

Круско Ольга Владимировна,
к.б.н., специалист по экологическому просвещению, ФГБУ «Заповедное Прибайкалье»,
e-mail: ok_vl03@mail.ru

Козлова Светлана Алексеевна,
начальник отдела экологического просвещения, ФГБУ «Заповедное Прибайкалье»,
e-mail: svetsergo1@yandex.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Krusko O.V., Kozlova S.A.

THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR MEDICAL PURPOSES

Аннотация. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19), вызванная коронавирусом 2 острого респираторного синдрома (SARS-CoV-2), изменила жизни многих людей во всем мире. За период пандемии образовались сотни тысяч геномных последовательностей нового коронавируса, сохраняется устойчивая его передача от человека к человеку. Использование одноразовых средств индивидуальной защиты (СИЗ) стало необходимым средством для борьбы с пандемией COVID-19, что привело к беспрецедентному росту числа их производства. В связи с этим большую тревогу вызывает накопление количества использованных СИЗ (как медицинских учреждений, так и бытовых), а также их дальнейшая утилизация. Присутствие в одноразовых СИЗ различных фрагментов пластика и химических веществ может вызвать экотоксикологическое воздействие на представителей водной и наземной среды обитания на разных уровнях биологической организации. Кроме того, СИЗ представляют большую опасность для дальнейшего распространения различных вирусов, в том числе и SARS-CoV-2, поскольку вирусы могут оставаться на разных поверхностях в течении нескольких дней. В сложившейся ситуации очевидна необходимость проведения исследований по оценке экологических рисков и воздействия использованных СИЗ на окружающую среду и здоровье человека.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, СИЗ, медицинские отходы, микропластик, окружающая среда, COVID-19.

Abstract. A new coronavirus infection (COVID-19) caused by acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) has changed the lives of many people around the world. During the pandemic, hundreds of thousands of genomic sequences of the new coronavirus were formed, and its steady transmission from person to person remains. The use of disposable personal protective equipment (PPE) has become necessary to combat the COVID-19 pandemic, which has led to an unprecedented increase in the number of their production. It is of great concern the accumulation of the number of used PPE (medical and household waste), as well as their further disposal. The presence of various fragments of plastic and chemicals in disposable PPE can cause ecotoxicological effects on representatives of aquatic and terrestrial habitats at different levels of biological organization. In addition, PPE is a great danger for the further spread of various viruses, including SARS-CoV-2, since viruses can remain on different surfaces for several days. In the current situation, it is obvious that there is a need to conduct research to assess environmental risks and the impact of used PPE on the environment and human health.

Keywords: personal protective equipment, PPE, medical waste, microplastics, environment, COVID-19.

На протяжении всего своего существования, человечество сталкивается со смертельными инфекционными заболеваниями. В конце 2019 года в г. Ухань, провинции Хубэй (Китайская Народная Республика) вспыхнула новая коронавирусная инфекция (англ. «coronavirus disease 2019» COVID-19), вызванная коронавирусом 2 острого респираторного синдрома (англ. «severe acute respiratory syndrome related coronavirus 2», SARS-CoV-2) [1]. Болезнь быстро обрела масштабы глобальной пандемии и унесла более 7 млн. жизней [2]. По всему миру были приняты различные меры для борьбы с дальнейшим распространением вируса (пребывание дома (изоляция, карантин), ограничение поездок, социальное дистанцирование, мытье рук, дезинфекция поверхностей, использование средств индивидуальной защиты и др.) [3, 4].

Одним из наиболее эффективных способов замедлить распространение пандемии COVID-19 явилось использование средств индивидуальной защиты (СИЗ). По материалам Всемирной Организации Здравоохранения, СИЗ включают в себя одноразовые перчатки, медицинские маски и респираторы для лица (например, N95, FFP2), защитные костюмы, халаты [5]. Каждый месяц во всем мире используется более 129 миллиардов медицинских масок для лица и 65 миллиардов перчаток. Увеличение спроса и широкое использование СИЗ создали много экологических проблем, связанных с их утилизацией, что в свою очередь может привести к долгосрочным негативным последствиям для окружающей среды [3, 6, 7].

Цель исследования – поиск и обобщение имеющейся информации по состоянию загрязнения окружающей среды средствами индивидуальной защиты медицинского назначения.

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы в базах данных PubMed, MedLine, Google Scholar, eLibrary, SpringerLink, Scopus. Поиск проводился по ключевым терминам на русском и английском языках: средства индивидуальной защиты, СИЗ, медицинские отходы, медицинские маски для лица, одноразовые перчатки, микропластик, окружающая среда, COVID-19.

Из-за пандемии COVID-19 во всем мире продолжает образовываться огромное количество отходов, содержащих различные виды СИЗ, что создает дополнительную нагрузку на традиционные методы обращения с твердыми отходами. Средства индивидуальной защиты, такие как медицинские маски и перчатки представляют собой потенциально инфекционный мусор, следовательно, такой мусор требует особого с ним обращения. В условиях медицинских учреждений к использованным СИЗ применяются наиболее строгие инструкции по утилизации. Медицинские отходы подвергаются сначала обеззараживанию различными химическими или физическими способами, а затем либо сжигаются, либо размещаются на специальных полигонах [4]. Основная проблема переработки СИЗ медицинского назначения заключается в их повсеместном использовании на бытовом уровне. Системы обращения с

медицинскими отходами не связаны с системами обращения с твердыми коммунальными отходами. В результате потенциально зараженные СИЗ населения оказываются на свалках с бытовым мусором или выброшенными в общественных местах, откуда могут попасть в различные природные экосистемы и нанести непоправимый ущерб [7, 8, 9].

Неправильное управление обращением СИЗ во время пандемии COVID-19 привело к росту загрязнения пластмассовыми отходами по всему миру. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют об увеличении мусора, содержащего различные виды СИЗ в урбанизированных и естественных средах различных стран мира: Марокко, Канада, Бразилия, Аргентина, Египет, Чили, Перу, Индонезия, Бангладеш, Иран, Филиппины и др., при этом преобладающим видом СИЗ являются одноразовые маски для лица [3, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Тем не менее, исследований, оценивающих и характеризующих этот тип загрязнения окружающей среды в настоящее время все еще очень мало, а в Российской Федерации подобные исследования и вовсе отсутствуют.

Использование СИЗ на основе синтетических материалов (полипропилен, полиуретан и полиакрилонитрил в масках, а также латекс, винил, полиэтилен и нитрил в перчатках) представляет серьезную экологическую проблему загрязнения окружающей среды не только в виде твердых отходов, но и в виде образовавшихся в результате их фрагментации пластиковых частиц [12, 16]. В зависимости от размера эти пластиковые частицы классифицируются как мезо-, микро- и нанопластики. Мезопластики представляют собой небольшие фрагменты размером от 5 до 25 мм, микропластики (МП) имеют размер менее 5 мм, нанопластики (НП) определяются как частицы размером 1 нм – 1 мкм [17].

Пластиковые СИЗ не поддаются биологическому разложению и могут оставаться в окружающей среде годами, представляя большую опасность для представителей как водной, так и наземной среды обитания. Количество таких отходов значительно увеличилось во время пандемии [12]. По подсчетам количество масок для лица, которые попали в мировой океан в 2020 году, оценивается в 1,56 миллиарда, что безусловно оказывает пагубное воздействие на морскую флору и фауну [13, 18].

Во всем мире насчитывается все больше случаев, когда представители дикой природы запутываются в одноразовых масках для лица. Запутывание животных может привести к немедленной смерти в результате обездвиживания, удушья или утопления. Например, такая причина смерти была установлена у американского странствующего дрозда. Другой зарегистрированный смертельный случай был связан с проглатыванием маски магеллановым пингином на побережье Бразилии. Одноразовая маска для лица и другие средства индивидуальной защиты были найдены в гнезде обыкновенной лысухи в Нидерландах. Присутствие таких предметов в птичьих гнездах может в последствии привести к запутыванию или проглатыванию их птицами.

Аналогичным образом, утилизируемые населением СИЗ оказывает негативное воздействие на животных, которые питаются на свалках. В Испании обнаружено значительное количество пластиковых отходов в кишечнике белых аистов и зимующих видов чаек [10, 19].

Было показано, что предметы СИЗ могут непосредственно воздействовать на водные организмы (запутывание, заглатывание), выделять вторичные загрязняющие вещества, нарушать стабильность морских экосистем путем распространения чужеродных видов микроорганизмов. Например, было замечено появление колонии красных водорослей на одноразовых масках. Это наблюдение позволяет предположить, что предметы СИЗ могут быть искусственным субстратом для пассивного переноса различных видов флоры и фауны между экосистемами [12].

Средства индивидуальной защиты на основе пластика подвержены химическому и физическому разложению в результате физико-химических (ультрафиолетовое излучение, ветер, волны, соленость воды и др.) и биохимических (ферментативная активность) процессов, приводящих к фрагментации полимерной матрицы. Разложение масок в водной среде происходит гораздо быстрее чем в наземной [3]. Было продемонстрировано, что одна медицинская маска, подвергнутая 180-часовому облучению ультрафиолетовым светом и интенсивному перемешиванию в искусственной морской воде, может высвобождать до 173000 микроволокон в день. Аналогичные процессы могут происходить в естественной морской среде [20]. В процессе разложения пластиковых полимеров могут выделяться токсичные химические вещества, содержащиеся в их составе в качестве добавки, такие как фталаты, оловоорганические соединения, нонилфенолы, полибромированные дифениловые эфиры и триклозан. Кроме того, пластмассовые фрагменты могут адсорбировать загрязняющие вещества (органические соединения, тяжелые металлы, различные патогены) и действовать как их переносчики [21, 22, 23]. Учитывая небольшой размер и биодоступность для различных организмов, МП и НП могут вызывать различные токсические эффекты, последствия которых могут распространяться на разных трофических уровнях, включая людей. Учеными были обнаружены фрагменты микропластика от СИЗ более чем у 20% морских ракообразных, в желудках разных видов рыб, а также нескольких видов морских птиц [24, 25, 26].

Негативное влияние МП было оценено среди представителей кольчатых червей, двустворчатых моллюсков, ракообразных, которое вызывает снижение пищевой активности, роста и массы тела, репродуктивной способности и эмбрионального развития, способствует увеличению деформаций, индуцирует воспалительные процессы. Неблагоприятное воздействие МП часто связано с образованием активных форм кислорода и последующим развитием окислительного стресса [20, 27].

Нано- и микропластики могут легко подниматься с поверхности прибрежных зон ветровыми потоками и уноситься в атмосферу. Большую опасность для организма человека, представляет МП, поступающий не только с пищей, но и через вдыхаемый воздух [3, 16, 22]. В проведенных исследованиях, сообщается о накоплении МП в верхних дыхательных путях человека (нос, рот и горло). Эксперимент, проведенный на мышах, демонстрирует, что частицы полистирола способны накапливаться в тканях легких мышей, а альвеолярные клетки могут поглощать МП, что вызывает сильное воспаление и апоптоз. Кроме того, сообщается, что частицы МП могут перемещаться из материнских легких через плаценту в ткани плода, соответственно снижая его вес и ограничивая его рост [28].

Большое значение в настоящее время также приобретает МП как ниша для развивающихся микробных биопленок [16]. Исследователи также показали, что микропластики могут влиять на передачу генов устойчивости к антибиотикам между различными бактериями [10, 29]. СИЗ во внешней среде могут быть колонизированы различными видами патогенов. Отечественные ученые в ходе эксперимента продемонстрировали, что токсигенные вибрионы *V. Cholerae* колонизировали медицинскую маску на основе полипропилена и при воздействии низких температур сохранили свою жизнеспособность [30].

Использованные потенциально опасные медицинские СИЗ могут стать причиной вспышки различных заболеваний. Доказано, что различные вирусы могут оставаться на их поверхности в течение нескольких дней, в том числе и вирус SARS-CoV-2 [31]. Существуют опасения по поводу плохого управления сточными водами, в следствие чего в естественные водные системы могут попасть потенциально зараженные СИЗ. Превращаясь в фомиты (объекты, переносящие инфекцию) СИЗ могут быть объектом зоонозной передачи. Было установлено, что многие виды китов, дельфинов и тюленей, а также выдры, по прогнозам, восприимчивы к заражению вирусом SARS-CoV-2. Кроме того, существуют некоторые предположения о способности диких и домашних животных быть зоонозными переносчиками коронавирусов. Таким образом, выброшенные СИЗ представляют большую опасность для дальнейшего распространения различных вирусов. Потенциально зараженные СИЗ представляют особую опасность для сотрудников коммунальных служб, занимающихся транспортировкой и ручной сортировкой отходов [22, 32].

За время пандемии COVID-19 из инфицированных (медицинские организации) и неинфицированных (общественные мусорные баки) источников образовался большой объем медицинских отходов, содержащих различные виды средств индивидуальной защиты. В этой ситуации наиболее важным аспектом является рациональное обращение с этими медицинскими отходами, что может уменьшить неожиданные последствия для здоровья как людей, так и состояния окружающей среды. Во многих странах были разработаны и внедрены

рекомендации по обращению с этими потенциально инфицированными отходами, такие как классификация (отходы медицинских организаций или бытовые отходы), отдельный сбор, надлежащая дезинфекция зоны временного хранения и транспортных средств, перевозящих отходы, высокотемпературные методы дезинфекции и утилизации [12, 19, 21].

В настоящее время одним из основных методов утилизации медицинских отходов является инсинерация (сжигание). Оно эффективно разрушает многие вирусы при высоких температурах, однако существует много недостатков, такие как выброс различных токсических веществ в окружающую среду (выделение в процессе горения диоксинов, ртути, тяжелых металлов и других веществ). Это представляет собой серьезную проблему, связанную с развитием различных заболеваний, в том числе онкологических и репродуктивных, заболеваний иммунной и нервной систем. Кроме того, открытое сжигание пластика, как показано на незаконных свалках, может привести к образованию новых типов пластиковых загрязнителей, таких как пиропластики и пластигломераты [12, 19].

Примечательно, что синтетические компоненты СИЗ (например, пропилен) производятся из невозобновляемых ископаемых ресурсов, включая сырую нефть или сланцевый газ. В этой связи рассматриваются методы термохимического процесса вторичной переработки, в частности процесс пиролиза, продукты которого можно использовать как топливо или сырье в нефтехимических процессах производства возобновляемых видов топлива и других химических веществ. Пиролиз - это быстрый термохимический процесс, при котором разложение отходов происходит при полном отсутствии или ограниченном поступлении кислорода при определенных температурах (300-650 °C) в течение определенного времени. Эти условия способствуют расщеплению сложных углеводородных соединений на более мелкие молекулы. Путем пиролиза пластиковые отходы перерабатывают в синтетические газы и в твердое и жидкое топливо. Полученные в процессе продукты имеют высокую коммерческую ценность, а также могут служить альтернативной энергетической заменой существующему ископаемому топливу [19, 33].

Перспективной технологией является плазменный пиролиз - это высокотемпературное воздействие (1300-1700 °C) с полным разложением медицинских отходов. Принцип плазменного пиролиза заключается в термическом разложении с неполным окислением под действием водяного пара, кислорода и давления. Преимущества этого метода включают полное и безопасное уничтожение отходов, выработка полезной продукции, отсутствие токсичных выбросов. Однако также есть и ряд недостатков, а именно: высокие потребление электроэнергии и эксплуатационные расходы [34].

Другой альтернативой предотвращению образования отходов из синтетических пластмасс является производство разлагаемых пластмасс. Пластмассы на биологической основе или биоразлагаемые пластмассы широко

изучаются на предмет их экологически чистых свойств, биосовместимости и формирования композиционных материалов. В нескольких исследованиях были разработаны нанопористые фильтры N95 на основе разлагаемых пластмасс, таких как полимолочная кислота и полибутилен сукцинат. Полимолочная кислота – это полиэфир, изготовленный из возобновляемых природных ресурсов (кукуруза, пшеница), может быть использована для 3D-печати защитных масок для лица с использованием технологии моделирования методом наплавленного осаждения. Хотя некоторые одноразовые маски на полностью биологической основе уже имеются в продаже, доступный рынок для этого типа продукции все еще очень ограничен [35].

Таким образом, пандемия COVID-19 стала поводом к использованию СИЗ на постоянной основе. Более того, многие люди промышленно-развитых стран используют защитные маски для лица, чтобы защитить свое здоровье не только от различных вирусов, но и от высоких концентраций различных твердых частиц воздуха. Интенсивное использование и неправильная утилизация использованных средств индивидуальной защиты создали серьезную экологическую проблему. Тысячи тонн одноразовых пластиковых СИЗ попадают в естественную среду по всему миру, где они представляют большую угрозу для окружающей среды, водных и наземных организмов различных таксонов. У этой сложной проблемы нет простых решений, здесь требуется сотрудничество между естествоиспытателями, социологами, политиками и другими специалистами как на национальном, так и на международном уровнях. Однако первое что мы можем сделать, это попытаться помешать прогрессированию данной ситуации с помощью просветительских кампаний с участием широкой общественности, научных исследователей и правительственных организаций с целью улучшения системы обращения с отходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новикова, Е.А.** Ретроспектива международных серологических исследований по формированию и динамике гуморального иммунного ответа к SARS-CoV-2: от 2020 к 2021 / Е.А. Новикова, А.Г. Петрова, Е.В. Москалева, А.С. Ваняркина, Л.В. Рычкова // *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. – 2021. – Т. 6, вып. 2. – С. 47–57.
2. Covid19.who.int [Internet]. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. URL: <https://covid19.who.int/#> (дата обращения 15.03.24).
3. **Akhbarizadeh, R.** Abandoned Covid-19 personal protective equipment along the Bushehr shores, the Persian Gulf: An emerging source of secondary microplastics in coastlines / R. Akhbarizadeh, S. Dobaradaran, I. Nabipour, M. Tangestani, D. Abedi, F. Javanfekr // *Mar Pollut Bull.* – 2021. Vol. 168. – P. 1–8.

4. **Rhee, S.W.** Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea / S.W. Rhee // Waste Manag Res. – 2020. Vol. 38. N 8. – P. 820–824.
5. WHO. Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance. – 2020. – P. 1–7.
6. Cordova, M.R. Unprecedented plastic-made personal protective equipment (PPE) debris in river outlets into Jakarta Bay during COVID-19 pandemic / M.R. Cordova, I.S. Nurhati, E. Riani, Nurhasanah, M.Y. Iswari // Chemosphere. – 2021. Vol. 268. – P. 1–7.
7. **Ammendolia, J.** An emerging source of plastic pollution: Environmental presence of plastic personal protective equipment (PPE) debris related to COVID-19 in a metropolitan city / J. Ammendolia, J. Saturno, A.L. Brooks, S. Jacobs, J.R. Jambeck // Environ Pollut. – 2021. Vol. 269. – P. 1–10.
8. **Пашинин, В.А.** Особенности утилизации средств индивидуальной защиты в условиях коронавирусной инфекции / В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, И.Л. Садовский, А.Ф. Хоруженко, А.С. Новицкая // Технологии гражданской безопасности. – 2020. Т. 17, вып. 4 (66). – С. 24–29.
9. **Донченко, В.К.** Потенциально инфицированные SARS-CoV-2 отходы средств индивидуальной защиты населения – новый глобальный вызов биологической безопасности / В.К. Донченко, В.А. Сахаров, О.А. Сахарова // Формулы Фармации. – 2021. Т. 3. вып. 2. – С. 72–77.
10. **Patrício Silva, A.L.** Risks of COVID-19 face masks to wildlife: present and future research needs / A.L. Patrício Silva, J.C.Prata, C. Mouneyrac, D. Barcelò, A.C. Duarte, T. Rocha-Santos // Sci. Total Environ. – 2021. Vol. 792. – P. 1–8.
11. **Hatami, T.** Personal protective equipment (PPE) pollution in the Caspian Sea, the largest enclosed inland water body in the world / T. Hatami, M.R.J. Rakib, R. Madadi, G.E. De-la-Torre, A.M. Idris // Sci Total Environ. – 2022. Vol. 824. – P. 1–8.
12. **Rakib, M.R.J.** Personal protective equipment (PPE) pollution driven by the COVID-19 pandemic in Cox's Bazar, the longest natural beach in the world / M.R.J. Rakib, G.E. De-la-Torre, C.I. Pizarro-Ortega, D.C. Dioses-Salinas, S. Al-Nahian // Mar Pollut Bull. – 2021. Vol. 169. – P. 1–7.
13. **Sajorne, R.E.** Occurrence of COVID-19 personal protective equipment (PPE) litters along the eastern coast of Palawan Island, Philippines / R.E. Sajorne, G.D.B. Cayabo, J.R.V. Madarcos, K.G. Madarcos, D.M.Jr. Omar, L.B. Ardines // Mar Pollut Bull. – 2022. Vol. 182. – P. 1–8.
14. **Aragaw, T.A.** Personal protective equipment (PPE) pollution driven by the COVID-19 pandemic along the shoreline of Lake Tana, Bahir Dar, Ethiopia / T.A. Aragaw, G.E. De-la-Torre, A.A. Teshager // Sci Total Environ. – 2022. Vol. 820. – P. 1–9.
15. **Hassan, I.A.** of the marine environment in Egypt and Saudi Arabia with personal protective equipment during COVID-19 pandemic: A short focus / I.A.

Hassan, A. Younis, M.A. Al Ghamdi, M. Almazroui, J.M. Basahi, M.M. El-Sheekh // *Sci Total Environ.* – 2022. Vol. 810. P. – 1–8.

16. **Aragaw, T.A.** Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario / T.A. Aragaw // *Mar Pollut Bull.* – 2020. Vol. 159. – P. 1–7.

17. **Ardusso, M.** COVID-19 pandemic repercussions on plastic and antiviral polymeric textile causing pollution on beaches and coasts of South America / M. Arduoso, A.D. Forero-López, N.S. Buzzi, C.V. Spetter, M.D. Fernández-Severini // *Sci Total Environ.* – 2021. Vol. 763. – P. 1–12.

18. **Kannan, G.** Personal protective equipment (PPE) pollution driven by COVID-19 pandemic in Marina Beach, the longest urban beach in Asia: Abundance, distribution, and analytical characterization / G. Kannan, B. Mghili, G.E. De-la-Torre, P. Kolandhasamy, M. Machendiranathan, M.V. Rajeswari, // *Mar Pollut Bull.* – 2023. Vol. 186. – P. 1–12.

19. **Dharmaraj, S.** Pyrolysis: An effective technique for degradation of COVID-19 medical wastes / S. Dharmaraj, V. Ashokkumar, R. Pandiyan, Halimatul H.S. Munawaroh, K.W. Chew // *Chemosphere.* – 2021. Vol. 275. – P. 1–20.

20. **Saliu, F.** The release process of microfibers: from surgical face masks into the marine environment / F. Saliu, M. Veronelli, C. Raguso, D. Barana, P. Galli, M. Lasagni // *Environ.* – 2021. Vol. 4. – P. 1–6.

21. **Thiel, M.** COVID lessons from the global south – face masks invading tourist beaches and recommendations for the outdoor seasons / M. Thiel, D. de Veer, N.L. Espinoza-Fuenzalida, C. Espinoza, C. Gallardo, I.A. Hinojosa // *Sci. Total Environ.* – 2021. Vol. 786. – P. 1–10.

22. **Ben-Haddad, M.** Personal protective equipment (PPE) pollution associated with the COVID-19 pandemic along the coastline of Agadir, Morocco / M. Ben-Haddad, G.E. De-la-Torre, M.R. Abelouah, S. Hajji, A.A. Alla // *Sci. Total Environ.* – 2021. Vol. 798. – P. 1–9.

23. **Onyena, A.P.** Governance strategies for mitigating microplastic pollution in the marine environment: a review / A.P. Onyena, D.C. Aniche, B.O. Ogbolu, M.R.J. Rakib, J. Uddin, T.R. Walker // *Microplastics.* – 2022. Vol. 1. N 1. – P. 15–46.

24. **Ластовина, Т.А.** Загрязнение микропластиком природных водоемов: концентрации, риски и методы исследований / Т.А. Ластовина, С.С. Галушка, Е.Р. Бескопильный, А.В. Клещенков, Т.Б. Филатова, П.С. Пляка, и др. // *Труды Южного научного центра Российской академии наук.* – 2020. Т. 8. – С. 237–255.

25. **Wang, W.** ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review / W. Wang, H. Gao, S. Jin, R. Li, G. Na // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2019. Vol. 173. P. –110–117.

26. **Ray, S.S.** Microplastics waste in environment: A perspective on recycling issues from PPE kits and face masks during the COVID-19 pandemic / S.S. Ray, H.K.

Lee, D.T.T. Huyen, S.S. Chen, Y.N. Kwon // *Environ Technol Innov.* – 2022. Vol. 26. – P. 1–12.

27. **Sun, J.** Release of microplastics from discarded surgical masks and their adverse impacts on the marine copepod *Tigriopus japonicas* / J. Sun, S. Yang, G.-J. Zhou, K. Zhang, Y. Lu, Q. Jin, et al. // *Environ Sci. Technol. Lett.* – 2021. – P. 1065–1070.

28. **Li, H.** of microplastics in domestic and fetal pigs' lung tissue in natural environment: A preliminary study / H. Li, Z. Yang, F. Jiang, L. Li, Y. Li, M. Zhang et al. // *Environ Res.* – 2023. Vol. 216. – P. 1–15.

29. **Zhou, S.Y.** Discarded masks as hotspots of antibiotic resistance genes during COVID-19 pandemic / S.Y. Zhou, C. Lin, K. Yang, L.Y. Yang, X.R. Yang, F.Y. Huang, et al. // *J Hazard Mater.* – 2022. Vol. 425. – P. 1–10.

30. **Водопьянов, С.О.** Медицинская маска во внешней среде как возможный объект колонизации *V. Cholerae* / С.О. Водопьянов, О.В. Бородина, И.П. Олейников, С.В. Титова, Е.А. Меньшикова, Н.А. Селянская // *Национальные приоритеты России.* – 2021. № 3, вып. 42. – С. 331–333.

31. **Alfonso, M.B.** Assessing threats, regulations, and strategies to abate plastic pollution in LAC beaches during COVID-19 pandemic / M.B. Alfonso, A.H. Arias, M.C. Menéndez, A.C. Ronda, A. Harte, M.C. Piccolo, et al. // *Ocean Coast.* – 2021. Vol. 208. – P. 1–8.

32. **Mathavarajah, S.** Pandemic danger to the deep: The risk of marine mammals contracting SARS-CoV-2 from wastewater / S. Mathavarajah, A.K. Stoddart, G.A. Gagnon, G. Dellaire // *Sci Total Environ.* – 2021. Vol. 760. – P. 1–9.

33. **Zhao, X.** Energy and environmental sustainability of waste personal protective equipment (PPE) treatment under COVID-19 / X. Zhao, J.J. Klemeš, Y. Fengqi // *Renew Sustain Energy Rev.* – 2022. Vol. 153. – P. 1–15.

34. **Артемов, А.В.** Плазменная переработка медицинских отходов / А.В. Артемов, А.В. Переславцев, С.А. Воцинин, С.С. Тресвятский, С.В. Коробцев // *Военно-медицинский журнал.* – 2021. Т. 342, вып. 4. – С. 59–65.

35. **Vaňková, E.** Polylactic acid as a suitable material for 3D printing of protective masks in times of COVID-19 pandemic / E. Vaňková, P. Kašparová, J. Khun, A. Machková, J. Julák, M. Sláma, et al. // *PeerJ.* – 2020. – P. 1–20.