	1748	446	243	61177	15315	2260	278	63	20
18	Р-21	125938	34623	6780	1173	287	154	60441	15740	2206	245	40	18
19	Р-22	151380	41129	8110	1291	317	164	119613	35336	8337	1499	380	215
20	Р-23	71720	16089	1823	216	31	12	102016	30982	7753	1505	418	232
21	Р-24	77295	17104	2062	211	32	20	126225	47516	13664	2904	804	388
22	Р-25	81444	18797	2755	419	93	56	74064	21571	4065	578	130	53
23	Р-26	82248	20019	3458	519	121	71	70028	20453	3748	545	110	42
24	Р-27	183338	52562	18436	4352	1458	844	278977	103648	36845	8827	3519	1638
25	Р-28	75933	16777	1852	190	25	9	503786	181146	40246	2437	707	439
26	Р-29	75902	16693	2322	237	34	14	143629	55004	16912	3243	762	350
27	Р-33	75763	16866	2200	233	32	17	109393	30667	5234	828	185	118
28	Р-34	76008	17290	2229	285	50	29	95840	25917	6009	1041	268	157
29	Р-35	90272	20079	3436	627	177	122	97078	33814	9351	1934	587	321

зывать различные злокачественные новообразования [16, 17].

Выводы

В данной статье приведены данные комплексного исследования запыленности приземного слоя атмосферы угольного разреза в границах горного отвода.

Показано влияние метеорологических параметров на дальность и траекторию распространения пылегазового облака, что выразилось в увеличении массы пробоотборников после проведения массового взрыва, а также в увеличе-

нии концентрации частиц пыли респираторных фракций в местах забора проб.

Результаты исследования могут быть использованы при исследовании процессов распространения пылегазового облака в атмосфере, а также седиментации мелкодисперсных частиц пыли из него.

Показана необходимость учета метеорологических параметров атмосферы при производстве взрывных работ на угольном разрезе, обусловленная способностью техногенных аэрозолей к загрязнению региональной экосистемы. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Егорова, З.Н. Угольный Разрез «Кангаласский» как источник загрязнения атмосферного воздуха (Центральная Якутия) / З.Н. Егорова // Научное обозрение. Педагогические науки. - 2019. - № 5-2. - С. 100-102.
- Мишина В.В. Проблемы открытой добычи угля и пути их решения в г. Нерюнгри [Электронный ресурс]. - URL: <http://econf.rae.ru/article/5727> (дата обращения: 29.01.2019).
- Иванов В.В. Экологические аспекты разработки угольных месторождений Северо-Востока России / Под ред. Ю.В. Шумилова. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. - 116 с
- Прыткова, Э.В. Сравнительный анализ дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений / Э.В. Прыткова, Г.В. Маврин, А.И. Мансурова // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - № 1-2(43). - С. 69-70. - DOI 10.18454/IRJ.2016.43.134. - EDN VJUMIT.
- Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM10 concentrations in London / B. Barratt, D. Carslaw, G. Fuller, D. Green, A. Tremper // King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd. November 2012
- Трескова, Ю.В. Оценка воздействия на здоровье населения и окружающую среду твердых выбросов горно-обогажительного комбината с учетом их дисперсного состава / Ю.В. Трескова. - Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2017. - № 23 (157). - С. 19-22. - URL: <https://moluch.ru/archive/157/44415/> (дата обращения: 26.05.2023).
- Методическое пособие по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное). - СПб., 2012.
- Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. - М., 2004.
- Effect of Air Pollution Control on Life Expectancy in the United States: An Analysis of 545 U.S. Counties for the Period from 2000 to 2007 / Correia, Andrew W.; Pope, C. Arden III; Dockery, Douglas W.; Wang, Yuna; Ezzati, Majid; Dominici, Francesca // Epidemiology. - 2013. - Vol. 24. - Iss. 1. - P. 23-31. doi:0.1097/EDE.0b013e3182770237. Air Pollution
- Airborne Particulate Concentrations and Numbers in the United Kingdom (phase 2) / S. Beccaceci, D. Muhunthan, D. Sarantaris, J. Tompkins, D. Butterfield, P. Quincey, R. Brown, D. Green, A. Grieve, G. Fuller, A. Jones // Annual Report. - 2010. Report Date: 31/08/2011.
- Kassomenos P.A., Dimitriou K., Paschalidou A.K. Human health damage caused by particulate matter PM (10) and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece: Environ Monit Assess. - 2013.
- Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand / Usanee U. Vinitketkumnuen, Kittiwat K. Kalayanamitra, Teera T. Chewonarin, Richard R. Kamens // Mutat Res. - 2002. - Vol. 519 (1-2). - P. 121-31. - PMID 12160897.
- Wilson R. and Spengler J. Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects. - Cambridge, MA: Distributed by Harvard University Press, 1996.
- Bulejko P., Adamec V., Skeril R., Schullerova B., Bencko V. Levels and Health Risk Assessment of PM10 Aerosol in Brno, Czech Republic. Cent. Eur. J. Public Health. 2017. № 25. P. 129-134. DOI: 10.21101/cejph.a4495.
- Ljungman P.L.S., Andersson N., Stockfelt L., Andersson E.M., Nilsson Sommar J., Eneroth K., Gidhagen L., Johansson C., Lager A., Leander K. et al. Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution, Black Carbon, and Their Source Components in Relation to Ischemic Heart Disease and Stroke. Environ. Health Perspect. 2019. № 127. P. 107012. DOI: 10.1289/EHP4757.
- Roy D., Singh G., Seo Y.-C. Carcinogenic and NonCarcinogenic Risks from PM10-and PM2.5-Bound Metals in a Critically Polluted Coal Mining Area. Atmos. Pollut. Res. 2019. № 10. P. 1964-1975. DOI: 10.1016/j.apr.2019.09.002.
- Cortes-Ramirez J., Naish S., Sly P., Jagals P. Mortality and Morbidity in Populations in the Vicinity of Coal Mining: A Systematic Review. BMC Public Health. 2018. № 18. P. 721. DOI: 10.1186/s12889-018-5505-7.

REFERENCES

- Egorova, Z.N. «Kangalassky» Coal mine as a source of atmospheric air pollution (Central Yakutia) / Z.N. Egorova // Scientific Review. Pedagogical sciences. - 2019. - No. 5-2. - pp. 100-102.
- Mishina V.V. Problems of open-pit coal mining and ways to solve them in Neryungri [Electronic resource]. - URL: <http://econf.rae.ru/article/5727> (accessed: 29.01.2019).
- Ivanov V.V. Ecological aspects of the development of coal deposits in the North-East of Russia / Edited by Yu.V. Shumilov. - M.: LLC «Nedra-Businesscenter», 2007. - 116 p.

4. Prytkova, E.V. Comparative analysis of the dispersed composition of dust in the air of the working area of non-industrial premises / E.V. Prytkova, G.V. Mavrin, A.I. Mansurova // International Research Journal. - 2016. - № 1-2(43). - Pp. 69-70. - DOI 10.18454/IRJ.2016.43.134.
5. Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM10 concentrations in London / B. Barratt, D. Carslaw, G. Fuller, D. Green, A. Tremper // King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd. November 2012
6. Treskova, Yu.V. Assessment of the impact on public health and the environment of solid emissions from a mining and processing plant, taking into account their dispersed composition / Yu.V. Treskova. - Text: direct // Young scientist. - 2017. - № 23 (157). - Pp. 19-22. - URL: <https://moluch.ru/archive/157/44415/> (accessed: 05/26/2023).
7. Methodological guide for calculating, rationing and controlling emissions of pollutants into the atmospheric air (supplemented and revised). - St. Petersburg, 2012.
8. P 2.1.10.1920-04. Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment. - M., 2004.
9. Effect of Air Pollution Control on Life Expectancy in the United States: An Analysis of 545 U.S. Counties for the Period from 2000 to 2007 / Correia, Andrew W.a; Pope, C. Arden IIIb; Dockery, Douglas W.c; Wang, Yuna; Ezzati, Majidd; Dominici, Francescaa // Epidemiology. - 2013. - Vol. 24. - Iss. 1. - P. 23-31. doi:0.1097/EDE.0b013e3182770237. Air Pollution
10. Airborne Particulate Concentrations and Numbers in the United Kingdom (phase 2) / S. Beccaceci, D. Muhunthan, D. Sarantaridis, J. Tompkins, D. Butterfield, P. Quincey, R. Brown, D. Green, A. Grieve, G. Fuller, A. Jones // Annual Report. - 2010. Report Date: 31/08/2011.
11. Kassomenos P.A., Dimitriou K., Paschalidou A.K. Human health damage caused by particulate matter PM (10) and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece: Environ Monit Assess. - 2013.
12. Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand / Usanee U. Vinitketkumnuen, Kittiwat K. Kalayanamitra, Teera T. Chewonarin, Richard R. Kamens // Mutat Res. - 2002. - Vol. 519 (1-2). - P. 121-31. - PMID 12160897.
13. Wilson R. and Spengler J. Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects. - Cambridge, MA: Distributed by Harvard University Press, 1996.
14. Bulejko P., Adamec V., Skeril R., Schullerova B., Bencko V. Levels and Health Risk Assessment of PM10 Aerosol in Brno, Czech Republic. Cent. Eur. J. Public Health. 2017. № 25. P. 129-134. DOI: 10.21101/cejph.a4495.
15. Ljungman P.L.S., Andersson N., Stockfelt L., Andersson E.M., Nilsson Sommar J., Eneroth K., Gidhagen L., Johansson C., Lager A., Leander K. et al. Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution, Black Carbon, and Their Source Components in Relation to Ischemic Heart Disease and Stroke. Environ. Health Perspect. 2019. № 127. P. 107012. DOI: 10.1289/EHP4757.
16. Roy D., Singh G., Seo Y.-C. Carcinogenic and NonCarcinogenic Risks from PM10-and PM2.5-Bound Metals in a Critically Polluted Coal Mining Area. Atmos. Pollut. Res. 2019. № 10. P. 1964-1975. DOI: 10.1016/j.apr.2019.09.002.
17. Cortes-Ramirez J., Naish S., Sly P., Jagals P. Mortality and Morbidity in Populations in the Vicinity of Coal Mining: A Systematic Review. BMC Public Health. 2018. № 18. P. 721. DOI: 10.1186/s12889-018-5505-7.

Кубрин Сергей Сергеевич:

доктор технических наук,
профессор,
ученый секретарь,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: s_kubrin@mail.ru

Kubrin Sergey Sergeevich:

Doctor of engineering sciences,
Professor, Academic secretary,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,
e-mail: s_kubrin@mail.ru

Стрелецкий Александр Алексеевич:

ведущий инженер,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: seaman1079@yandex.ru

Strelezkiy Aleksandr Alekseevich:

Leading engineer,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,
e-mail: seaman1079@yandex.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS: Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.