

Научная статья
УДК 504.75; 504.3.054
doi: 10.17223/7783494/3/6

Гранулометрический состав микроразмерных частиц комплексного состава, образующихся при техногенном воздействии на морскую среду

Константин Юрьевич Кириченко¹, Владислава Николаевна Волкова²,
Владимир Викторович Чайка³, Кирилл Сергеевич Голохваст⁴

^{1, 3, 4} Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Россия

^{2, 4} Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ kirichenko2012@gmail.com

² vladavibi@bk.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию комплексного состава взвешенных микроразмерных частиц, образующихся в результате конденсации паров расплавленного металла, шлака и покрытия электродов при техногенном воздействии на морскую среду, сформированных при подводной сварке и подводной резке, а также получению сравнительных комплексных характеристик при фоновом содержании микроразмерных частиц в морской среде. В работе приводятся первые результаты исследования размерного состава частиц, возникающих в процессе сварки и резки с помощью метода лазерной гранулометрии. Показано наличие микроразмерных частиц, которые крайне опасны для здоровья человека и животных. По результатам исследования показано, что при подводной сварке в долях от 60 до 70% встречаются частицы с диаметром менее 10 мкм. При подводной резке в долях от 70 до 80% встречаются частицы с диаметром менее 10 мкм. Наблюдается присутствие частиц размером от 100 до 400 мкм в морской воде от техногенного воздействия в долях 90%. Этот уровень загрязнения способен оказывать негативное токсикологическое воздействие на представителей гидробионтов морских экосистем.

Ключевые слова: гранулометрический анализ, экология, подводная сварка, резка металла, микрочастицы

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-24-01169.

Для цитирования: Кириченко К.Ю., Волкова В.Н., Чайка В.В., Голохваст К.С. Гранулометрический состав микроразмерных частиц комплексного состава, образующихся при техногенном воздействии на морскую среду // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2023. № 3. С. 49–55. doi: 10.17223/7783494/3/6

Original article
doi: 10.17223/7783494/3/6

Granulometric composition of suspended particles formed during anthropogenic impact on the marine environment

Konstantin Yu. Kirichenko¹, Vladislava N. Volkova², Vladimir V. Chaika³, Kirill S. Golokhvast⁴

^{1, 3, 4} Siberian Federal Research Centre of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Russian Federation

^{2, 4} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

¹ kirichenko2012@gmail.com

² vladavibi@bk.ru

Abstract. This article is devoted to the study of the complex composition of suspended particles of micro-sizes formed as a result of condensation of vapors of molten metal, slag and electrode coatings under man-made effects on the marine environment, formed during underwater welding and underwater cutting; it also shows comparative complex characteristics with the background content of microparticles in the marine environment. The article presents the first results of the study of the granulometric composition of particles formed during welding and cutting by laser granulometry. The presence of micro-sized particles, which are extremely dangerous for human and animal health, is shown. The results of the study show that during underwater welding, particles with a diameter of less than 10 microns occur in fractions from 60 to 70%. When underwater cutting, particles with a diameter of less than 10 microns occur in fractions from 70 to 80%. The presence of particles ranging in size from 100 to 400 microns in seawater is observed as a result of anthropogenic impact in fractions of 90%. Such a level of pollution can have a negative toxicological effect on species of aquatic organisms of marine ecosystems.

Keywords: granulometry, ecology, underwater welding, metal cutting, microparticles

Acknowledgments: The work was carried out with the financial support of the Russian Academy of Sciences in the framework of the scientific project No. 22-24-01169.

For citation: Kirichenko, K.Yu., Volkova, V.N., Chaika, V.V. & Golokhvast, K.S. (2023) Granulometric composition of suspended particles formed during anthropogenic impact on the marine environment. *Tekhnologii bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti – Life Safety / Security Technologies*. 3. pp. 49–55. doi: 10.17223/7783494/3/6 (In Russian).

Введение

Данная статья посвящена изучению микроразмерного загрязнения морской воды от подводных техногенных работ при подводной сварке и продолжает цикл наших работ по изучению негативного воздействия на окружающую среду, в том числе и в акватории Японского моря в Приморском крае [1]. При проведении техногенных подводных работ выделяется большое количество вредных веществ [2–3]. Микро-размерные частицы после подводной сварки и резки представляют собой совокупность частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, шлака и покрытия электродов [4]. Данные частицы являются неотъемлемым атрибутом при производстве работ под водой по обработке металлов (сварка, резка и т.д.).

Проблема образования мелкодисперсных взвесей изучается учеными многих стран мира. Широкое развитие инфраструктуры городов и промышленных предприятий подтверждает активное освоение Мирового океана и прибрежного шельфа, в частности, добычу углеводородов с морского дна и создание трубопроводных сетей для их транспортировки. Для выполнения этих работ используются различные методы подводной сварки и резки металла [5], которые зачастую более экономически выгодны и способны быть альтернативой строительства «сухих» доков и технологических операций по подъему на сушу различных металлических конструкций.

В связи с этим очевиден растущий спрос на операции подводной сварки, связанные с техническим обслуживанием и своевременным ремонтом инфраструктуры подводных газопроводов. Однако непременной характеристикой подводной сварки и резки является образование микроразмерных частиц [6]. Необходимо всесторонне изучить характеристики твердых частиц, образующихся при подводной сварке, чтобы можно было своевременно проанализировать их антропогенную нагрузку на морские экосистемы [7]. Новые возможности получения информации о гранулометрическом составе микроразмерных частиц позволит в дальнейшем оперативно оценивать генезис частиц и судить о закономерностях их распределения в водной толще и более тщательно произвести оценку токсикологического воздействия на гидробионты.

Цель работы: с помощью лазерной гранулометрии и авторской методики отбора проб произвести анализ

размерности частиц от техногенного воздействия при работе с металлом под морской водой.

Материалы и методы

Для этого эксперимента отобрано 20 проб воды из поверхностного слоя в 30 м от берега из бухты Аякс Японского моря. Пробы доставлены в лабораторию, в которой расположена экспериментальная установка с использованием пробоотборников емкостью 2,7 л., которые предварительно были промыты дистиллированной водой. В качестве сварочного аппарата использовался сварочный выпрямитель VD-309P. Отбор проб из экспериментальной установки проводился в морской воде при двух технологических операциях: подводная сварка и резка, где взяты по образцы частиц в 5 повторностях для гранулометрического исследования на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch). Повторности отображаются в таблицах и на графиках цифрами от 1 до 5.

Данный лазерный прибор является универсальным для измерения частиц вплоть до нанодиапазона, подходящего для любых стандартных измерительных задач в диапазоне 0,01–2 000 мкм. Для исследования частиц в анализаторе используется принцип дифракции полупроводникового лазерного излучения на дисперсных образцах с излучением зеленого цвета (532 нм, 7 мВт): при попадании на частицу порошка лазерный луч отклоняется на некоторый угол, зависящий от размера частицы. Далее рассеянный луч попадает на детектор. Измерение интенсивности излучения, попавшего на каждый элемент детектора, и последующая математическая обработка сигнала позволяют определить размер частиц образца и оценить их форму. Интенсивность поглощенного детектором излучения измеряется, и результаты измерения математически обрабатываются. Математическая обработка проводится по модели Ми, которая предполагает, что излучение может проходить через частицу [8]. Расчет по этой модели дает более точные результаты.

В данной работе использовалась сварочная ванна размером 0,82 × 0,46 × 0,38 м, изготовленная из органического стекла с толщиной стенок 1 см. Объем заполнения морской водой составляет 60 л. В качестве сварочного материала использовалась стальная пластина.

В зависимости от свариваемого металла и его толщины в качестве защитных газов используются инертные или активные газы или их смеси. Благодаря

физическим характеристикам стабильность сварки и ее технологические свойства выше при использовании постоянного тока с обратной полярностью. При использовании постоянного тока с прямой полярностью количество расплавленного электродного металла увеличивается на 30%, но стабильность сварки значительно снижается и увеличиваются потери металла на разбрызгивание. Образцы для гранулометрического анализа отмывали от морской воды путем последовательного центрифугирования, добавления дистиллированной воды и повторного суспендирования. Процесс повторился 20 раз. Полученный осадок промывали один раз 1%-ным раствором этанола, а затем снова дистиллятом. Для изучения выделенных частиц их суспензии объемом 10 мкл наносили на медную сетку, покрытую пленкой Formvar, и затем сушили при комнатной температуре. Спектры собирались в течение 300 с.

Результаты и обсуждение

Исследования проводились с использованием оборудования ЦКП «Межведомственный центр аналитического контроля состояния окружающей среды» ДВФУ.

В табл. 1 приведены результаты определения комплексного состава фракции взвешенных частиц после подводной сварки на анализаторе Analysette 22 NanoTec, где в преобладающей доле микрочастиц 70% состав фракций составляет более 12 мкм, а в преобладающей доле микрочастиц в 60% обнаружены частицы менее 10 мкм (PM_{10}), которые являются опасными для окружающей среды. По данным гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной сварки можно сделать вывод об ухудшении экологической ситуации в морской среде.

Таблица 1

Гранулометрический состав взвешенных частиц после подводной сварки

Преобладающая доля микрочастиц ($Q_3(x)$), %	Фракция (x), μm	Сумма фракций, %	Гранулометрический состав проб, %				
			1*	2	3	4	5
10	1,2	31,8	1,8	1,3	0,9	1,0	0,8
20	2,3	35,8	3,7	2,5	1,8	1,8	1,5
30	3,3	36,9	5,5	3,7	2,6	2,6	2,1
40	4,4	34,2	7,1	5,1	3,5	3,7	2,8
50	5,9	28,2	8,7	6,8	4,7	5,6	4,0
60	8,6	20,3	10,6	8,9	6,4	10,3	6,7
70	12,0	17,5	13,0	11,8	9,1	15,3	10,8
80	17,2	18,3	17,0	17,0	12,9	22,7	16,4
90	363,9	113,5	30,6	37,1	20,8	781,0	950,0

* Здесь и далее цифрами от 1 до 5 отображаются повторности отбора проб.

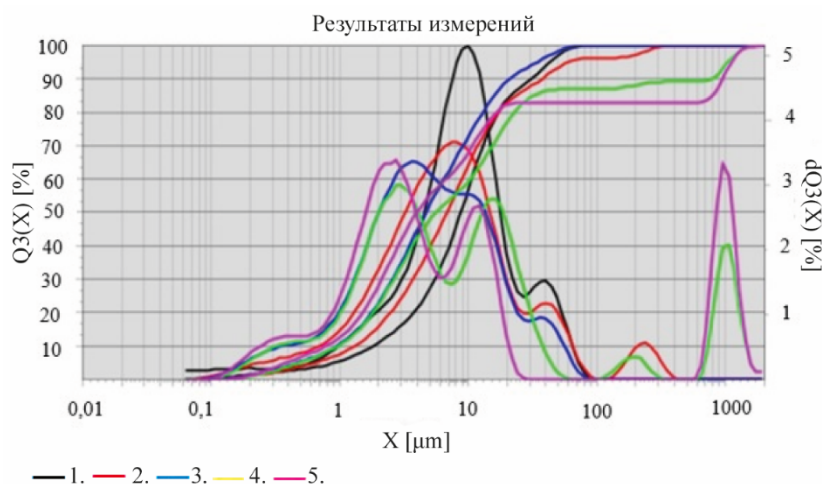


Рис. 1. Кумулятивная кривая гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной сварки.

* Цифрами от 1 до 5 отображаются повторности отбора проб

Fig. 1. Cumulative curve of the particle size distribution of suspended particles after underwater welding. Numbers from 1 to 5 indicate the sampling repetitions

На рис. 1 представлена кумулятивная кривая гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной сварки, которая представляет визуализацию математической модели результатов измерения в программе Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch). По кумулятивной кривой наблюдаются пиковые значения микрочастиц размером 10 мкм во всех пробах при преобладающей доле частиц 70%.

В табл. 2 приведены результаты определения комплексного состава фракции взвешенных частиц после подводной резки на анализаторе Analysette 22 NanoTec, где наблюдаются в преобладающей доле частиц 70%,

состав фракций 10,2 мкм. По данным гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной резки (см. табл. 2) и по данным из гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной сварки (см. табл. 1) можно сделать вывод, что при подводной резке встречается больше частиц с фракцией 10,2 мкм, значит, данный технологический процесс опаснее, но уже при преобладающей доле частиц свыше 20% с размером фракций менее 10 мкм является опасным для окружающей среды, можно сделать вывод об ухудшении экологической ситуации в морской среде при техногенном воздействии от двух процессов.

Таблица 2

Гранулометрический состав взвешенных частиц после подводной резки

Преобладающая доля микрочастиц (Q3(x)), %	Фракция (x), μm	Сумма фракций, %	Гранулометрический состав проб, %				
			1	2	3	4	5
10	1,0	27,3	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7
20	1,9	26,9	2,8	2,1	1,7	1,5	1,3
30	2,7	26,6	4,0	3,0	2,4	2,2	2,0
40	3,8	25,5	5,4	4,2	3,4	3,1	2,8
50	5,1	23,7	7,1	5,7	4,6	4,1	3,8
60	6,9	21,7	9,3	8,0	6,5	5,8	5,1
70	10,2	19,7	13,0	11,8	9,7	9,5	7,1
80	16,6	18,7	20,3	17,9	15,2	18,5	11,3
90	211,4	174,4	30,7	26,3	24,2	27,2	948,7

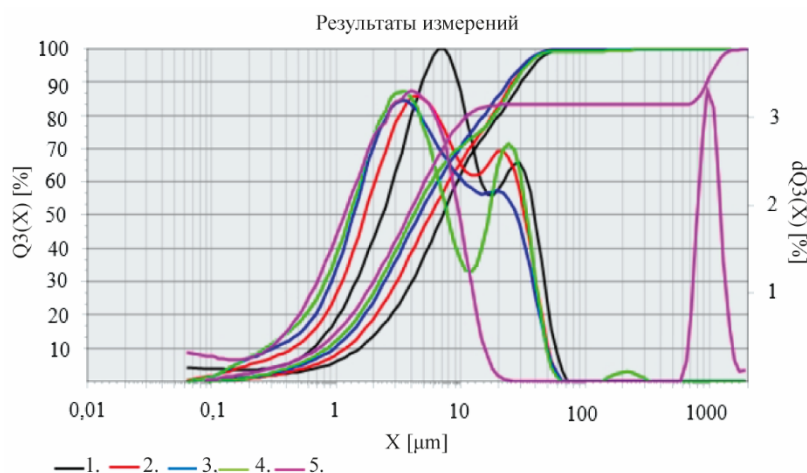


Рис. 2. Кумулятивная кривая гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной резки

Fig. 2. Cumulative curve of the granulometric composition of suspended particles after underwater cutting

На рис. 2 представлена кумулятивная кривая гранулометрического состава взвешенных частиц после подводной сварки, которая представляет визуализацию математической модели результатов измерения в программе Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch). По кумулятивной кривой наблюдаются пиковые значения микрочастиц размером 10 мкм во всех пробах при преобладающей доле частиц 70%.

В табл. 3 приведены результаты определения состава фракции взвешенных частиц в морской воде без техногенного воздействия (фоновые значения) на анализаторе Analysette 22 NanoTec, где наблюдаются существенные различия между результатами комплексного гранулометрического состава при техногенном воздействии (см. табл. 1, 2), где без техногенного воздействия в преобладающей доле частиц 20% состав фракций более 13,1 мкм (табл. 3).

Гранулометрический состав взвешенных частиц в морской воде без техногенного воздействия

Преобладающая доля микрочастиц ($Q3(x)$), %	Фракция (x), μm	Сумма фракций, %	Гранулометрический состав проб, %				
			1	2	3	4	5
10	8,4	27,5	12,4	9,1	7,9	6,7	5,8
20	13,1	25,7	19,3	13,7	11,9	10,0	10,6
30	18,3	28,0	27,3	19,0	18,5	12,6	14,0
40	53,7	108,1	36,6	28,3	169,0	16,2	18,6
50	184,2	56,2	54,6	211,5	364,7	131,5	158,6
60	341,7	19,7	341,9	361,6	456,3	267,0	281,5
70	438,6	11,5	434,6	446,0	529,1	384,8	398,4
80	533,3	6,7	518,2	524,7	604,2	512,7	506,7
90	665,0	7,1	618,3	620,5	702,7	738,0	645,5

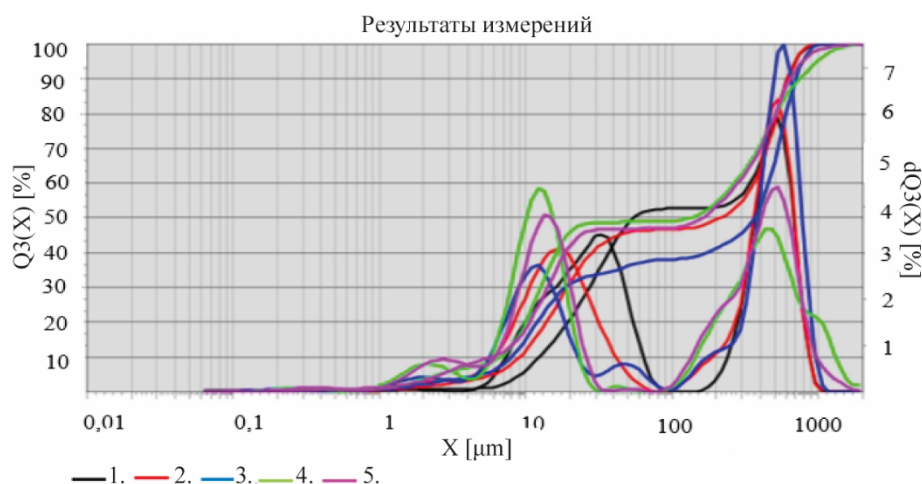


Рис. 3. Кумулятивная кривая фоновых измерений гранулометрического состава взвешенных частиц

Fig. 3. Cumulative curve of background measurements of the particle size distribution of suspended particles

Доля преобладающих частиц 20% не является опасной для окружающей среды, данные отражены на рис. 3. По кумулятивной кривой наблюдаются пиковые значения микрочастиц размером 10 мкм во всех пробах при преобладающей доле частиц в основном 10%.

Сравнительная таблица результатов измерений гранулометрического состава взвешенных частиц на рис. 4 показывает, что при техногенном воздействии преимущественно выделяются опасные вещества размером 10 мкм, когда при фоновых показателях присутствие таких частиц значительно ниже.

Видно, что при подводной сварке электродами наблюдается выделение преобладающей доли наночастиц (60–70%) до 10 мкм (PM_{10}). При подводной резке выделение преобладающей доли наночастиц (70–80%) до 10 мкм (PM_{10}). Наблюдается присутствие частиц размером от 100 до 400 мкм в морской воде от техногенного воздействия в долях 90% в

пробах от подводной резки. Встречаются крупногабаритные частицы до 230 мкм, которые скорее являются скоплением первичных частиц с более мелкой фракцией. Так, при фоновом содержании в РФ и многих других странах приняты нормативы и средства защиты для сварщиков, которые регулируют выбросы в атмосферный воздух [9]. Нормативы по сбросам частиц в морскую среду от данных технологических процессов не разработаны. Как мы видим по нашим результатам (см. рис. 1–4, табл. 1–3), техногенные виды работ, такие как подводная резка и сварка, являются источником наночастиц, которые крайне опасны для здоровья человека и окружающей среды. Для разработки нормативной базы, регулирующей выбросы, требуется наработка данных, которая позволит выработать пороговые концентрации и значения на основании оценки токсикологического воздействия техногенных частиц подводной сварки на представителей морских гидробионтов.

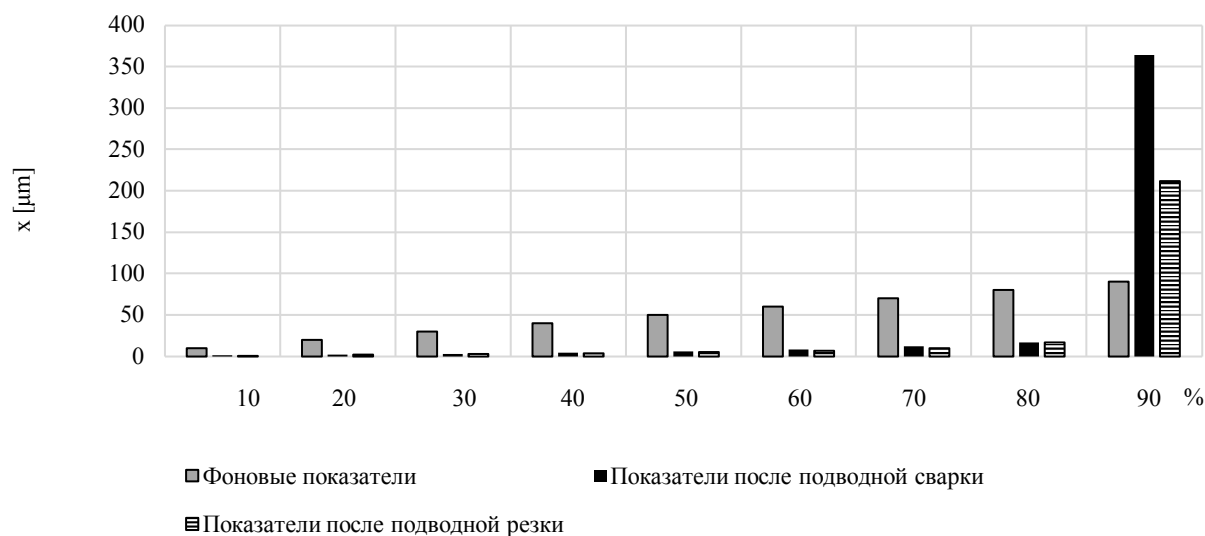


Рис. 4. Сравнительная таблица результатов измерений гранулометрического состава взвешенных частиц

Fig. 4. Comparative table of measurement results of the particle size distribution of suspended particles

На основе полученных нами данных определенно можно говорить о том, что техногенные виды работ, такие как подводная сварка и резка, будучи поставщиком в воздушный бассейн г. Владивостока фракции PM10, являются фактором, ухудшающим качество жизни его жителей. В связи с реализацией госпрограммы «Энергоэффективность, развитие газоснабжения и энергетики в Приморском крае» на 2020–2027 гг. количество выбрасываемой в атмосферу мелкодисперсной пыли будет только увеличиваться и экологическая ситуация в этом населенном пункте, соответственно, может только ухудшаться.

Заключение

По результатам исследования показано, что при подводной сварке в долях от 60 до 70% встречаются частицы с диаметром менее 10 мкм. При подводной резке в долях от 70 до 80% встречаются частицы с диаметром менее 10 мкм. Наблюдается присутствие частиц размером от 100 до 400 мкм в морской воде от

техногенного воздействия в долях 90%. Выявлено наличие мельчайших частиц при производстве работ по подводной сварке и резке металлов, в том числе и частиц мельчайшей фракции PM1–PM10.

Этот уровень загрязнения способен оказывать негативное токсикологическое воздействие на представителей морских гидробионтов и повлиять на устойчивость морских экосистем. Отметим также, что исследование гранулометрического состава в морской воде после подводной сварки и подводной резки выполнено впервые, что позволит в дальнейшем проводить моделирование биогеохимических процессов для оперативного мониторинга при техногенном воздействии на морскую среду. На основании полученных данных в будущем станет возможна разработка компенсационных мероприятий и рекомендаций, направленных на поддержание балансовой устойчивости морских экосистем в условиях возрастающей антропогенной нагрузки, связанной с освоением морских шельфов и прокладкой инфраструктурных коммуникаций для транспортировки углеводородов.

Список источников

1. Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Захаренко А.М., Вахнюк И.А., Волкова В.Н., Голохваст К.С. Анализ атмосферной взвеси рабочего поселка Ванино (Хабаровский край) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2023. № 4. С. 145–160. doi: 10.37102/0869-7698_2023_230_04_10
2. Lehnert M., Pesch B., Lotz A. Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume // Annals of Occupational Hygiene. 2012. Vol. 56 (5). P. 557–567.
3. Ананьев В.Ю., Жигаев Д.С., Кислицина Л.В., Кику П.Ф. Оценка влияния атмосферного воздуха на здоровье населения Владивостока и ее особенности // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2012. № 3-4 (49-50). С. 71–74.
4. Полякова Е.М., Сюрин С. А. Профессиональные риски здоровью сварщиков при сочетанном влиянии сварочного аэрозоля и охлаждающего микроклимата // ЗНиСО. 2021. № 9. С. 69–77. doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-9-69-77
5. Madatov N.M. Welding and Cutting of Metals under Water. Moscow // International Journal of Machine Engineering. 1975. P. 4–9.

6. Kirichenko K.Y., Pikula K.S., Zakharenko A.M., Gridasov A.V., Parshin S.G., Medvedev S.A., Vakhniuk I.A., Golokhvast K.S. Ecotoxicological assessment of underwater welding impact during the construction of marine pipelines // *Advances in raw material industries for sustainable development goals*. Taylor & Francis Group, 2021. P. 222–230.
7. Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Ключиткин А.А., Коченкова А.И. Измерение характеристик взвешенных частиц Баренцева моря IN SITU с помощью лазерного дифрактометра LISST-deep // *Океанология*. 2020. № 60 (5). С. 747–761. doi: 10.31857/S0030157420050159
8. Никитин П.А. Методические указания к лабораторным гранулометрического состава дисперсных образцов на лазерном анализаторе частиц Analysette-22 NanoTec (Fritsch). Владивосток : Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013. 27 с. URL: <http://www.dvfu.ru/web/is/metodicheskie-rekomendacii>
9. Кусраева З.С. Оценка профессионального риска при современных методах электродуговой сварки и резки металлов : дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2011. 164 с.

References

1. Kholodov, A.S., Kirichenko, K.Yu., Zakharenko, A.M., Vakhnyuk, I.A., Volkova, V.N. & Golokhvast K.S. (2023) The analysis of particulate matter in Vanino settlement (Khabarovsk Territory, Russia). *Vestnik of the FEB RAS*. 4. pp. 145-160. (In Russian) doi: 10.37102/0869-7698_2023_230_04_10
2. Lehnert, M., Pesch, B. & Lotz, A. (2012) Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume. *Annals of Occupational Hygiene*. 56 (5). pp. 557–567.
3. Ananyev, V.Yu., Zhigayev, D.S., Kislitsina, L.V. & Kiku, P.F. (2012) Assessment of the influence of atmospheric air on the health of the population of Vladivostok and its features. *Zdorov'e. Meditsinskaya ekologiya. Nauka – Health. Medical ecology. The science*. 3-4 (49-50). pp. 71-74. (In Russian).
4. Polyakova, E.M. & Syurin, S.A. (2021) Occupational health risks from combined exposure to welding fumes and cold environment for welders. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 9. pp. 69-77. (In Russian). doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-9-69-77
5. Madatov, N.M. (2020) Welding and Cutting of Metals under Water. Moscow. *International Journal of Machine Engineering*. p. 4–9, 19756.
6. Kirichenko, K.Y., Pikula, K.S., Zakharenko, A.M., Gridasov, A.V., Parshin, S.G., Medvedev, S.A., Vakhniuk, I.A. & Golokhvast, K.S. (2021) Ecotoxicological assessment of underwater welding impact during the construction of marine pipelines. In: *Advances in raw material industries for sustainable development goals*. Taylor & Francis Group. pp. 222–230.
7. Lokhov, A.S., Kravchishina, M.D., Klyuvitkin, A.A. & Kochenkova, A.I. (2020) In situ Measurement of the Characteristics of Suspended Particles in the Barents Sea by the LISST-Deep Laser Diffractometer. *Okeanologiya – Oceanology*. 60(5). pp. 747-761. (In Russian). doi: 10.31857/S0030157420050159
8. Nikiforov, P.A. (2013) *Metodicheskie ukazaniya k laboratornym granulometricheskogo sostava dispersnykh obraztsov na lazernom analizatore chastits Analysette-22 NanoTec (Fritsch)* [Methodological guidelines for laboratory granulometric composition of dispersed samples on a laser particle analyzer Analysette-22 NanoTec (Fritsch)]. Vladivostok : Publishing House of the Far Eastern Federal University. [Online] Available from: <http://www.dvfu.ru/web/is/metodicheskie-rekomendacii>
9. Kusraeva, Z.S. (2011) *Assessment of occupational risk in modern methods of electric arc welding and metal cutting*. Medical Sciences Cand. Diss. St. Petersburg.

Информация об авторах:

Кириченко Константин Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (р.п. Краснообск, Россия). E-mail: kirichenko@sfscs.ru

Волкова Владислава Николаевна – кандидат технических наук, старший преподаватель Дальневосточного федерального университета (Владивосток, Россия). E-mail: vladavibi@bk.ru

Чайка Владимир Викторович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (р.п. Краснообск, Россия). E-mail: chayka@sfscs.ru

Голохваст Кирилл Сергеевич – доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, главный научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (р.п. Краснообск, Россия). E-mail: droopy@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Kirichenko Konstantin Yu., Cand. Sc. (Biology), senior researcher, Siberian Federal Research Centre for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Russian Federation). E-mail: kirichenko@sfscs.ru

Volkova Vladislava N., Cand. Sc. (Engineering), senior lecturer, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation). Email: vladavibi@bk.ru

Chaika Vladimir V., Dr. Sc. (Biology), senior researcher, Siberian Federal Research Centre for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Russian Federation). E-mail: chayka@sfscs.ru

Golokhvast Kirill S., Dr. Sc. (Biology), professor of the Russian Academy of Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Education, chief researcher, Siberian Federal Research Centre for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Russian Federation). Email: droopy@mail.ru

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 4.10.2023; одобрена после рецензирования 26.10.2023; принята к публикации 13.11.2023

The article was submitted 4.10.2023; approved after reviewing 26.10.2023; accepted for publication 13.11.2023