

## СТАТЬИ

УДК 504.064:504.45  
DOI 10.17513/use.38258

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА И КАЧЕСТВО ВОДЫ В АКВАТОРИИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

<sup>1,3</sup>Анциферова М.А., <sup>1,2,3</sup>Сазонов А.Д.

<sup>1</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: m12antsiferova@mail.ru;

<sup>2</sup>Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону;

<sup>3</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Целью данной работы являлось рассмотрение особенностей распределения частиц микропластика и качества воды в акватории Цимлянского водохранилища, расположенного на реке Дон. Материалами исследования содержания микропластика в воде водохранилища послужили данные Южного научного центра Российской академии наук, собранные в ходе научно-исследовательских экспедиций, проходивших в 2021–2023 гг. Изучение содержания частиц микропластика в воде проводилось по модифицированной методике Национального управления океанических и атмосферных исследований. Изучение пространственно-временной изменчивости качества воды проводилось общепринятым в России методом комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. В ходе исследования было отмечено, что во всех пробах воды были обнаружены частицы микропластика. Их содержание в воде находилось в достаточно широком диапазоне (9–132 шт./м<sup>3</sup>). Наибольшее содержание было отмечено в нижней части водохранилища вблизи его бьефа. При анализе изменчивости качества воды водохранилища в современный период было установлено, что в современный период уровень ее загрязненности находится в диапазоне от «загрязненной» до «грязной». Результаты проведенных исследований могут быть полезны при планировании и проведении природоохранных мероприятий.

**Ключевые слова:** микропластик, загрязнение воды, Цимлянское водохранилище, антропогенное воздействие, акватория

*Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122011900153-9.*

## MICROPLASTIC DISTRIBUTION PATTERNS AND WATER QUALITY IN THE WATER AREA OF THE TSIMLYANSKOYE RESERVOIR IN THE MODERN PERIOD

<sup>1,3</sup>Antsiferova M.A., <sup>1,2,3</sup>Sazonov A.D.

<sup>1</sup>Southern Scientific Centre of RAS, Rostov-on-Don, e-mail: m12antsiferova@mail.ru

<sup>2</sup>Hydrochemical Institute of Roshydromet, Rostov-on-Don;

<sup>3</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Rostov-on-Don

The purpose of this work was to consider the distribution of microplastic particles in the water area of the Tsimlyansky reservoir located on the Don River. The data of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, collected during research expeditions in 2021–2023, served as materials for the study of microplastic content in the reservoir water. The study of microplastic particles in water was carried out according to the modified methodology of the National Oceanic and Atmospheric Administration. The study of spatial and temporal variability of water quality was carried out according to the method of complex assessment of the degree of surface water pollution by hydrochemical indicators, which is generally accepted in Russia. During the study it was noted that microplastic particles were detected in all water samples. Their content in water was in a wide enough range (9–132 pcs/m<sup>3</sup>). The highest content was observed in the lower part of the reservoir in the vicinity of its embankment. When analysing the variability of the reservoir water quality in the modern period, it was found that in the modern period the level of water pollution ranged from «polluted» to «dirty». The results of the conducted research can be useful in planning and carrying out environmental protection measures.

**Keywords:** microplastics, water pollution, Tsimlyanskoeye water reservoir, anthropogenic impact, water area

*The work was carried out within the framework of the state assignment of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, state registration № 122011900153-9.*

В современный период поверхностные воды суши испытывают серьезную антропогенную нагрузку. Последствия такой нагрузки требуют регулярного изучения качественных характеристик воды, что особенно актуально для водохранилищ, так как

они создавались, прежде всего, для обеспечение водохозяйственных нужд.

Цимлянское водохранилище – единственное водохранилище, созданное на реке Дон. Этот искусственный водный объект был введен в эксплуатацию в 1953 году.

Создание водохранилища в значительной степени трансформировало гидролого-гидрохимический режим нижнего течения реки Дон. Площадь Цимлянского водохранилища составляет порядка 2702 км<sup>2</sup> при полном объеме около 23,8 км<sup>3</sup>. В настоящее время водохранилище испытывает серьезную антропогенную нагрузку, что в значительной степени ухудшает его экологическое состояние [1, 2].

Целями данной работы являлись изучение распределения микропластика в воде Цимлянского водохранилища, а также оценка качества воды в его акватории в современный период.

### Материалы и методы исследования

Материалами исследования закономерностей распределения микропластика в воде Цимлянского водохранилища послужили данные, собранные в экспедиционном рейсе ЮНЦ РАН на ПТР «Денеб» в сентябре 2023 года. Всего было отобрано 3 пробы в верхней, центральной и нижней части Цимлянского водохранилища, а также 1 проба в его нижнем бьефе, расположенной вблизи ст-цы Романовской. Отбор проб производился с поверхностного горизонта (до 20 см) тралением нейстонной сети LADI, собранной по образцу Манта-трала. Использовалась сеть с размером ячеек 0,30 мм, что обусловило нижнюю границу отобранных частиц микропластика. В связи с тем, что проведение работ приходилось на период активной эвтрофикации водохранилища, пропускная способность используемой сети быстро снижалась из-за повышенного содержания в воде органического материала. Это приводило к потере фильтрационной способности сети, в связи с чем продолжительность траления составляла не более 10 минут. В результате был получен концентрат порядка 200–500 л воды, который хранился до пробоподготовки в стеклянной таре.

Лабораторный анализ проводился по модифицированному методу NOAA, состоящему из нескольких последовательных этапов, конечной целью которых является отделение микропластиковых частиц от прочих взвешенных составляющих, попавших в пробу. [3]. На первом этапе производится фильтрация концентрата через мелкаячеистую сеть (100 мкм) и вываривается при 75°C в перексиде водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) с добавлением сульфата железа (FeSO<sub>4</sub>). Количество циклов данной обработки про-

порционально содержанию органических веществ. На следующем этапе полученная проба повторно фильтруется. При обнаружении в ней минеральных компонентов проба подвергается плотностному разделению в растворе хлористого цинка (ZnCl<sub>2</sub>). Далее проба вновь фильтруется, осадок на фильтре тщательно промывается дистиллированной водой и высушивается. Затем полученный сухой остаток сортируется под оптическим микроскопом для визуального определения частиц микропластика, изучения их морфологических и морфометрических характеристик, а также подсчета количества. В итоге искомое число микропластиковых частиц (количество в штуках) пересчитывалось в их концентрацию в объеме отобранной воды (шт./м<sup>3</sup>). Завершающим этапом исследования является идентификация состава частиц с применением Фурье-ИК-спектроскопии и рамановской спектроскопии.

Далее по полученным данным о химическом составе основных типов полимеров рассчитывался Индекс опасности (PHI – Polymer Hazard Index) [4, 5] по формуле:

$$PHI = \sum P_n \times S_n,$$

где PHI – общий индекс опасности полимера, где 1 – наименее опасный, 5 – наиболее опасный; P<sub>n</sub> – процент конкретных типов обнаруженных полимеров, а S<sub>n</sub> – баллы их опасности по классификации [5].

Для проведения более комплексной оценки загрязненности воды Цимлянского водохранилища была также рассмотрена пространственно-временная изменчивость качества воды. Материалами для его оценки послужили режимно-справочные данные Гидрохимического института Росгидромета, в числе которых ГИС «Качество поверхностных вод Российской Федерации» [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

По итогам экспедиционных исследований в акватории Цимлянского водохранилища и лабораторного анализа отобранного материала микропластик был обнаружен во всех пробах. Его средняя концентрация по всем станциям наблюдений составила 12 шт./м<sup>3</sup>, в нижней и центральной частях водохранилища – 9 шт./м<sup>3</sup>, перед Волго-Донским каналом – 19 шт./м<sup>3</sup>. Содержание микропластика в нижнем бьефе Цимлянского гидроузла составляло 132 шт./м<sup>3</sup> (рис. 1).

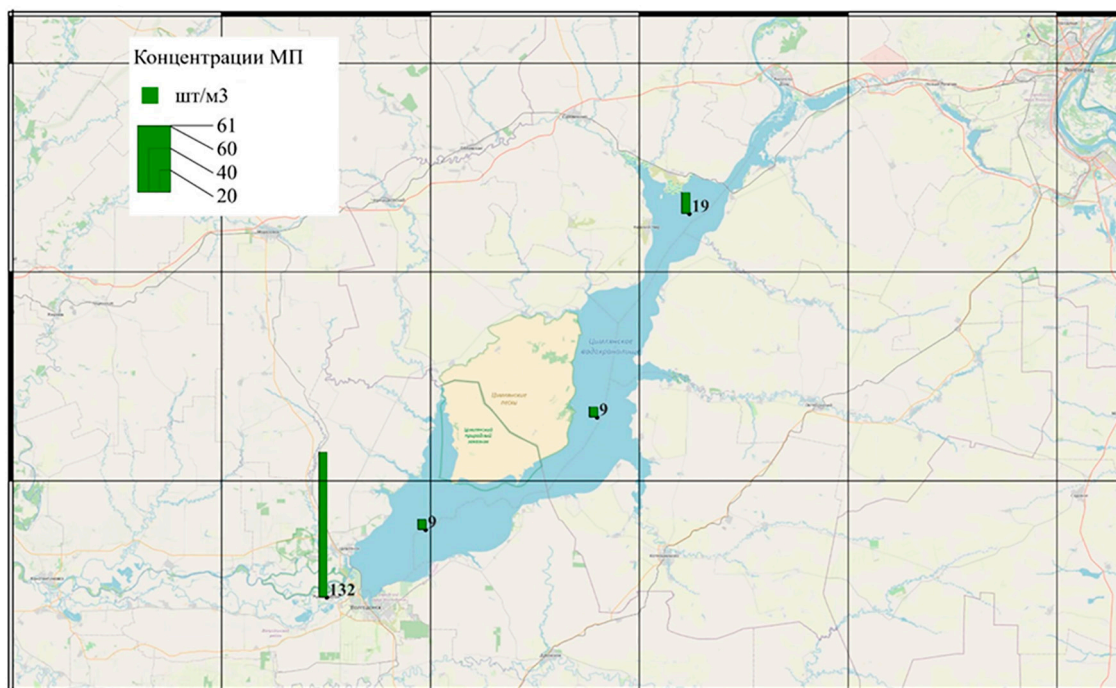


Рис. 1. Количество частиц микропластика на станциях, шт.

Для сравнения: при проведении съемки в Нижнем Дону в ходе аналогичного экспедиционного рейса максимальные концентрации были отмечены на этой же станции, при среднем содержании в реке на несколько порядков выше (94 шт./м<sup>3</sup>). Вероятно, высокое значение концентрации микропластика в этой точке наблюдений обусловлено сбросом вод с придонного слоя водохранилища. К тому же в условиях активного развития фитопланктона в процессе эвтрофирования происходит ускорение седиментации частиц микропластика в результате их обрастания органическим материалом.

В целом отмечалась закономерность более низкого уровня микропластикового загрязнения в водохранилище, чем в реке Дон, что можно связать, в первую очередь, с большей площадью рассеяния частиц, их осаждением и удаленностью основных источников загрязнения, приуроченных к береговой зоне.

По результатам предыдущих экспедиционных исследований [7, 8], проведенных в 2021–2022 гг. и охватывавших сравнительно большую площадь зеркала водохранилища, отмечалось увеличение количества частиц микропластика с продвижением к береговой линии (61 шт./л при среднем 33 шт./л; 18 шт./л при среднем 10 шт./л). Данная съемка проводилась иным (полнообъемным) ме-

тодом, поэтому сравнение количества частиц производить некорректно, что подтверждается разницей в морфометрических параметрах частиц. Однако отмеченные закономерности в пространственном распределении частиц микропластика являются общими.

При определении морфологических и морфометрических характеристик было отмечено преобладания волокон микропластика – 71%, за которыми следовали фрагменты – 18% (рис. 2б). Частицы имели различный окрас, но в наибольшее их количество было прозрачным (рис. 2а). Размер большинства частиц находился в диапазоне от 0,5 до 2,0 мм (рис. 2в).

Используя несколько методов определения состава, а именно рамановскую и ИК-Фурье-спектроскопии, удалось с высокой достоверностью идентифицировать около 70% частиц. Полиэтилен и полиамид являются преобладающими, в меньшем количестве обнаружены полипропилен и полиэтилентерефталат (рис. 2г и 4). С некоторых образцов не удалось снять спектры основного полимера, но обнаружены примеси, например красители (рис. 3).

Согласно расчетам индекса РНІ, большая часть полимеров относилась ко 2-му классу опасности, в единичном количестве представлены образцы более высоких классов опасности. Данный индекс, на наш

взгляд, должен лечь в основу более комплексных оценок опасности, учитывающих весь ряд характеристик частиц, в первую оче-

редь, потому что пластик химически инертен и его взаимодействие с живыми организмами и окружающей средой более сложное.

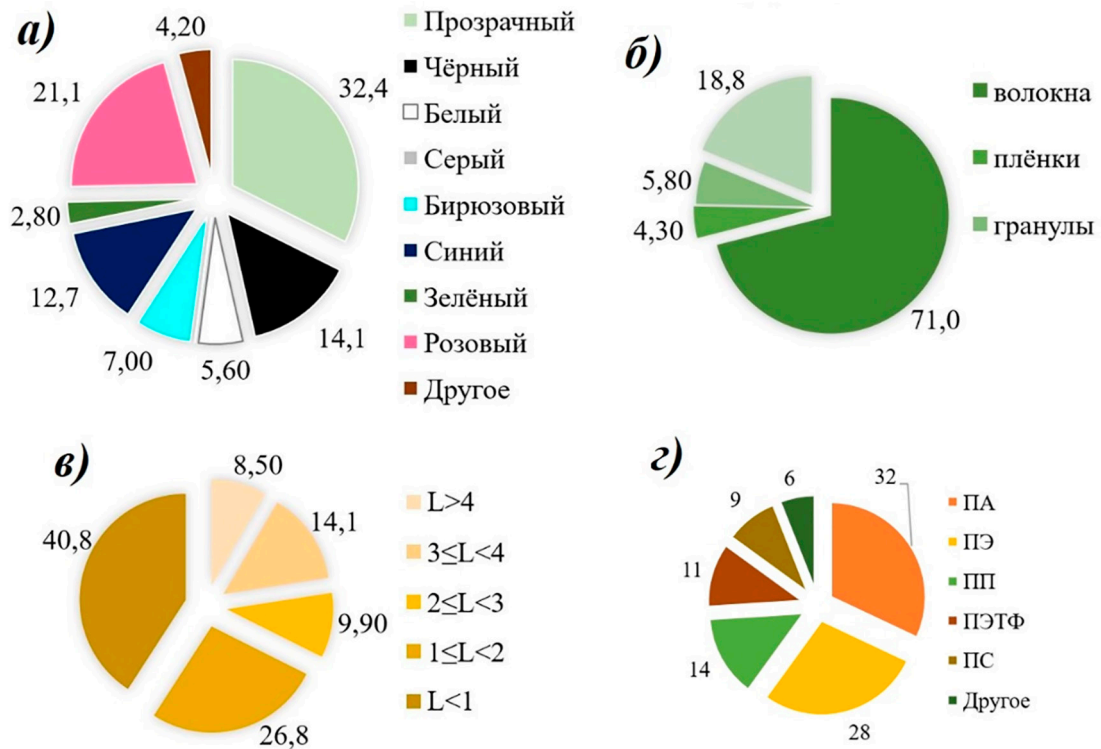


Рис. 2. Некоторые параметры обнаруженных частиц микропластика, %

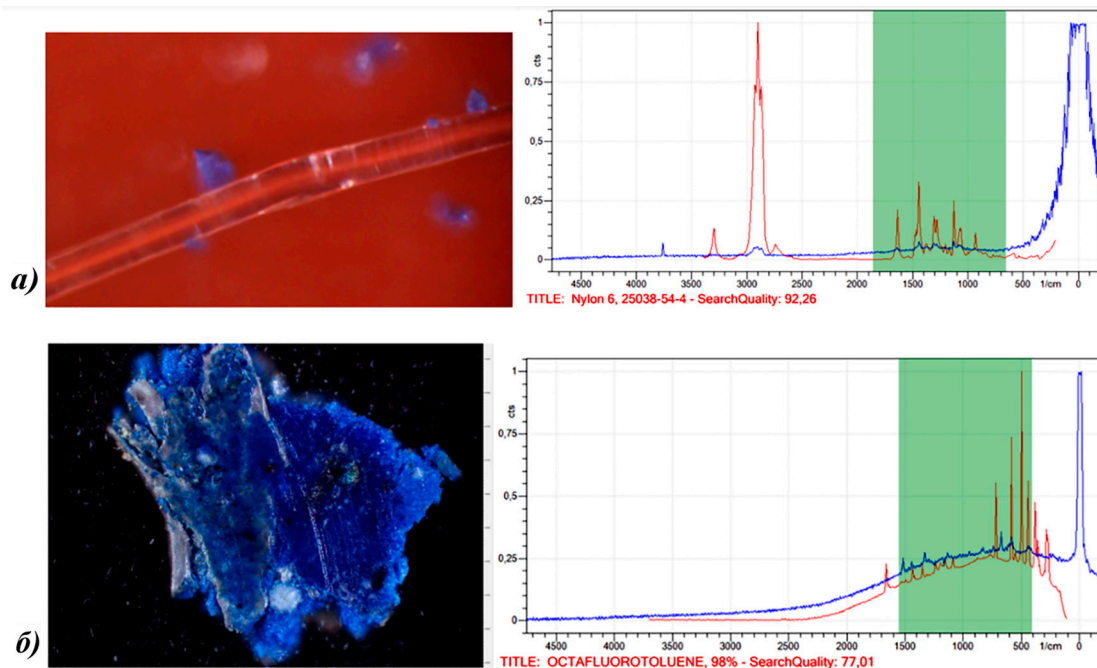


Рис. 3. Рамановские спектры некоторых полимеров и примесей (а – краситель, б – нейлон (полиамид))



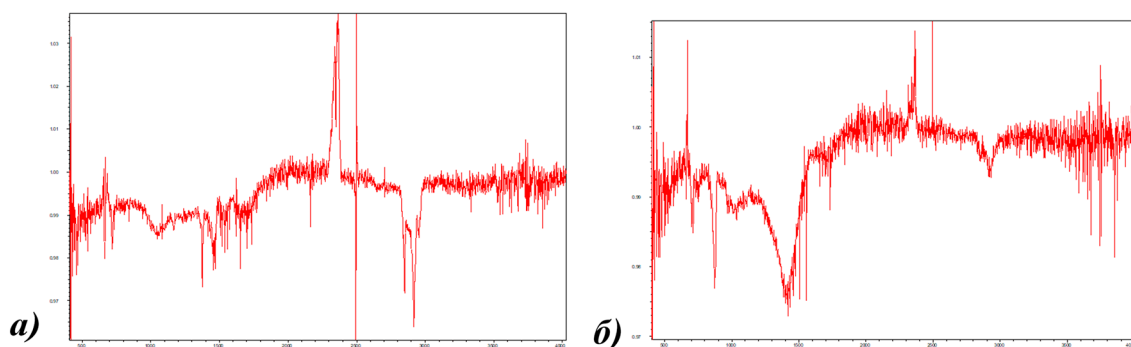


Рис. 4. ИК-спектры основных распространённых полимеров  
(а – полипропилен, б – полиэтилен)

#### Изменчивость качества воды Цимлянского водохранилища

Пункт наблюдений	Период	УКИЗВ	Класс	Степень загрязнения
севернее г. Волгодонск	2000-2004	2,39	3А	Загрязненная
	2005-2009	3,55	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,74	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	2,96	3А	Загрязненная
выше ст-цы Жуковская	2000-2004	2,51	3А	Загрязненная
	2005-2009	3,15	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,60	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	3,16	3Б	Очень загрязненная
ниже х. Красноярский	2000-2004	3,81	3Б	Очень загрязненная
	2005-2009	5,06	4А	Грязная
	2010-2014	4,51	4А	Грязная
	2015-2019	4,04	4А	Грязная
ниже ст-цы Нижний Чир	2000-2004	3,34	3Б	Очень загрязненная
	2005-2009	3,32	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,64	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	3,30	3Б	Очень загрязненная
ниже с. Ложки	2000-2004	2,77	3А	Загрязненная
	2005-2009	5,03	4А	Грязная
	2010-2014	4,83	4А	Грязная
	2015-2019	3,86	3Б	Очень загрязненная

При рассмотрении качества воды Цимлянского водохранилища по пятилетним периодам в нескольких пунктах наблюдений было выявлено, что наибольшая степень ее загрязненности отмечалась в точках отбора проб, расположенных ниже хутора Красноярский и ниже села Ложки (таблица).

Диапазон значений удельного комбинационного индекса загрязненности воды находился в пределах от 2,39 до 5,06. В то же время степень загрязненности воды изменялась от «загрязненной» (класс 3А) до «грязной» (класс 4А). Согласно последним

данным [6], качество воды Цимлянского водохранилища в последние годы сохраняется на уровне 3А – 4А. Какой-либо однозначной закономерности пространственно-временной изменчивости качества воды в Цимлянском водохранилище установить не удалось.

#### Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Во всех точках наблюдений в воде Цимлянского водохранилища были обна-

ружены частицы микропластика, что свидетельствует об устойчивом загрязнении воды водохранилища этими техногенными частицами. В условиях водохранилища может в значительной степени увеличиваться скорость седиментации (осаждения) частиц микропластика.

Качество воды Цимлянского водохранилища в период 2000–2019 гг. находилось на уровне от «загрязненной» до «грязной».

#### Список литературы

1. Лобченко Е.Е. Минина Л.И., Ничипорова И.П., Первышева О.А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 6. С. 74–92.
2. Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути решения / отв. ред. Г.Г. Матишов, Н.И. Голубева, О.В. Степаньян. Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2011. 215 с.
3. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2018. Т. 58, № 1. С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
4. Lithner D., Larsson Å., Dave G. Environmental and health hazard ranking, and assessment of plastic polymers based on chemical composition // Science of The Total Environment. 2011. Vol. 409(18). P. 3309–3324. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038.
5. Xu P., Peng G., Su L., Gao Y., Gao L., Li D. (Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China // Marine Pollution Bulletin. 2018. Vol. 133. P. 647–654. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.020.
6. ГИС: Качество поверхностных вод Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://gidrohim.com/node/61> (дата обращения: 14.04.2024).
7. Анциферова М.А. Мониторинг загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2023. Т. 1, № 8. С. 70–73. DOI: 10.23885/2500-395X-2023-1-8-70-73.
8. Анциферова М.А. Анализ загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища. Особенности идентификации частиц методом Рамановской спектроскопии // Экология 2023 – море и человек: сборник трудов XII Всероссийской научной конференции и молодежной школы-семинара (г. Таганрог, 21–23 сентября 2023 г.). Ростов н/Д; Таганрог: ЮФУ, 2023. С. 219–227.