

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева»**

**Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр
гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере
защиты прав потребителей и благополучия человека**

А. Назаренко

На правах рукописи

Назаренко Андрей Константинович

**Научное обоснование подходов к выявлению и регулированию химических
веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика**

1.5.15. Экология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,

доктор химических наук, профессор

Тарасова Наталия Павловна

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор

Хамидулина Халидя Хизбулаевна

Москва – 2026

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Современное состояние проблемы безопасности химических веществ в составе пластика и подходы к их регулированию (литературный обзор) ...	11
1.1. Загрязнение пластиком окружающей среды как глобальная проблема.....	11
1.2. Химические вещества в составе пластика и их функциональное назначение	15
1.3. Применение пластика и миграция химических веществ в пограничные среды	20
1.4. Глобальное соглашение по пластику и регулирование химических веществ	28
1.5. Критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство, и подходы к их регулированию (на примере международных соглашений)	30
Резюме	35
Глава 2. Объекты и методы исследования	38
2.1. Объекты и предмет исследования	38
2.2. Материалы исследования	38
2.3. Методы исследования.....	41
Глава 3. Научное обоснование критериев отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство вследствие негативного воздействия на организм человека и окружающую природную среду	45
3.1. Критерии опасности химических веществ по биологическому действию ...	51
3.2. Экологические критерии: водная токсичность и свойства стойкости, биоаккумуляции и мобильности.....	54
Глава 4. Научное обоснование алгоритма формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика.....	64
4.1. Формирование исходной выборки веществ-кандидатов в перечень веществ, вызывающих беспокойство с учетом применения в пластике	64
4.2. Оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека и окружающей среды.....	64
4.2.1. Оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека	65
4.2.2. Оценка опасности веществ-кандидатов для окружающей среды.....	69
4.3. Вещества в составе пластика, представляющие комбинированную опасность для здоровья человека и окружающей среды	74
Глава 5. Подходы к национальному регулированию опасных для здоровья человека и окружающей среды химических веществ в составе пластика	85

5.1. Общие подходы к национальному регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика.....	85
5.2. Подходы к регулированию соединений свинца	89
5.3. Подходы к регулированию анилина	90
5.4. Подходы к регулированию фталатов	91
5.5. Подходы к регулированию пер- и полифторалкильных соединений (ПФАС)	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
ВЫВОДЫ	98
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	101
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	103
Приложение 1. Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), биоаккумуляции (В), токсичности (Т)»	128
Приложение 2. Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (Р), высокой биоаккумуляции (В)»	129
Приложение 3. Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), мобильности (М), токсичности (Т)»	130
Приложение 4. Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (Р), высокой мобильности (М)»	131
Приложение 5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика» ...	132
Приложение 6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Химические вещества, вызывающие беспокойство в составе пластика»	133
Приложение 7. Письмо о разработке ГОСТ	135

Введение

Актуальность темы. Пластик представляет собой группу материалов, состоящих из высокомолекулярной полимерной матрицы и комплекса химических добавок (пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов, красителей и др.), которые вводятся для придания материалу требуемых свойств [1, 2].

Пластик является одним из наиболее распространенных и широко используемых материалов в современном мире. Так, в 2019 г. мировое производство пластика составило около 460 млн т и при сохранении текущих тенденций может утроиться к 2060 году. Благодаря своей универсальности, экономичности, легкости, прочности и стойкости к внешним воздействиям он применяется в упаковке, производстве потребительских товаров, медицине, строительстве, транспорте, электронике и др. [3, 4]. Однако наряду с очевидными преимуществами стремительный рост объемов производства пластика может привести к значительному загрязнению окружающей среды и, как следствие, к негативному воздействию содержащихся в пластике химических веществ на здоровье человека [3, 5, 6, 7, 8].

Одним из главных свойств пластика является его долговечность, что определяет его широкое использование в различных областях экономики. Однако отходы изделий из пластиковых материалов могут сохраняться в окружающей среде десятилетиями, медленно подвергаясь деградации и накапливаясь в почвах, пресноводных и морских экосистемах [4, 9]. Пластиковые отходы могут быть одним из источников загрязнения химическими веществами, которые способны мигрировать в пограничные среды и воздействовать на человека, флору и фауну [9, 10]. Химические вещества в составе пластика, добавляемые на этапах его производства для улучшения эксплуатационных свойств, относятся к различным химическим классам с широким спектром токсического действия на организмы [1, 6, 10].

Поэтому международное сообщество уделяет большое внимание вопросам химической безопасности пластика. В 2022 году Ассамблея ООН по окружающей среде (ЮНЕА) приняла резолюцию 5/14 о прекращении загрязнения пластиком [8].

В соответствии с этой резолюцией Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) начала разработку международного юридически обязывающего соглашения, направленного на предотвращение и сокращение загрязнения окружающей среды пластиком на всех этапах его жизненного цикла – от проектирования и производства до утилизации [5, 11]. Одним из ключевых вопросов будущего соглашения является управление рисками, связанными с химическими веществами, вызывающими обеспокоенность в составе пластика [5, 11].

Степень разработанности темы. Практика выявления веществ, вызывающих обеспокоенность, и их приоритетного регулирования, включающего запрет, ограничение, широкое информирование, реализуется несколько десятилетий на международном, региональном и национальном уровнях. Примером могут служить Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, Минаматская конвенция по ртути, Регламент Европейского союза № 1907/2006 «Регистрация, оценка, разрешение, ограничение химических веществ» (REACH) [12–17]. Подобный подход был реализован в 2024 году ЮНЕП и группой независимых норвежских ученых. Ими было выявлено, что общее число химических веществ, используемых в пластике или потенциально связанных с ним, превышает 16 000 [18, 19]. Из них около 4 200 веществ (26 %) были отнесены к веществам, вызывающим обеспокоенность для здоровья человека и окружающей среды. Вместе с тем внушительные перечни химических веществ, полученные ЮНЕП и норвежскими учеными из различных источников, сформированы на основе аналогового подхода по принадлежности вещества к определенному классу соединений. Для большинства веществ не представлены индивидуальные токсикологические и экотоксикологические профили. Кроме того, отсутствует информация об уровнях и скоростях миграции из конкретного пластика и т.д.

Таким образом, данные перечни отражают лишь общий характер потенциальной опасности веществ, но не позволяют корректно оценить степень опасности и реальные риски при конкретных сценариях воздействия. Они

выполняют скорее роль справочной базы данных, предназначенной для общего ориентирования, чем полноценного инструмента оценки фактических рисков для здоровья человека и окружающей среды.

Цель работы – научное обоснование подходов к выявлению и оценке опасности химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, для принятия регуляторных решений.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих международных и национальных подходов к оценке опасности и регулированию химических веществ в составе пластика.

2. Научно обосновать критерии отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство вследствие негативного воздействия на организм человека и окружающую природную среду.

3. Научно обосновать алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика.

4. Разработать национальный перечень химических веществ в составе пластика, вызывающих беспокойство.

5. Научно обосновать подходы к национальному регулированию высокоопасных химических веществ в составе пластика.

Научная новизна

1. Научно обоснованы критерии отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство.

2. Впервые научно обоснован алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика.

3. Разработана концепция базы данных химических веществ в составе пластика, опасных для окружающей среды.

4. Научно обоснованы подходы к регулированию (запрещение применения; ограничение количественного содержания; гигиеническое и экологическое нормирование) опасных для здоровья человека и окружающей среды химических веществ в составе пластика.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработан национальный перечень химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, включающий 857 наименований.

2. Разработана база данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика», защищенная свидетельством RU 2025622946 от 10.07.2025 г.

3. Получены патенты на 4 промышленных образца:

3.1. Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (P), биоаккумуляции (B), токсичности (T)», защищенная патентом № RU 148667 от 05.08.2025 г.

3.2. Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (P), мобильности (M), токсичности (T)», защищенная патентом № RU 148258 от 09.07.2025 г.

3.3. Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (P), высокой биоаккумуляции (B)», защищенная патентом № RU 148668 от 05.08.2025 г.

3.4. Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (P), высокой мобильности (M)», защищенная патентом № RU 148669 от 05.08.2025 г.

4. Разработана база данных «Химические вещества, вызывающие беспокойство в составе пластика», защищенная свидетельством RU 2025625939 от 10.12.2025 г.

5. Актуализирован ГОСТ 32424 «Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Основные положения».

6. Определены высокоопасные химические вещества для здоровья человека и окружающей среды (тяжелые металлы, азот-, кислород- и галогенсодержащие органические соединения, пер- и полифторалкильные соединения), приоритетные для регулирования.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являлись химические вещества, используемые при производстве пластика или

присутствующие в пластиковых материалах и изделиях, обладающие опасными свойствами для здоровья человека и (или) окружающей среды.

Предметом исследования являлось научное обоснование критериев, алгоритмов и подходов к выявлению таких веществ, формированию их перечня и обоснованию мер национального регулирования.

Информационную основу исследования составили международные, региональные и национальные нормативно-правовые акты, официальные базы данных, информационные ресурсы, методические документы и научные публикации. Исходный массив веществ формировался с использованием баз данных PlastChem, FCCmigex, LitChem и Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ.

Оценка опасных свойств проводилась на основе материалов Стокгольмской конвенции, МАИР, данных Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ, CLP, ECHA, EPA, EnviChem, PubChem, UBA и др., а также национальных нормативно-методических документов.

Методика исследования предусматривала последовательный анализ источников информации, формирование исходного массива веществ-кандидатов, подтверждение их применения или присутствия в составе пластика, разработку токсикологических и экотоксикологических профилей, оценку опасных свойств для здоровья человека и окружающей среды, формирование итогового перечня, выделение веществ по видам опасности и обоснование подходов к их национальному регулированию.

Положения, выносимые на защиту:

1. Научно обоснованы критерии отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство вследствие негативного воздействия на организм человека и окружающую природную среду на основании анализа существующих международных и национальных подходов к оценке опасности и регулированию химических веществ в составе пластика.

2. Научно обоснован алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, основанный на

последовательном применении критериев подтвержденного использования вещества в составе пластика и оценки его опасных свойств для здоровья человека и окружающей среды.

3. Разработан национальный перечень химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, состоящий из 857 веществ. Среди них 358 канцерогенов, 71 мутаген, 229 репротоксикантов, 181 эндокринный разрушитель; 335 веществ, обладающих острой водной токсичностью, 489 веществ, обладающих хронической водной токсичностью, 41 вещество относится к РВТ, 89 веществ – к vPvB, 37 веществ – к РМТ и 40 веществ – к vPvM.

4. Обоснованы подходы к национальному регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, включающие гигиеническое и экологическое нормирование, запрещение применения и ограничение количественного содержания в пластике.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены на Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2024» (г. Пермь, 14–16 октября 2024 г.); Международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XXIV», посвященной Году научно-технологического развития в Республике Татарстан (г. Казань, 27–28 сентября 2024 г.); Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда» (Республика Беларусь, г. Минск, 23–24 ноября 2023 г. и 27–28 ноября 2025 г.); Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (г. Новосибирск, 27–28 февраля 2025 г.); Молодежной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экологии и безопасности» (г. Москва, 10 апреля 2025 г.); XLIII Внутренней конференции молодых ученых ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Мытищи, 22 апреля 2025 г.); VI Всероссийской научной конференции молодых ученых «Медико-биологические аспекты химической безопасности» (Ленинградская обл., 3–5 сентября 2025 г.); XVII Всероссийской

научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены» (г. Ставрополь, 21–23 октября 2025 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 14 научных работ, в том числе 6 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных научного цитирования Scopus и Chemical Abstracts, 8 иных публикаций, включая тезисы конференций.

Личный вклад автора. Автором лично выполнены анализ научных, нормативно-правовых, методических и информационных источников, обоснование критериев отнесения химических веществ к вызывающим беспокойство в составе пластика, разработка алгоритмов отнесения веществ к группам PBT, vPvB, PMT и vPvM, формирование перечня из 857 химических веществ, разработка и систематизация токсикологических и экотоксикологических профилей, выделение приоритетных химических групп и обоснование подходов к их национальному регулированию.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и 7 приложений. Работа содержит 10 таблиц, 13 рисунков. Список литературы включает 180 источников.

Глава 1. Современное состояние проблемы безопасности химических веществ в составе пластика и подходы к их регулированию (литературный обзор)

1.1. Загрязнение пластиком окружающей среды как глобальная проблема

Интенсивное развитие полимерной промышленности во второй половине XX века привело к резкому увеличению масштабов производства и широкому распространению пластика в самых различных сферах жизни. Современные материалы на основе синтетических полимеров обладают высокой прочностью, термостойкостью, химической инертностью и низкой себестоимостью, что обуславливает их технологическую универсальность и повсеместное применение. Однако устойчивость пластика к физико-химическим и биологическим воздействиям привела к накоплению значительных объемов пластиковых отходов, слабо поддающихся разложению в естественной среде [6]. Фактически пластик стал одним из наиболее распространенных антропогенных загрязнителей мира: его следы обнаружены повсеместно – от глубочайших впадин Мирового океана до вершин отдаленных гор [20]. В результате проблема пластикового загрязнения приобрела глобальные масштабы и стала серьезной экологической проблемой [21].

Современные прогнозы свидетельствуют, что при сохранении текущих тенденций производство и потребление пластика будут продолжать расти. По оценкам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), ежегодное производство пластика в мире уже превышает 460 млн т, и, по прогнозам, к 2060 году может утроиться по сравнению с 2019 г., превысив 1 млрд т в год (рисунок 1) [3, 22].

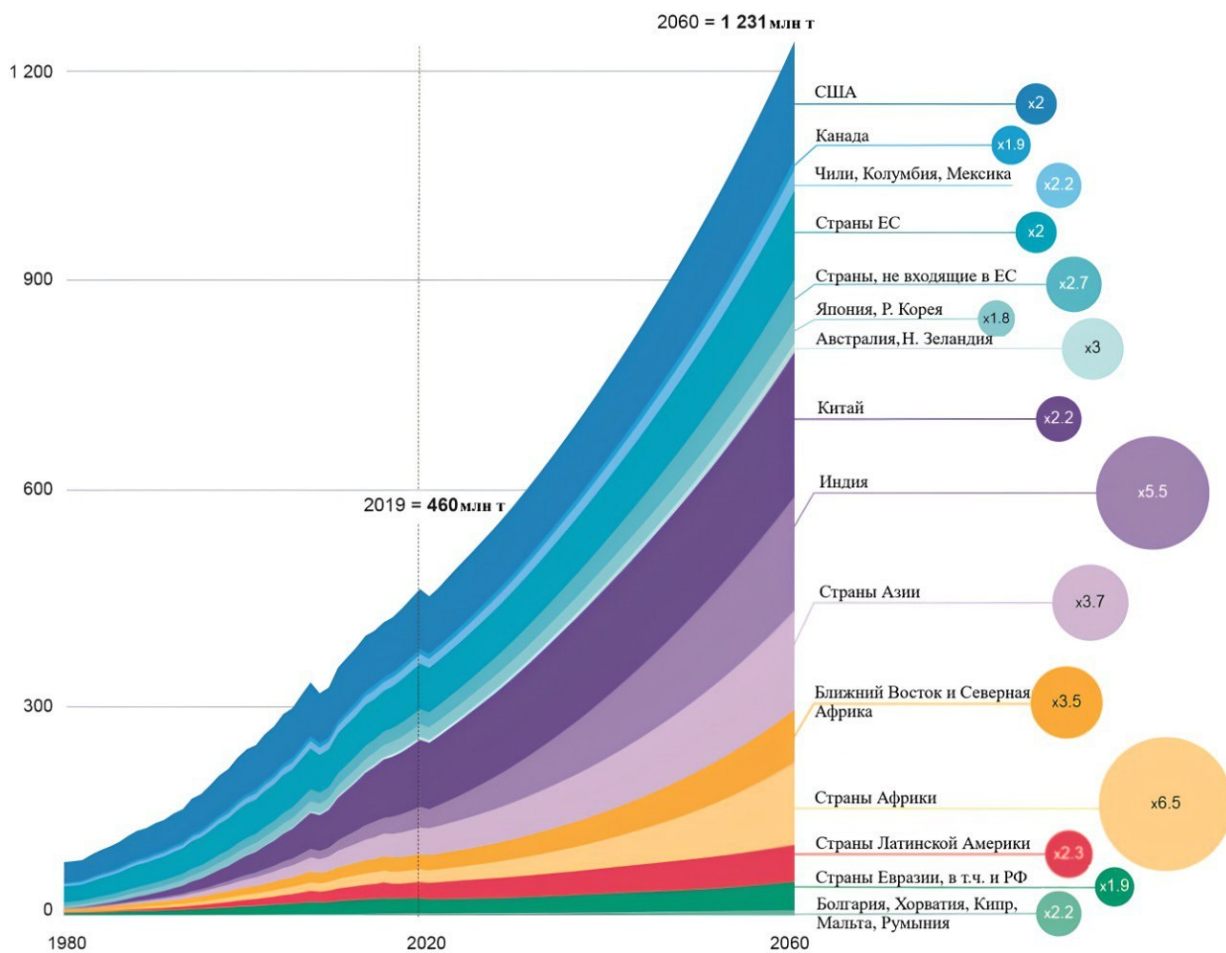


Рисунок 1 – Прогноз производства и потребления пластика по регионам (странам) до 2060 г. [3, 22]

Значительная часть производимого пластика приходится на одноразовую упаковку (около 50 %), товары широкого потребления и текстиль [3, 23]. Системы управления отходами не успевают за растущим потоком: около 9 % пластиковых отходов подвергаются переработке, тогда как 19 % сжигаются, 50 % в основном поступают на полигоны, а до 22 % неконтролируемо поступают в окружающую среду, в том числе в почву, поверхностные воды, формируя огромный объем трудноразлагаемых отходов и связанных с ними химических веществ, способных негативно воздействовать на здоровье человека и состояние окружающей среды (рисунок 2) [22].

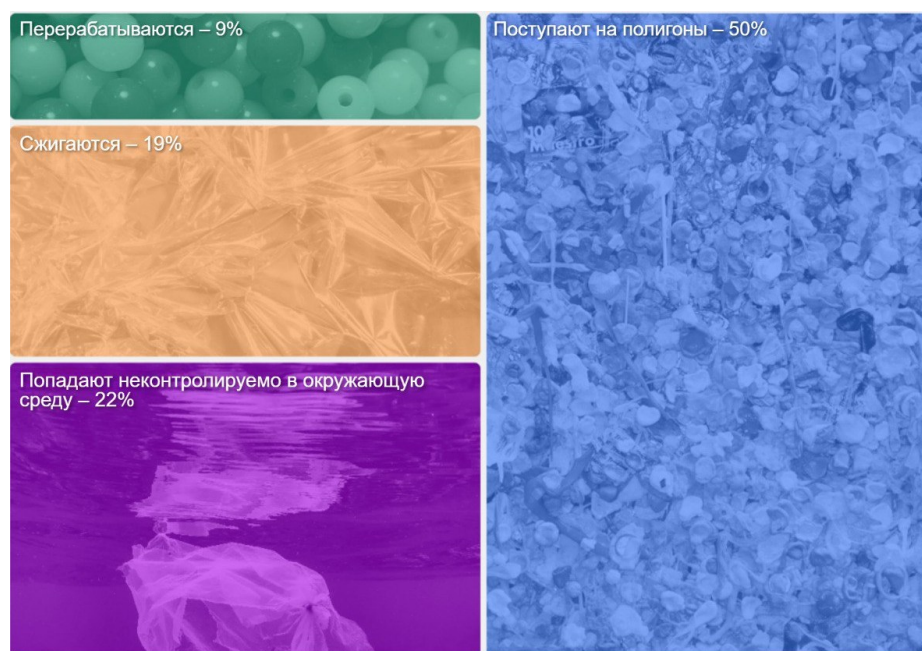


Рисунок 2 – Среднестатистическая судьба 1 кг пластиковых отходов в мире [22]

Значительные запасы отходов пластика уже накоплены в водной среде. По имеющимся оценкам, в настоящее время в морях и океанах скопилось порядка 30 млн т пластикового мусора, а около 109 млн т пластика накоплено в руслах рек [24]. Реки остаются резервуарами, из которых пластиковые отходы поступают в моря и океаны. Даже при существенном сокращении утечек с суши данный процесс будет продолжаться еще десятилетиями.

В процессе физического, химического и биологического разрушения пластиковых изделий образуется микропластик – частицы размером менее 5 мм. В отличие от макропластика, который преимущественно локализуется в зонах накопления и характеризуется ограниченной подвижностью, микропластик обладает высокой миграционной способностью, что обеспечивает его широкое распространение в пресных и морских экосистемах.

Микропластик выявляют в удаленных регионах, включающих Арктику, Антарктику и высокогорные районы, а также в организмах по всей пищевой цепи [6]. Данное загрязнение чрезвычайно устойчиво к удалению: стандартные системы очистки сточных вод частично задерживают микропластик, а нанопластик практически не удаляется традиционными физическими, химическими и биологическими методами фильтрации [25].

Последствия загрязнения пластиком разнообразны и касаются многих сторон жизнедеятельности экосистем. Крупные фрагменты и пластиковый мусор приводят к гибели животных вследствие проглатывания. По данным исследований, потребление пластика или его воздействие зарегистрировано более чем для 1 500 видов диких животных (от морских птиц и черепах до млекопитающих) [6, 26–31]. Накопление пластика в пищеварительном тракте вызывает чувство ложного насыщения и травмы внутренних органов, снижает репродуктивную функцию и повышает смертность организмов. Микропластик способен проникать в ткани и клетки, переноситься с водой и по трофическим цепям, аккумулируясь в организмах (биоаккумуляция) и потенциально передаваясь на высшие трофические уровни (биомагнификация). Вместе с тем со временем из пластиковых материалов могут выщелачиваться химические вещества, введенные на этапе производства, что приводит к образованию сложных многокомпонентных смесей функциональных добавок и продуктов их деградации и трансформации в окружающей среде. Такие смеси способны оказывать комбинированное воздействие на компоненты экосистем, нарушая структуру и функционирование водных и наземных сообществ и снижая экологическую устойчивость природных сред [18].

В отчете 2025 г. Программы ООН по окружающей среде проблема пластикового загрязнения рассматривается не только как вопрос накопления отходов, но и как источник устойчивой химической нагрузки на окружающую среду и здоровье человека. В документе подчеркивается, что пластики содержат широкий спектр химических веществ, включая функциональные добавки и остаточные компоненты, которые способны высвободиться на различных стадиях жизненного цикла продукции и формировать сложные многокомпонентные смеси загрязнителей в окружающей среде [32]. Отдельно отмечается, что сочетание высокой устойчивости пластиковых материалов, их глобального распространения и присутствия химических веществ с опасными свойствами создает долгосрочные риски для водных и наземных экосистем, биоразнообразия и здоровья населения [32].

1.2. Химические вещества в составе пластика и их функциональное назначение

Современные полимерные материалы представляют собой сложные многокомпонентные системы. Основу пластика составляют полимеры, получаемые полимеризацией мономеров, преимущественно производимых из ископаемого сырья. Наиболее распространенными мономерами являются этилен, пропилен, стирол [18, 19, 33].

Помимо мономеров и компонентов технологического процесса (катализаторов, растворителей и пр.) для придания полимеру требуемых эксплуатационных свойств в его состав вводится широкий спектр функциональных веществ, обеспечивающих гибкость, огнестойкость, устойчивость к ультрафиолету, термическую стабильность, прочность и др. [18, 19].

Состав и сочетание функциональных добавок различаются в зависимости от вида полимера, назначения продукции и условий эксплуатации, что обуславливает значительную химическую неоднородность пластиковых материалов и изделий [1, 2, 18, 34–36].

По функциональному назначению химические вещества, используемые в составе пластика, могут быть отнесены к следующим основным группам: пластификаторы, антипирены, антистатика, сшиватели, смазочные вещества, наполнители и модификаторы, красители и пигменты, антиоксиданты, стабилизаторы (включая термо- и светостабилизаторы), биоциды, инициаторы и катализаторы полимеризации, промежуточные продукты и технологические добавки, пенообразователи, растворители и вспомогательные реагенты, мономеры, вещества, придающие запах, регуляторы вязкости и ударопрочности. Отдельную группу составляют непреднамеренно добавленные вещества (НДВ), присутствующие в материалах вследствие технологических примесей, побочных реакций, процессов деградации полимеров или вторичной переработки.

Сферы применения пластиковой продукции определяют пути поступления опасных веществ в организм, время экспозиции, сценарии воздействия, потенциальные группы риска и приоритетные среды воздействия.

Содержание функциональных веществ в пластиках может варьировать от 0,05 % до 70 % массы материала. Так, содержание пластификаторов (например, фталатов) в поливинилхлориде (ПВХ) может достигать до 70 % по массе [37]. Для других типов функциональных веществ обычно требуются меньшие количества: антиоксиданты в полиэтилене, полистироле и АБС-пластиках составляют порядка 0,5–3 %, светостабилизаторы в полиэтилене, полипропилене и ПВХ – 0,1–10 %, а антипирены – от 2 % до 28 % массы материала [37]. В среднем на долю функциональных веществ приходится около 7–8 % массы пластика [4], хотя в отдельных материалах эта доля может быть выше или ниже. По данным исследований, наиболее массово производятся пластификаторы (~28 % от общего объема выпуска всех функциональных веществ), наполнители (~25 %) и антипирены (~13 %), тогда как прочие функциональные вещества (стабилизаторы, пигменты, антистатик, смазывающие добавки, биоциды и др.) в совокупности составляют оставшиеся ~34 % [38]. Иными словами, основная часть добавок используется для пластификации, наполнения и повышения огнестойкости [4, 18].

Объем производства функциональных веществ прямо коррелирует с ростом производства пластика в целом. В 2023 году мировое производство функциональных веществ оценивалось в 27 млн т в год [19, 39]. Это соответствует увеличению выпуска функциональных веществ примерно на 130–280 тыс. т ежегодно. Прогнозы показывают, что к 2060 году объемы производства химических веществ возрастут примерно в 5 раз по сравнению с текущим уровнем [19], следуя за общемировым повышением выпуска полимерной продукции. Ожидается дальнейшее увеличение объемов химических веществ, поступающих в обращение вместе с ростом производства пластика.

По данным технического отчета ЮНЕП, в производстве и использовании пластика применяется более 13 000 различных химических веществ (включая мономеры, функциональные химические вещества, вспомогательные вещества и

т.д.) [33]. Из них не менее 3 200 веществ обладают по крайней мере одним опасным свойством для здоровья человека или окружающей среды [33]. ЮНЕП выделяет десять групп химических веществ, присутствующих в пластиках, которые представляют наибольшую опасность из-за своей высокой токсичности и способности мигрировать из полимера во внешнюю среду [18, 33]. Помимо пер- и полифторалкильных соединений, фталатов, бисфенолов, алкилфенолов и алкилфенолэтоксилатов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), тяжелых металлов, к таким группам ЮНЕП относит антипирены, биоциды, УФ-стабилизаторы, которые являются функциональными добавками, а также НДВ.

К НДВ относятся примеси, побочные продукты и разложившиеся фрагменты, образующиеся в процессе синтеза и переработки пластика и не добавляемые целенаправленно. Примерами могут служить алкилфенолы – продукты распада некоторых антиоксидантов – и олигомеры стирола, образующиеся при полимеризации стирола. Подобные соединения могут обладать опасными свойствами, несмотря на то, что их присутствие в пластике является побочным эффектом производства, а не целевой технологической добавкой.

Масштаб перечня ЮНЕП во многом формируется за счет группового подхода: внутри каждой химической группы изучены отдельные представители, тогда как многие другие вещества включаются по аналогии с ними по признаку принадлежности к классу. При этом для таких соединений чаще всего отсутствуют индивидуальные токсикологические и экотоксикологические профили и данные о миграции и рисках воздействия. Необходимо понимать, что не все 13 000 веществ будут присутствовать и использоваться в полимерных материалах [18].

В 2024 году группой независимых норвежских ученых было выявлено, что общее число химических веществ, используемых в пластике или потенциально связанных с ним, превышает 16 000 [18, 19]. Из них около 4 200 веществ (примерно 26 %) были отнесены к веществам, вызывающим обеспокоенность для здоровья человека и окружающей среды. Критериями отнесения служили свойства, определяющие экологический и токсикологический риск: стойкость в окружающей среде, биоаккумуляция, мобильность и токсичность (канцерогенность,

мутагенность, репротоксичность, избирательная токсичность на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии, воздействие на эндокринную систему, хроническая водная токсичность). Следует отметить, что по критерию «хроническая водная токсичность» в перечень вошли вещества 1–4 классов опасности по Согласованной на глобальном уровне системе классификации и маркировки химической продукции (далее – СГС). Такой подход способствовал значительному расширению списка веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика, за счет малоопасных групп соединений.

Примечательно, что порядка 400 высокоопасных химических веществ обнаруживаются во всех видах пластика, в том числе в изделиях, контактирующих с пищевой продукцией. Фактически любые пластики могут выделять опасные химические вещества в окружающую среду при эксплуатации или утилизации [40–43].

В состав пластика входят не только целевые химические вещества, но и остаточные мономеры, растворители, побочные продукты реакций, стабилизаторы процесса и прочие примеси. По оценкам [19], около 3 500 веществ из общего числа – это мономеры и полимеры, примерно 5 800 – различные целевые функциональные вещества, около 3 500 – вспомогательные вещества (катализаторы, агенты переработки, растворители и пр.), не менее 1 800 – идентифицированные НДВ [19]. Остальные соединения пока трудно отнести к какой-либо категории однозначно, либо же они могут выполнять несколько разных функций. Например, бисфенол А помимо роли мономера для поликарбоната также используется как антиоксидант и как пластификатор в ряде материалов. Подобное функциональное многообразие характерно для многих веществ: по данным того же исследования, свыше 4 000 соединений выполняют в пластиках различные технологические функции [2, 19, 43].

С точки зрения опасности для здоровья человека и окружающей среды вызывает беспокойство то, что значительная часть химических компонентов пластика обладает специфическими и отдаленными эффектами. Например, бромированные антипирены отличаются высокой стабильностью и накапливаются

в пищевых цепях, оказывая эндокринное действие на диких животных; фталатные пластификаторы способны вымываться из пластика и оказывать воздействие на эндокринную и репродуктивную системы организма; некоторые УФ-стабилизаторы (например, производные бензотриазола) обнаруживаются в природных водоемах и токсичны для водной биоты; многие биоциды токсичны для живых организмов и наносят вред экосистемам при высвобождении; тяжелые металлы из пигментов и стабилизаторов (свинец, кадмий и др.) могут загрязнять почвы и воды, вызывая хронические интоксикации [44–50].

По оценкам [19], примерно для 66 % химических соединений из выявленных в пластиках информация о токсичности и экотоксичности представлена в неполном объеме. Иными словами, более десяти тысяч веществ остаются неоцененными с точки зрения рисков для здоровья человека и окружающей среды. Очевидно, что безопасность этих соединений не может быть гарантирована при таком уровне неопределенности. Причины могут быть как объективными (многие вещества являются сложными смесями или плохо изученными соединениями), так и обусловленными непрозрачностью деятельности промышленности: производители полимерных материалов, как правило, не раскрывают полного состава своих рецептур [50]. В результате регуляторам и ученым часто неизвестно, какие именно химические вещества присутствуют в том или ином виде пластика, не говоря уже об их токсикологических и экотоксикологических эффектах.

Дополнительная сложность заключается в том, что на международном уровне действует лишь фрагментарное регулирование химического состава пластика. По оценкам, менее 6 % всех известных веществ, используемых в пластиках, регулируются международными соглашениями (Стокгольмская, Базельская, Минаматская конвенции, Монреальский протокол и др.) [19]. В их число входят главным образом уже известные высокоопасные соединения (например, стойкие органические загрязнители, тяжелые металлы, озоноразрушающие вещества и др.). Фактически в настоящее время существует значительный пробел в глобальном управлении химической безопасностью пластика. Следует отметить, что национальное регулирование охватывает еще

часть соединений; особенно это касается остаточных количеств мономеров, пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов. Однако охват и эффективность надзора существенно различаются по странам.

Таким образом, опасность пластика обусловлена огромным многообразием применяемых соединений и сфер их использования, а также существенным недостатком данных о свойствах значительной части этих веществ. Пластики содержат тысячи компонентов, способных мигрировать и взаимодействовать с окружающей средой. В то же время лишь незначительная доля химических веществ всесторонне изучена и регулируется. Подобная ситуация затрудняет оценку рисков и принятие обоснованных регуляторных решений в области химической безопасности. Поэтому международное сообщество сходится во мнении о необходимости совершенствовать подходы к обращению с пластиками. Научные результаты настоятельно указывают на необходимость внедрения принципов предосторожности, повышения прозрачности в раскрытии состава пластика и сокращения числа опасных химических веществ в производстве материалов. Только комплексные меры, учитывающие весь жизненный цикл пластика и его химические компоненты, позволят снизить негативное воздействие пластика на здоровье человека и окружающую среду и перейти к более безопасной и устойчивой экономике замкнутого цикла пластиковых материалов [18].

1.3. Применение пластика и миграция химических веществ в пограничные среды

Пластики являются широко распространенными материалами в мире. Они применяются практически во всех секторах экономики: в упаковке (38 %), строительстве и инженерных сетях (21 %), автомобилестроении (7 %), электротехнике и электронике (6 %) и других областях (28 %), в том числе текстильной промышленности, сельском хозяйстве (пленки, системы орошения), медицине, производстве потребительских товаров и т.д. (рисунок 3). Такая отраслевая широта определяет разнообразие химического состава изделий и

контактных сред – от воздуха и пыли помещений до почв и водных экосистем [1, 51].

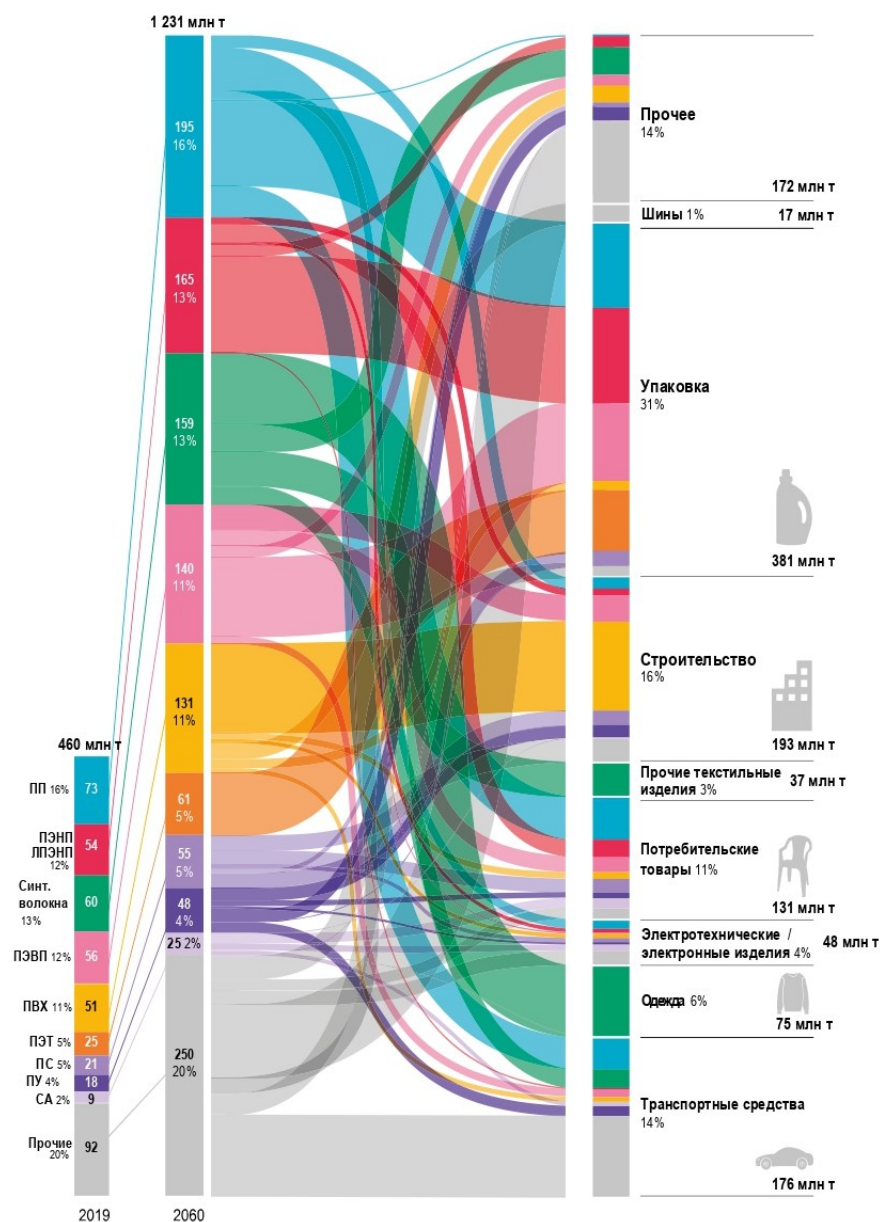


Рисунок 3 – Распределение потребления пластика по областям применения [1, 51]

В соответствии с прогнозируемой структурой использования полимеров по направлениям применения (рисунок 4) наибольшая доля объема применения приходится на упаковку (около 31 % общего объема применения), что связано с высокой потребностью в одноразовых и краткосрочно используемых изделиях. Существенную часть потребления формирует строительный сектор (порядка 16 %), включающий инженерные сети, изоляционные и отделочные материалы с длительным сроком службы. Значимыми направлениями остаются транспортные средства (около 14 %), потребительские товары (11 %) и текстильная продукция, включая одежду и технические текстильные материалы (6 %). Доля электрического и электронного оборудования составляет порядка 4 %, при этом данная категория характеризуется использованием полимеров с повышенной функциональной нагрузкой и сложным составом добавок. На прочие области применения приходится около 18 % объемов использования полимерных материалов.

Распределение полимеров по секторам применения отражает различия в сроках службы изделий, условиях эксплуатации и сценариях контакта с

окружающей средой. Краткосрочно используемые изделия, прежде всего упаковка, быстро вовлекаются в потоки отходов и потенциально являются источниками миграции химических веществ в окружающую среду. Напротив, полимерные материалы в строительстве, транспорте и инфраструктуре формируют долговременные техногенные резервуары химических веществ, высвобождение которых может происходить при старении материалов, механическом износе и на этапах утилизации. Указанные особенности подтверждают необходимость учета области применения изделий при оценке миграционного потенциала химических веществ и формировании приоритетов управления рисками [3, 7].



Примечание: 1. ПЭВП = полиэтилен высокой плотности; ПЭНП = полиэтилен низкой плотности; ЛПЭНП = линейный полиэтилен низкой плотности; ПЭТ = полиэтилентерефталат; ПП = полипропилен; ПС = полистирол; ПУ = полиуретан; ПВХ = поливинилхлорид; СА включает АБС, АСА, САН, где АБС = акрилонитрил-бутадиен-стирол; АСА = акрилонитрил-стирол-акрилат; САН = стирол-акрилонитрил. 2. На рисунке не учтено применение пластика для средств индивидуальной защиты (маски и др., связанные с пандемией COVID-19), поскольку их использование в 2019 г. было незначительным.

Рисунок 4 – Прогноз роста потребления пластика по видам полимеров и областям применения в 2019–2060 гг. [3, 7]

Миграция химических компонентов из пластика – результат совокупного действия факторов: температуры, времени и площади контакта, механической нагрузки, фото- и термодеструкции, а также характеристик среды (рН, соленость, состав органического вещества, наличие ПАВ, окислителей и т.д.). Данные процессы могут происходить на всех стадиях жизненного цикла – от эксплуатации до размещения отходов, включая очистные сооружения и полигоны, где

формируются фильтраты, обогащенные растворимыми веществами и продуктами их трансформации. Отмечено, что старение пластика ускоряет выщелачивание и высвобождение как органических веществ, так и металлов из ПВХ-изделий; в условиях полигонов и длительного хранения наблюдаются потоки пластификаторов, стабилизаторов и побочных продуктов в почвенно-водные системы [52, 53].

Для описания и количественной оценки процессов миграции и распределения химических веществ из пластика в пограничные среды в научных исследованиях применяются расчетные физико-химические и диффузионные модели. Использование данных моделей позволяет понять влияние свойств вещества и условий эксплуатации изделия на интенсивность его высвобождения, перенос между средами и потенциальные пути воздействия на человека и экосистемы.

Оценка перехода химических веществ из водной фазы в атмосферный воздух, а также потенциала ингаляционного воздействия, как правило, базируется на законе Генри, который описывает равновесное распределение вещества между газовой и жидкой фазами и выражается формулой (1):

$$H = \frac{C_{в-х}}{C_{вода}} \quad (1)$$

где $C_{в-х}$ – концентрация вещества в воздухе, моль/м³; $C_{вода}$ – концентрация в воде, моль/м³; H – безразмерная константа Генри. Значения данной константы используются при моделировании летучести и мобильности химических веществ между водной и воздушной средами, при оценке их переноса из водных объектов и влажных поверхностей, а также при оценке ингаляционной экспозиции населения через воздух помещений и атмосферный воздух [54–56].

Способность химических веществ к накоплению в биоте оценивается с использованием коэффициента распределения октанол-вода ($\log K_{ow}$), который рассматривается как показатель липофильности и используется в расчетных моделях биоаккумуляции и биоконцентрации и рассчитывается по формуле (2):

$$\log K_{ow} = \log \left(\frac{C_{октанол}}{C_{вода}} \right) \quad (2)$$

где $C_{\text{октано́л}}$ – равновесная концентрация вещества в н-октаноле, моль/м³; $C_{\text{вода}}$ – равновесная концентрация вещества в воде, моль/м³; K_{ow} – коэффициент распределения октано́л-вода.

Показано, что для многих органических соединений существует корреляция между $\log K_{\text{ow}}$ и коэффициентом биоконцентрации, что позволяет применять данный параметр в скрининговых оценках экологической опасности [57–58].

Миграция химических веществ из полимерных материалов в контактные среды (пищевые продукты, воду, воздух) описывается преимущественно диффузионными моделями, основанными на втором законе Фика и выражаемыми формулой (3):

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

где C – концентрация вещества в полимере, моль/м³; τ – время, с; x – пространственная координата, м; D – коэффициент диффузии в полимере, м²/с. Данные модели широко применяются для прогнозирования специфической миграции добавок и непреднамеренно добавленных веществ из упаковочных материалов и изделий из пластика [59–62].

Температурная зависимость коэффициента диффузии, определяющая ускорение миграции при нагреве и старении пластика, часто описывается уравнением Аррениуса (4):

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

где D – коэффициент диффузии вещества в полимере, м²/с; D_0 – предэкспоненциальный множитель, м²/с; E_a – энергия активации диффузии, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – абсолютная температура, К. Использование данного подхода позволяет учитывать реальные условия эксплуатации изделий и прогнозировать высвобождение химических веществ на различных стадиях жизненного цикла пластика [60, 63].

Для оценки мобильности химических веществ в почве используется коэффициент распределения между органическим углеродом почвы и водой (K_{oc}), рассчитываемый по формуле (5):

$$K_{oc} = \frac{C_{почва}}{C_{вода}} \cdot \frac{1}{f_{oc}} \quad (5)$$

где $C_{почва}$ – концентрация вещества в почве, мг/кг; $C_{вода}$ – концентрация вещества в воде, мг/л; f_{oc} – массовая доля органического углерода в почве; K_{oc} – коэффициент распределения, л/кг.

Низкие значения K_{oc} указывают на высокую мобильность вещества и повышенный риск вымывания в поверхностные и подземные воды, тогда как высокие значения свидетельствуют о склонности соединений к сохранению в почвенных и донных отложениях [64, 65].

Совокупность указанных показателей позволяет комплексно оценивать миграционный потенциал, мобильность и пути воздействия химических веществ, используемых в составе пластика.

С точки зрения экологической значимости ключевую роль играют не только известные пластификаторы, но и широкий спектр других классов соединений. Эфиры фосфорных кислот, применяемые как антипирены и пластификаторы, могут мигрировать из пластика и упаковочных материалов; их высвобождение усиливается при нагреве, длительном контакте с пищевыми продуктами и водой, а также под действием растворителей. При этом эфиры фосфорных кислот регулярно фиксируются в воздухе и пыли помещений, осаждаются на частицах [66–69].

Другим показательным примером являются бензотриазольные УФ-стабилизаторы, используемые в пластике, лаках и покрытиях. Они устойчивы, обнаруживаются в речных, прибрежных и морских отложениях, почвах и осадках очистных сооружений, способны к биоаккумуляции и токсичны для представителей водной биоты. В недавних исследованиях показаны широкая распространенность этих веществ и риски для сообществ донных организмов [44, 70–72].

К стабилизаторам ПВХ относятся также оловоорганические соединения. Для них показано выщелачивание из изделий в водные среды и интенсивность выделения под действием УФ. Металлы и металлоиды, связанные с пигментами и стабилизаторами (свинец, кадмий, хром и др.), также способны переходить в окружающую среду под действием физико-химических и климатических факторов [44, 73–74].

Отдельная группа – антиоксиданты и продукты их трансформации. Распространенные фосфитные и фенольные антиоксиданты способны мигрировать и (или) трансформироваться в более мобильные соединения, такие как 2,4-ди-трет-бутилфенол, который обнаруживается в выщелачиваемых смесях и проявляет токсические эффекты в модельных тестах с водными организмами. Для полиолефинов описаны процессы нанесения антиоксидантов на поверхности полимерных изделий, что облегчает их последующее вымывание [75–77].

В отношении НДВ все больше данных указывает на присутствие и миграцию олигомеров, образующихся при синтезе или переработке пластиков. Для полистирола и полиэфиров показана миграция стирольных олигомеров и циклических олигомеров полиэтилентерефталата. Их уровни миграции и выявляемые концентрации зависят от состава полимера (включая долю рециклатов), условий контакта и среды. В ряде исследований отмечается более высокая миграция олигомеров в моделирующие растворы с повышенной экстрагирующей способностью и при нагреве [78–80].

Воздушный путь также существенен. Пластиковые покрытия в интерьерах (например, ПВХ-обои и напольные покрытия) выделяют смеси летучих и полуметучих соединений, характеризующихся способностью частично находиться в газовой фазе, а частично адсорбироваться на частицах пыли. Под действием фотохимических факторов и нагрева интенсивность их эмиссии возрастает, что приводит к ухудшению качества воздуха в помещениях и формированию длительного ингаляционного и контактного воздействия через домашнюю пыль [69, 81].

В условиях экономики замкнутого цикла обращения пластика особое внимание привлекают «перенесенные» вещества – компоненты, мигрирующие из первичных полимеров во вторичные потоки. Показан перенос бромсодержащих антипиренов из пластика электронных изделий в потребительские товары. В ряде работ обнаружены полибромдифенилэфиры и гексабромциклододекан в товарах широкого потребления и детских изделиях из рециклизованных полимеров. Это подчеркивает необходимость химического «очищения» вторсырья и контроля на стадиях сортировки и рециклинга [82–85].

Пути высвобождения и миграции веществ из пластика зависят как от сектора применения (упаковка, строительные материалы и трубы, элементы транспорта и электроники, текстиль и покрытия), так и от сценария воздействия среды (УФ-излучение, влажность, растворители и т.д.). Наиболее проблемными с экологической точки зрения оказываются долговременные источники в техносфере (строительство и инженерные сети), потоки из объектов обращения с отходами (очистные сооружения, шламы, полигоны) и вторичные эмиссии из рециклизованных материалов. Это требует подходов к управлению, которые бы учитывали химическую природу функциональных веществ и их трансформацию, а также условия эксплуатации [1, 18, 52, 53].

1.4. Глобальное соглашение по пластику и регулирование химических веществ

Осознав глобальный масштаб проблемы загрязнения окружающей среды пластиком и связанных с ним химических веществ, мировое сообщество предприняло решительные шаги. В марте 2022 года на пятой сессии Ассамблеи ООН по окружающей среде (ЮНЕА) единогласно была принята резолюция 5/14, положившая начало межправительственному переговорному процессу (МПК) по подготовке международного юридически обязывающего соглашения, направленного на прекращение загрязнения пластиком на протяжении всего жизненного цикла [8, 86].

Последний раунд переговоров (МПК-5.2) прошел в августе 2025 года. Целью его работы было согласование текста международного договора об охране окружающей среды от загрязнения пластиком на протяжении всего жизненного цикла и выявление нерешенных вопросов для дальнейшей проработки [8, 86].

Переговоры велись по четырем основным темам: дизайну изделий из пластика, химическим веществам в пластике, объемам производства первичного пластика, а также финансированию мер и соблюдению обязательств.

К началу заключительной пленарной части был представлен проект текста соглашения, однако по итогам обсуждений участники не смогли принять согласованную версию. При этом было объявлено о намерении продолжить переговоры в будущем.

На переговорах по глобальному соглашению прослеживалось резкое разделение позиций. Одни страны (порядка ста государств, включая государства-члены ЕС, Великобританию, Канаду, Австралию, большинство стран Африки и Латинской Америки) выступают за жесткие обязательные меры на протяжении всего жизненного цикла пластика. Они настаивают на введении глобальных целевых показателей и обязательных ограничений, в том числе по сокращению производства первичного пластика.

Другие страны – ведущие производители пластика (Саудовская Аравия, Иран, Ирак, Катар, Российская Федерация и др.) – выступают против жестких ограничений на добычу сырья и производство пластика. Представители данной группы стран настаивают на добровольном подходе, ограничиваясь вопросами управления отходами (сбором, переработкой, стимулированием повторного использования). Так, Саудовская Аравия, Российская Федерация и Иран на переговорах открыто потребовали исключить из проекта соглашения любые положения об ограничении производства пластика [86, 87].

1.5. Критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим обеспокоенность, и подходы к их регулированию (на примере международных соглашений)

При решении проблем химической безопасности на международном уровне широко оперируют понятием «вещества, вызывающие обеспокоенность» (Substances of Concern, SoC), обозначающим химические соединения, обладающие свойствами, способными привести к негативным последствиям для здоровья человека и окружающей среды. Практика регулирования опирается на выявление таких веществ и управление обусловленными ими рисками.

Основные критерии отнесения вещества к веществам, вызывающим обеспокоенность, а также меры по регулированию нашли отражение в ряде международных документов [12–17].

Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (далее – СОЗ) направлена на предотвращение, сокращение и, при возможности, полное устранение глобального воздействия химических веществ, обладающих стойкостью в окружающей среде и доказанной опасностью для здоровья человека и окружающей среды. В Приложении D «Требования в отношении информации и критерии отбора» приводятся критерии отнесения к СОЗ: стойкость, биоаккумуляция, способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния, неблагоприятные последствия (данные о токсичности или экотоксичности, которые указывают на потенциальный ущерб для здоровья человека или окружающей среды) [12–13].

Регулирование СОЗ реализуется через механизмы запрета и ограничений, закрепленные в приложениях А, В и С конвенции. Для веществ, включенных в Приложение А, предусмотрено полное прекращение производства и использования, включая их вывод из обращения и поэтапный отказ от применения; Приложение В предусматривает ограничение допускаемых областей применения, в том числе с временными или функциональными исключениями; Приложение С направлено на минимизацию непреднамеренных выбросов химических веществ

путем внедрения наилучших доступных технологий и экологически безопасных практик. Следует отметить, что в рамках Стокгольмской конвенции мировым сообществом ведется огромная работа по замене запрещенных и ограниченных химических веществ безопасными альтернативными веществами. Комитет по рассмотрению конвенции при разработке предложений по включению новых веществ в Приложения А, В, С помимо оценки доказательной базы отнесения их к СОЗ в соответствии с критериями Приложения D требует обязательного проведения оценки риска и наличия более безопасных заменителей. При отсутствии или недостаточности информации о риске и безопасных альтернативах вещества не выносятся на обсуждение Конференции Сторон Стокгольмской конвенции [12–13].

Таким образом, механизмы конвенции формируют систему международного регулирования, которая обеспечивает постепенное выведение наиболее опасных соединений из обращения, ограничение их использования и снижение непреднамеренных выбросов. Ряд чрезвычайно опасных веществ, регулируемых Стокгольмской конвенцией, используется в производстве пластика [12–13].

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением регулирует трансграничное перемещение опасных отходов и устанавливает требования к их обращению с целью предотвращения вреда здоровью человека и окружающей среде. Приложение III конвенции «Перечень опасных свойств» выделяет токсичные и экотоксичные вещества. Кроме обязательного предварительного уведомления и согласования между государством-экспортером, страной транзита и государством-импортером, конвенция предусматривает разработку норм минимального содержания опасных веществ в составе отходов и запрет вывоза отходов в случае отсутствия подтвержденного согласия принимающей стороны [12, 15].

Минаматская конвенция о ртути направлена на снижение глобального воздействия ртути и ее соединений. Конвенция предусматривает запретительно-ограничительные меры по регулированию ртути: прекращение новой первичной добычи ртути, регулирование оборота существующих запасов, ограничение

использования ртути в отдельных технологических процессах и продуктах, а также поэтапный отказ от ее применения в сферах, для которых существуют доступные безопасные альтернативы [12, 16].

Большое внимание безопасному регулированию химических веществ в составе различных видов продукции и изделий уделяется Европейским союзом. В рамках Регламента Европейского Парламента и Совета ЕС 1907/2006 от 18 декабря 2006 г. по регистрации, оценке, разрешению и ограничению использования химических веществ (Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, REACH) [17] сформирован и регулярно пополняется список веществ, вызывающих особую обеспокоенность (Substances of Very High Concern, SVHC) – так называемый список кандидатов (Candidate List), являющийся отправной точкой для последующего запрещения и (или) ограничения веществ. Включение химического вещества в данный список означает, что оно отвечает хотя бы одному критерию опасности (канцерогенность; мутагенность; репротоксичность; способность воздействовать на эндокринную систему; стойкость, биоаккумуляция и токсичность (PBT); высокая стойкость и высокая биоаккумуляция (vPvB); респираторная сенсибилизация; токсическое воздействие на органы-мишени (системы) после многократного воздействия; или эквивалентный уровень обеспокоенности) и в дальнейшем может быть рассмотрено с целью введения запрета и (или) ограничения на рынке ЕС [17, 88]. В состав этого перечня входят вещества, используемые в производстве пластика, однако по области применения они никак не выделены.

По состоянию на декабрь 2025 г. Candidate List насчитывает 251 позицию, значительная часть из которых – фосфорорганические соединения, УФ-стабилизаторы, тяжелые металлы и другие вещества, применяющиеся в составе пластиковых материалов. Кроме того, наличие вещества в списке SVHC стимулирует поиск безопасных альтернатив.

В совокупности критерии опасности и списки опасных веществ создают систему раннего выявления с целью введения запрета и (или) ограничения оборота

тех химических веществ, которые могут представлять наибольшую угрозу. Это динамичный процесс – научные данные обновляются, и списки регулярно дополняются новыми позициями.

Подобная практика позволяет оперативно реагировать на вызовы и предотвращать широкое распространение новых опасных веществ в промышленности, в том числе и полимерной.

Российская Федерация является стороной Стокгольмской и Базельской конвенций, присоединилась к Минаматской. Вместе с тем деятельность в рамках данных международных соглашений осуществляется не так эффективно.

На сегодняшний день регулирование химического состава материалов и изделий на территории Российской Федерации и государств Евразийского экономического союза (ЕАЭС) осуществляется преимущественно через систему технических регламентов (ТР), устанавливающих обязательные требования к безопасности продукции. Требования ТР направлены на ограничение содержания и миграции опасных химических веществ и, как правило, привязаны к конкретным видам изделий.

В области полимерных материалов ключевую роль играют ТР, распространяющиеся на упаковку, детскую продукцию, электротехнические и электронные изделия, мебель, средства индивидуальной защиты, а также оборудование для детских игровых площадок. Данные документы устанавливают допустимые уровни миграции химических веществ, ограничения по содержанию отдельных опасных соединений, а также общие требования к химической безопасности материалов, включая пластиковые компоненты.

В соответствии с ТР одни и те же химические вещества могут регулироваться в составе определенных видов продукции и при этом не подпадать под ограничения в других сферах применения. Кроме того, требования различных ТР различаются по набору нормируемых веществ и показателей, что затрудняет целостную оценку химической безопасности пластиковых материалов в целом.

Ключевые технические регламенты ЕАЭС и Российской Федерации, имеющие значение для регулирования химических веществ в составе пластиковых материалов и изделий, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические регламенты ЕАЭС и Российской Федерации, содержащие требования к химической безопасности пластиковых материалов и изделий

Нормативный документ	Объект регулирования	Ключевые требования, относящиеся к химическим веществам в составе пластика
ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» [89]	Упаковочные материалы и изделия, включая пластиковые, предназначенные для контакта с пищевыми продуктами и товарами	Установление допустимых уровней миграции химических веществ из упаковки в контактные среды; требования к химической безопасности материалов
ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники» [90]	Электрические и электронные изделия, содержащие пластиковые компоненты	Ограничение содержания свинца, кадмия, ртути, хрома (VI), а также бромированных антипиренов в составе материалов и комплектующих
ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков» [91]	Изделия для детей, включая пластиковые элементы	Ограничения на содержание и миграцию опасных химических веществ с учетом уязвимости детского населения
ТР ТС 008/2011 «О безопасности игрушек» [92]	Игрушки, в том числе из полимерных материалов	Требования к химической безопасности материалов, контактирующих с ребенком, включая ограничения на отдельные токсичные вещества
ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности» [93]	Текстильные и полимерные изделия потребительского назначения	Ограничения на использование и миграцию отдельных химических веществ из материалов
ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» [94]	Средства индивидуальной защиты с пластиковыми и полимерными компонентами	Требования к химической безопасности материалов, используемых для индивидуальной защиты
ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции» [95]	Мебель и мебельные материалы, включая пластики	Ограничения на выделение химических веществ в воздух помещений и контактные среды
ТР ЕАЭС 041/2017 и ТР РФ «О безопасности химической продукции» [96]	Химические вещества и смеси, в том числе используемые в производстве пластика	Регистрация, оценка и классификация опасности, информирование о свойствах и мерах управления рисками
ТР ЕАЭС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок» [97]	Оборудование и покрытия, включая пластиковые и полимерные материалы	Требования к химической безопасности покрытий и элементов, контактирующих с детьми

Наряду с техническими регламентами в рамках ЕАЭС применяются меры нетарифного регулирования. В частности, Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 апреля 2015 г. № 30 «О мерах нетарифного регулирования» [98] предусматривает ограничения и запреты на ввоз и обращение отдельных опасных химических веществ, включая стойкие органические загрязнители. Данные меры направлены на предотвращение трансграничного перемещения наиболее опасных соединений, однако охватывают ограниченный круг веществ и не учитывают специфику их использования в составе полимерных материалов.

Отдельно следует отметить разработку в Российской Федерации Федерального закона «О химической безопасности», который ориентирован на формирование более системного подхода к управлению химическими рисками [99]. В проекте закона предусмотрены механизмы оценки опасных свойств химических веществ, а также концепция замещения высокоопасных соединений более безопасными аналогами. Вместе с тем реализация данных положений требует наличия научно обоснованных перечней приоритетных веществ и инструментов их выявления.

В совокупности анализ действующего регулирования показывает, что существующие меры ориентированы на отдельные виды продукции и не обеспечивают целостного охвата всех потенциально опасных химических веществ, присутствующих в составе пластика. Это формирует объективную потребность в разработке системных подходов к выявлению и обоснованию перечней химических веществ, вызывающих обеспокоенность, с учетом их опасных свойств, сфер применения и потенциальных путей воздействия.

Резюме

Проведенный анализ открытых источников информации показал, что загрязнение окружающей среды пластиком является одной из наиболее актуальных экологических проблем современности. Наряду с накоплением пластиковых

отходов и микропластика все большее внимание уделяется химическим веществам, входящим в состав пластика и способным высвобождаться в окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла продукции. Установлено, что пластики представляют собой сложные многокомпонентные системы, содержащие мономеры, функциональные добавки, технологические вспомогательные вещества, примеси и НДВ, многие из которых обладают опасными свойствами для здоровья человека и окружающей среды.

Анализ опубликованных данных свидетельствует о высокой степени разработанности вопросов, связанных с изучением отдельных групп химических веществ в составе пластика, их опасных свойств, путей миграции и распространения в объектах окружающей среды. Вместе с тем сохраняются существенные пробелы в систематизации имеющихся сведений и формировании подходов к выявлению химических веществ, вызывающих обеспокоенность. По различным оценкам, выявлено от 13 до 16 тыс. химических веществ, используемых в производстве или потенциально связанных с ним, однако для значительной их части отсутствуют полные данные о токсикологических и экотоксикологических свойствах, данные о способности к миграции и биоаккумуляции, а также о последствиях длительного воздействия. Это существенно затрудняет объективную оценку рисков и принятие научно обоснованных управленческих решений.

Установлено, что международные соглашения и механизмы регулирования предусматривают запретительно-ограничительные мероприятия в отношении отдельных высокоопасных химических веществ, однако не формируют единой системы выявления и регулирования химических веществ, вызывающих обеспокоенность именно в составе пластика. Аналогичная ситуация характерна и для Российской Федерации. Национальное регулирование осуществляется посредством технических регламентов, устанавливающих требования к отдельным видам продукции, что приводит к фрагментарности регулирования и отсутствию комплексного подхода к управлению рисками, связанными с химическими веществами в составе пластиковых материалов.

Таким образом, анализ литературных источников показал отсутствие критериев отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство вследствие негативного воздействия на организм человека и (или) окружающую природную среду для последующего принятия регуляторных решений (запрещения, ограничения, гигиенического и экологического нормирования). Существующий научный и регуляторный пробел определяет необходимость разработки подходов к формированию национального перечня таких веществ и научного обоснования мер их регулирования с учетом опасных свойств, областей применения, миграционного потенциала и возможного воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Объекты и предмет исследования

Объектами исследования являлись химические вещества, применяемые или присутствующие в составе пластика и обладающие опасными свойствами для здоровья человека и (или) окружающей среды.

К химическим веществам, применяемым в составе пластика, относились вещества, выполняющие функции пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов, пигментов и красителей, антиоксидантов, УФ-стабилизаторов, биоцидов, катализаторов, инициаторов, сшивающих агентов, растворителей, технологических добавок, мономеров, промежуточных продуктов, а также непреднамеренно добавленные вещества.

Предметом исследования являлись критерии, алгоритмы и подходы, обеспечивающие выявление химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, формирование их перечня и обоснование мер национального регулирования.

В рамках исследования химическое вещество рассматривалось как вызывающее беспокойство в составе пластика при соответствии следующим критериям: подтвержденная связь с пластиковыми материалами и наличие установленного опасного свойства для здоровья человека и (или) окружающей среды.

2.2. Материалы исследования

Материалами исследования являлись международные, региональные и национальные нормативно-правовые акты, официальные базы данных и информационные ресурсы, методические документы и научные публикации, содержащие сведения о химических веществах, применяемых в составе пластика,

их опасных свойствах, экотоксикологических характеристиках, регуляторном статусе и мерах регулирования.

Для формирования исходного массива химических веществ, связанных с пластиком, использовались следующие информационные ресурсы:

- база данных PlastChem, содержащая сведения о химических веществах, связанных с производством, применением пластиковых материалов, а также с обращением с ними [100];
- база данных FCCmigex, содержащая сведения о миграции химических веществ из материалов, контактирующих с пищевой продукцией [101];
- база данных LitChem, содержащая сведения о химических веществах, выявленных по данным научной литературы [102];
- Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ [103].

Для оценки опасных свойств химических веществ для здоровья человека использовались:

- гармонизированная классификация опасности веществ, представленная в Регламенте (ЕС) № 1272/2008 о классификации, маркировке и упаковке веществ и смесей (CLP) [104];
- материалы Международного агентства по изучению рака (МАИР) по канцерогенной опасности химических веществ [105];
- МР 1.2.0378-25 «Оценка и классификация опасности мутагенов» [106];
- МР 1.2.0321-23 «Оценка и классификация опасности репродуктивных токсикантов» [107];
- МР 1.2.0313-22 «Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей» [108];
- сведения из баз данных ECHA Information on Chemicals [109], OECD eChemPortal [110], EPA CompTox Chemicals Dashboard [111].

Для оценки опасности химических веществ для окружающей среды использовались:

- гармонизированная классификация опасности веществ по водной токсичности, представленная в Регламенте (ЕС) № 1272/2008 (CLP) [104];
- Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ [103];
- база данных US EPA ECOTOX [112];
- база данных EPA CompTox Chemicals Dashboard [111];
- информационные ресурсы ECHA Information on Chemicals [109], OECD eChemPortal [110], EnviChem [113] и PubChem [114];
- материалы German Environment Agency (UBA) по отнесению веществ к PBT, vPvB, PMT и vPvM [115];
- документы Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [13].

Для систематизации экотоксикологических данных разработана база данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика». База данных включала экотоксикологический профиль каждого вещества, содержащий идентификационные сведения, физико-химические показатели, данные о токсичности для представителей водной биоты, сведения о биоразлагаемости, биоаккумуляции, стойкости, мобильности и токсичности, а также сведения, необходимые для отнесения вещества к PBT, vPvB, PMT и vPvM.

Для анализа международных подходов к регулированию химических веществ использовались:

- Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях [13];
- Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением [15];
- Минаматская конвенция по ртути [16];
- Регламент (ЕС) № 1907/2006 REACH [17];
- Регламент (ЕС) № 1272/2008 CLP [104].

Для анализа национального регулирования химических веществ в составе пластиковых материалов и изделий использовались технические регламенты

Таможенного союза и Евразийского экономического союза, содержащие требования к химической безопасности продукции:

- ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» [89];
- ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков» [91];
- ТР ТС 008/2011 «О безопасности игрушек» [92];
- ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности» [93];
- ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» [94];
- ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции» [95];
- ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники» [90];
- ТР ЕАЭС 041/2017 «О безопасности химической продукции» [96];
- ТР ЕАЭС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок» [97].

Дополнительно для анализа информации использовались высокорейтинговые научные статьи, обзоры, монографии, экспертные отчеты и материалы международных организаций [18, 105, 116, 117, 118].

Обработка, сопоставление и систематизация сведений выполнялись с использованием табличных методов анализа в Microsoft Excel.

2.3. Методы исследования

Исследование выполнялось с использованием аналитического, сравнительного, классификационного и систематизационного подходов.

На первом этапе проводился анализ существующих подходов к выявлению и регулированию химических веществ в составе пластика. Анализ включал рассмотрение проблемы загрязнения пластиком окружающей среды, химического состава пластиковых материалов, функционального назначения добавок, миграции

химических веществ из пластика в пограничные среды, международных подходов к регулированию и критериев отнесения веществ к вызывающим беспокойство.

На втором этапе обосновывались критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство в составе пластика. В качестве исходного признака учитывалось подтвержденное применение вещества в составе пластиковых материалов и изделий, его функциональное назначение и область применения.

Далее вещество оценивалось по критериям:

- канцерогенность 1 и 2 классов опасности по СГС;
- мутагенность 1 и 2 классов опасности по СГС;
- репродуктивная токсичность 1 и 2 классов опасности по СГС;
- воздействие на эндокринную систему 1 и 2 классов опасности;
- острая водная токсичность 1 класса опасности по СГС;
- хроническая водная токсичность 1 и 2 классов опасности по СГС;
- стойкость в окружающей среде;
- способность к биоаккумуляции;
- мобильность.

На третьем этапе проводился отбор химических веществ, используемых в составе пластика. Исходным массивом являлась база данных PlastChem, содержащая 16 325 веществ. Отбор осуществлялся по критериям подтвержденного использования вещества в составе пластика и его функционального назначения. В результате было выделено 2 381 вещество, используемое в составе пластика.

На четвертом этапе проводилась оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека. Для каждого вещества анализировались сведения о канцерогенности, мутагенности, репродуктивной токсичности и воздействии на эндокринную систему. При наличии соответствующего класса опасности вещество относилось к группе веществ, вызывающих беспокойство по критериям опасности для здоровья человека.

На пятом этапе проводилась оценка опасности веществ-кандидатов для окружающей среды. Для каждого вещества анализировались сведения об острой и хронической водной токсичности, стойкости, биоаккумуляции и мобильности. Отдельно оценивалось соответствие вещества критериям PBT, vPvB, PMT и vPvM.

Для отнесения веществ к группам PBT, vPvB, PMT и vPvM были разработаны алгоритмы, построенные по принципу последовательного принятия решений. Алгоритмы предусматривали поэтапную проверку соответствия вещества критериям стойкости, биоаккумуляции, мобильности и токсичности.

На шестом этапе формировался итоговый перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика. В перечень включались вещества, соответствующие двум критериям:

1. Вещество используется или присутствует в составе пластика.
2. Вещество обладает опасными свойствами для здоровья человека и (или) окружающей среды.

По результатам последовательного применения указанных критериев был сформирован перечень, включающий 857 химических веществ.

На седьмом этапе проводился анализ итогового перечня по видам опасности. Для веществ перечня определялись группы канцерогенов, мутагенов, репротоксикантов, эндокринных разрушителей, веществ с острой и хронической водной токсичностью, а также веществ, соответствующих критериям PBT, vPvB, PMT и vPvM.

На восьмом этапе проводилось распределение веществ итогового перечня по профилям опасности. Были выделены:

- вещества, опасные преимущественно для здоровья человека;
- вещества, опасные преимущественно для окружающей среды;
- вещества, обладающие комбинированной опасностью для здоровья человека и окружающей среды.

На девятом этапе определялись приоритетные химические группы, требующие регулирования. К таким группам были отнесены тяжелые металлы, азотсодержащие органические соединения, кислородсодержащие соединения,

галогенированные органические соединения и пер- и полифторалкильные соединения.

На десятом этапе обосновывались подходы к национальному регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика. В качестве мер регулирования рассматривались:

- гигиеническое и экологическое нормирование;
- запрещение применения;
- ограничение количественного содержания.

Применимость указанных мер регулирования показана на примере свинца и его соединений, анилина, фталатов и пер- и полифторалкильных соединений.

Глава 3. Научное обоснование критериев отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство вследствие негативного воздействия на организм человека и окружающую природную среду

Анализ международных и национальных законодательных и нормативно-методических документов позволил обосновать критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство в составе пластика, требующим жестких мер регулирования [119].

Первичным критерием отбора является подтвержденное использование химического вещества в составе пластиковых материалов и изделий либо его возможное присутствие в них в качестве компонента, примеси или продукта трансформации. Дополнительно учитываются функциональное назначение вещества и виды продукции, определяющие потенциальные условия воздействия на человека и окружающую среду.

Одно и то же вещество может иметь разное значение для оценки риска в зависимости от его функции. Оно может применяться как мономер, пластификатор, стабилизатор, антипирен, пигмент, краситель, катализатор, инициатор, наполнитель, сшивающий агент, технологическая добавка, а также присутствовать как примесь или продукт трансформации.

Необходимо учитывать и виды продукции, в которых используется пластик. В первую очередь следует учитывать материалы и изделия, контактирующие с пищевой продукцией, питьевой водой или кожей человека, а также товары для детей, медицинские изделия, упаковку, строительные и отделочные материалы.

Функциональное назначение вещества и область применения пластикового изделия следует рассматривать как исходные критерии отбора. После установления связи вещества с пластиком оцениваются его опасные свойства, миграция и другие характеристики, которые необходимы для обоснования мер регулирования.

Согласно Р 2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» [120],

ведущими критериями для выбора приоритетных, целевых загрязняющих веществ являются их токсические свойства, распространенность в окружающей среде и вероятность их воздействия на человека, а именно:

- количество вещества, поступающее в окружающую среду;
- численность населения, потенциально подверженного воздействию;
- высокая стойкость (персистентность) вещества в окружающей среде, которая характеризуется временем полураспада в объектах окружающей среды;
- способность к биоаккумуляции, которая отражает способность вещества переходить из окружающей среды в биообъекты (например, водные организмы);
- способность вещества к межсредовому распределению, миграции из одной среды в другую, что проявляется одновременным загрязнением нескольких сред, пространственным распространением загрязнения;
- опасность для здоровья человека, т.е. способность вызывать негативные эффекты (необратимые, отдаленные, обладающие высокой медико-социальной значимостью) [121].

В Регламенте Европейского Парламента и Совета ЕС 1907/2006 от 18 декабря 2006 г. по регистрации, оценке, разрешению и ограничению использования химических веществ (REACH) [17] вещество, вызывающее обеспокоенность, определяется по следующим критериям:

- а) вещества, отвечающие критериям классификации опасности как канцерогенные вещества категории 1 или 2;
- б) вещества, отвечающие критериям классификации опасности как мутагенные для зародышевых клеток категории 1 или 2;
- в) вещества, отвечающие критериям классификации опасности как репродуктивные токсиканты категории 1 или 2;
- г) вещества, которые являются стойкими, способными к биоаккумуляции и токсичными;
- д) вещества, которые являются очень стойкими и обладают высокой способностью к биоаккумуляции;

е) иные вещества (например, вещества с эндокринно-разрушающими свойствами или свойствами PBT/vPvB, не соответствующие критериям пунктов г) и д), но вызывающие эквивалентный уровень беспокойности на основании научных данных о вероятности серьезных последствий для здоровья человека или окружающей среды, сопоставимых с последствиями воздействия веществ, указанных в пунктах а)–д).

В рамках того же регламента ЕС 1907/2006 по регистрации, оценке, разрешению и ограничению использования химических веществ (REACH) идентифицируются вещества, вызывающие серьезную беспокойность (SVHC), которые обладают следующими опасными свойствами:

1. Вещества, отвечающие критериям классификации как канцерогенные, мутагенные или токсичные для репродуктивной системы (CMR) категории 1A или 1B в соответствии с Регламентом CLP.

2. Вещества, которые являются стойкими, способными к биоаккумуляции и токсичными (PBT) или очень стойкими и очень способными к биоаккумуляции (vPvB), в соответствии с Приложением XIII REACH.

3. Вещества, которые в каждом конкретном случае вызывают такой же уровень беспокойности, как вещества CMR или PBT/vPvB.

Международный опыт показывает, что большую озабоченность вызывают вещества, являющиеся стойкими в окружающей среде (P), способными к биоаккумуляции (B) и токсичными (T), так называемые PBT и высокостойкие и высокобиоаккумулятивные вещества (vPvB).

Вещество соответствует критерию стойкости (P), если:

- период полураспада в морской воде выше 60 дней; или
 - период полураспада в пресной или устьевой воде выше 40 дней; или
 - период полураспада в морском иле выше 180 дней; или
 - период полураспада в иле пресной или устьевой воды выше 120 дней;
- или
- период полураспада в почве выше 120 дней.

Вещество соответствует критерию биоаккумулятивности (В), если коэффициент биоконцентрации (КБК) в водных особях выше 2000.

Вещество соответствует критерию токсичности (Т) в следующих случаях:

- долгосрочная концентрация, не вызывающая видимых отрицательных эффектов (NOEC) или EC_{10} для организмов, находящихся в морской и пресной воде, менее 0,01 мг/л;
- вещество, отвечающее критериям классификации как канцерогенное (категории 1А или 1В), мутагенное для половых клеток (категории 1А или 1В) или токсичное для репродуктивной функции (категории 1А, 1В или 2) согласно Регламенту ЕС 1272/2008 CLP [104];
- имеются доказательства хронической токсичности: вещество отвечает критериям классификации избирательной токсичности для органов-мишеней после повторного воздействия (STOT RE категории 1 или 2) согласно Регламенту ЕС 1272/2008 CLP [104].

Вещество соответствует критерию «высокой стойкости» (vP) в следующих ситуациях:

- период полураспада в морской, пресной или устьевой воде выше 60 дней; или
- период полураспада в морской, пресной или устьевой воде выше 180 дней; или
- период полураспада в почве выше 180 дней.

Вещество соответствует критерию высокой биоаккумулятивности (vB), если фактор биоконцентрации в водных особях выше 5000.

В последние годы дополнительно сформированы группы РМТ (стойкие, мобильные и токсичные вещества) и vPvM (высокостойкие и высокомобильные вещества), отражающие особую опасность соединений, способных активно мигрировать в водной среде и загрязнять поверхностные и подземные воды. Для данных веществ характерна высокая стойкость к природным процессам разложения и низкая способность к удерживанию в почвах и донных отложениях,

что обуславливает их широкое распространение в водной среде и затрудняет применение традиционных мер очистки водных объектов [122–126].

Использование критериев PBT, vPvB, PMT и vPvM при формировании перечня веществ, вызывающих беспокойство, позволяет учитывать не только непосредственную токсичность, но и долговременные экологические последствия, связанные с накоплением, переносом и устойчивостью химических веществ, в том числе мигрирующих из пластика на различных стадиях его жизненного цикла.

Принимая во внимание, что часть опасных химических веществ в составе пластика отнесена к СОЗ и регулируется Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях, целесообразно использовать в качестве критериев для отбора проблемных веществ, содержащихся в пластике, такие показатели, как стойкость к разложению в окружающей среде, способность к переносу на большие расстояния с водными и воздушными массами, способность к накоплению в биологических организмах и токсичность для человека и окружающей природной среды [13].

Для стойких органических загрязнителей период полураспада химического вещества в воде составляет более 2 месяцев, период полураспада в почве и донных отложениях составляет более 6 месяцев [157].

Критерий биоаккумуляции определяется коэффициентом биоконцентрации (КБК) или фактором биоаккумуляции химического вещества в водных организмах (требование для СОЗ – не менее 5000). В отсутствие этих данных используется коэффициент распределения соединения в водной фазе и фазе модельного органического вещества (октанола) – $\log K_{ow}$ (требование для СОЗ – не менее 5). Дополнительно могут рассматриваться другие доказательства высокой биоаккумуляции, например, данные биомониторинга: обнаружение повышенного содержания вещества в биологических жидкостях человека (в крови или в грудном молоке), в тканях наземных и морских млекопитающих [157].

Минаматская конвенция о ртути, так же как и Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, опирается на биологическую активность вещества (высокая токсичность,

способность вызывать специфические и отдаленные эффекты); стойкость в окружающей среде; способность к миграции; накопление в пищевых цепочках и экосистемах; распространенность в окружающей среде (объемы производства, выбросов и сбросов) [157].

Согласно Решению Совета ОЭСР по новым химическим веществам, указанные выше показатели являются основой для проведения значимой первоначальной оценки потенциальной опасности химического вещества [127–132]. Рекомендуемый минимальный набор предварительных данных включает следующие параметры:

- острая токсичность для рыб (96-часовой тест);
- острая токсичность для дафний (48-часовой тест);
- острая токсичность для водорослей (72-часовой тест);
- коэффициент распределения н-октанол/вода ($\log K_{ow}$);
- биodeградация;
- биоаккумуляция;
- острая токсичность при пероральном, накожном, ингаляционном поступлении в организм;
- повторная токсичность;
- генетическая токсичность;
- репродуктивная токсичность;
- токсичность для развития;
- токсикокинетика;
- раздражение кожи и глаз;
- сенсibilизация;
- канцерогенность;
- нейротоксичность.

3.1. Критерии опасности химических веществ по биологическому действию

Анализ современных подходов к регулированию химических веществ показал, что оценка опасности является основой химической безопасности.

В мировой практике к приоритетным критериям опасности относят канцерогенное, мутагенное, репротоксическое и эндокринное действие, способное приводить к росту заболеваемости, инвалидизации и преждевременной смертности населения, а также к нарушениям воспроизводства и устойчивости природных популяций [133–135].

В Европейском союзе согласно Регламенту Европейского парламента и Совета (ЕС) № 1907/2006 (REACH) к веществам, вызывающим очень серьезную обеспокоенность, относят соединения, классифицируемые как канцерогены, мутагены и репротоксиканты классов опасности 1А и 1В в соответствии с СГС. Вещество относится к классу 1А в случае достаточности доказательств воздействия на человека, к классу 1В при наличии ограниченных доказательств для человека в сочетании с достаточными доказательствами для животных или достаточных доказательств для животных, усиленных поддерживающими данными. Принимая во внимание размытость критериев отнесения веществ к классам 1В и 2 (данные для человека и (или) животных, недостаточно убедительные для отнесения к классу 1), а также неопределенности баз данных для оценки степени выраженности и доказанности действия, целесообразно отнести к веществам, вызывающим обеспокоенность в составе пластика, соединения класса опасности 2 [17, 135].

Особое внимание в последние два десятилетия уделяется эндокринным разрушителям, что обусловлено многосторонним характером их воздействия как на организм человека, так и на организмы представителей фауны. Эндокринно-опосредованные эффекты затрагивают процессы полового развития и созревания, фертильность, вынашивание потомства, метаболические функции, а также ассоциированы с развитием гормонально зависимых онкологических заболеваний. В частности, эндокринно обусловленный рак молочной железы занимает ведущее место в структуре онкологической заболеваемости как в мире, так и в Российской

Федерации, что определяет высокую актуальность учета данного вида опасности при формировании перечней химических веществ, вызывающих обеспокоенность, в том числе в составе пластика [133, 134, 136–140].

Для представителей водной биоты (например, рыб) в ряде исследований установлены нарушения репродуктивной функции, изменение гормонального фона и полового развития при воздействии эндокринно-активных веществ, присутствующих в водной среде, в том числе в низких концентрациях [141–148].

В связи с отсутствием официальных международных подходов в рамках настоящей работы использовались критерии отнесения веществ к эндокринным разрушителям и их ранжирования по классам опасности, представленные в методических рекомендациях МР 1.2.0313-22 «Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей», сформированных в ходе предшествующих научно-исследовательских работ [108].

Таким образом, критериями отнесения веществ к химическим веществам, вызывающим обеспокоенность в составе пластика, по биологическому действию являются канцерогенность, мутагенность, репротоксичность, а также способность оказывать негативное влияние на эндокринную систему, отнесенное к 1-му или 2-му классу опасности. Сводные критерии перечисленных видов опасности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии классификации опасности химических веществ, вызывающих обеспокоенность вследствие биологического действия [104, 108]

Вид опасности	Класс, подкласс	Критерии отнесения
Канцерогенность	1А	Достаточные доказательства канцерогенности для человека
	1В	Ограниченные доказательства для человека в сочетании с достаточными доказательствами для животных или достаточные доказательства для животных, усиленные поддерживающими данными
	2	Вещество, вероятно канцерогенное для человека (как правило, при доказанности на животных и ограниченности/недостаточности данных на человека)

Продолжение таблицы 2

Мутагенность	1A	Положительные данные о наследуемых мутациях в зародышевых клетках человека (эпидемиологические данные)
	1B	Положительные результаты: <i>in vivo</i> по наследуемой мутагенности зародышевых клеток млекопитающих; или <i>in vivo</i> по мутагенности соматических клеток млекопитающих в сочетании с данными о потенциальной способности вызывать мутации зародышевых клеток; или мутагенная активность в зародышевых клетках человека без передачи потомству
	2	Положительные результаты на млекопитающих и (или) <i>in vitro</i> (включая <i>in vivo</i> по мутагенности соматических клеток или иные <i>in vivo</i> по генотоксичности соматических клеток), подтвержденные положительными результатами испытаний мутагенности <i>in vitro</i>
Репродуктивная токсичность	1	Известно или предполагается воздействие на репродуктивную функцию человека
	1A	Доказательства неблагоприятного воздействия на репродуктивную функцию человека (данные по людям)
	1B	Положительные результаты испытаний на животных, обеспечивающие доказательство воздействия на репродуктивную функцию человека
	2	Данные для человека и (или) животных, недостаточно убедительные для отнесения к классу 1
Эндокринные разрушители	1	Установлено эндокринно-опосредованное неблагоприятное воздействие на человека и (или) на виды животных в окружающей среде, подтвержденное данными <i>in vivo</i> и дополнительно обоснованное информацией (например, (Q)SAR, аналоговые/ категориальные подходы)
	1A	Негативное воздействие на эндокринную систему; доказательства преимущественно на людях/видах животных в окружающей среде (эпидемиологические исследования, описания случаев, полевые исследования), подкрепленные дополнительной информацией
	1B	Вероятное воздействие; доказательная база преимущественно по данным экспериментальных исследований <i>in vivo</i> , подкрепленная дополнительной информацией
	2	Предполагаемое воздействие; имеются некоторые доказательства эндокринно-опосредованных неблагоприятных эффектов <i>in vivo</i> , недостаточные для отнесения к классу 1

3.2. Экологические критерии: водная токсичность и свойства стойкости, биоаккумуляции и мобильности

Анализ международных подходов к оценке опасности пластика показал, что наряду с биологическим воздействием на организм человека при формировании критериев отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство, принципиальное значение имеют их экологические характеристики. Это особенно важно, принимая во внимание, что проблема химической безопасности пластика первоначально была сформулирована именно в контексте загрязнения водной среды и морских экосистем [86–87, 149–151].

В практике регулирования химических веществ экологическая опасность, как правило, первично оценивается по показателям воздействия на водные экосистемы. В СГС критериями опасности для представителей водной биоты (рыб, водорослей, дафний) являются острая и хроническая токсичность [104]. Поэтому в качестве критериев экологической опасности предложены острая водная токсичность 1 класса опасности и хроническая водная токсичность 1–2 классов опасности, которые характеризуют способность веществ, мигрирующих из пластика, вызывать гибель, нарушения роста, развития и репродуктивной функции водных организмов как при кратковременном, так и при длительном воздействии, в том числе при низких концентрациях, характерных для загрязнения водной среды.

Включение в обязательные экологические критерии хронической водной токсичности 2 класса опасности обосновывается тем, что при длительном воздействии сохраняется экологически значимый риск (в том числе по репродуктивным и популяционным показателям).

Таким образом, при формировании экологических критериев должны быть использованы показатели острой и хронической водной токсичности по СГС [104], сводные критерии которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Критерии классификации опасности по водной токсичности в соответствии с СГС [104, 152, 153]

Класс опасности	Критерии отнесения
<i>Острая водная токсичность</i>	
1	LC ₅₀ при 96-часовом воздействии (для рыб) ≤ 1 мг/л и (или) EC ₅₀ при 48-часовом воздействии (для ракообразных) ≤ 1 мг/л и (или) ErC ₅₀ * при 72- или 96-часовом воздействии (для водорослей и других водных растений) ≤ 1 мг/л
<i>Хроническая водная токсичность</i> <i>Химическое вещество, не способное к быстрому разложению, для которого имеются достаточные данные по хронической токсичности</i>	
1	Максимально недействующая концентрация (МНК/NOEC) или EC _x ≤ 0,1 мг/л (для рыб и (или) ракообразных и (или) водорослей и других водных растений)
2	МНК/NOEC или EC _x ≤ 1 мг/л (для рыб и (или) ракообразных и (или) водорослей и других водных растений)
<i>Химическое вещество, способное к быстрому разложению, для которого имеются достаточные данные по хронической токсичности</i>	
1	МНК/NOEC или EC _x ≤ 0,01 мг/л (для рыб и (или) ракообразных и (или) водорослей и других водных растений)
2	МНК/NOEC или EC _x ≤ 0,1 мг/л (для рыб и (или) ракообразных и (или) водорослей и других водных растений)
<i>Химическое вещество, для которого не имеется достаточных данных по хронической токсичности</i>	
1	LC ₅₀ при 96-часовом воздействии (для рыб) ≤ 1 мг/л и (или) EC ₅₀ при 48-часовом воздействии (для ракообразных) ≤ 1 мг/л и (или) ErC ₅₀ * при 72- или 96-часовом воздействии (для водорослей и других водных растений) ≤ 1 мг/л и химическая продукция, не способная к быстрому разложению, и (или) полная биоразлагаемость < 60 %, или первичная биоразлагаемость < 80 % (для ПАВ), и (или) коэффициент биоконцентрации (BCF) ≥ 500 (или при отсутствии данных log K _{ow} ≥ 4)
2	1 мг/л < LC ₅₀ при 96-часовом воздействии (для рыб) ≤ 10 мг/л и (или) 1 мг/л < EC ₅₀ при 48-часовом воздействии (для ракообразных) ≤ 10 мг/л и (или) 1 мг/л < ErC ₅₀ * при 72- или 96-часовом воздействии (для водорослей и других водных растений) ≤ 10 мг/л и химическая продукция, не способная к быстрому разложению, и (или) полная биоразлагаемость < 60 %, или первичная биоразлагаемость < 80 % (для ПАВ), и (или) BCF ≥ 500 (или при отсутствии данных log K _{ow} ≥ 4)
Примечание: *ErC ₅₀ – EC ₅₀ , определяемая по темпам роста. Классификация должна основываться на ErC ₅₀ . В обстоятельствах, когда тест-реакция для EC ₅₀ не указывается и не зарегистрировано никакого значения ErC ₅₀ , классификация должна основываться на самом низком имеющемся значении EC ₅₀ .	

В дополнение к показателям водной токсичности при формировании экологических критериев отнесения химических веществ к веществам,

вызывающим беспокойство, должны быть учтены их свойства стойкости, способности к биоаккумуляции и мобильности в окружающей среде. Учет данных характеристик обусловлен тем, что химические вещества, используемые в составе пластика, вследствие миграции могут сохраняться в окружающей среде в течение длительного времени, накапливаться в биоте и распространяться на далекие расстояния от источника загрязнения.

Поэтому нами были разработаны алгоритмы, в которых, в отличие от международных подходов, при оценке токсичности наряду с канцерогенностью, мутагенностью, репротоксичностью, избирательной токсичностью на органы-мишени (системы) при продолжительном воздействии и хронической водной токсичностью учитываются эндокринные эффекты.

Алгоритмы классификации по PBT, vPvB, PMT и vPvM построены по принципу последовательного принятия решений и основаны на этапном анализе соответствия вещества показателям стойкости (P), биоаккумуляции (B), мобильности (M) и токсичности (T) соответственно.

Во всех алгоритмах на первом этапе проводится анализ показателей стойкости вещества в окружающей среде. Вещество рассматривается как стойкое (P), если период его полураспада превышает установленные значения хотя бы в одной из сред: более 60 суток в морской воде, более 40 суток в пресной воде, более 180 суток в морских отложениях, более 120 суток в пресноводных отложениях или почве. Вещество рассматривается как высокостойкое (vP), если период его полураспада превышает более жесткие значения хотя бы в одной из сред: более 60 суток в пресной или морской воде либо более 180 суток в морских отложениях или пресноводных отложениях либо в почве. При отсутствии данных о периодах полураспада или при несоответствии показателям дальнейшая классификация не проводится, о чем свидетельствует решение «нет».

При подтверждении критерия стойкости выполняется второй этап, направленный на оценку способности вещества к биоаккумуляции или мобильности в зависимости от рассматриваемой группы.

Для классификации по группам РВТ и vPvB анализируется биоаккумуляция: вещество считается биоаккумулирующим (В), если фактор биоконцентрации или биоаккумуляции превышает 2000, а высокобиоаккумулирующим (vB) – при значениях более 5000 и (или) при $\log K_{ow} \geq 5$.

Для классификации по группам РМТ и vPvМ на втором этапе проводится оценка мобильности: вещество относится к мобильным (М) при значении $\log K_{oc} < 3$ (рН 4–9), а к высокомобильным (vМ) – при $\log K_{oc} < 2$. При отсутствии данных или их несоответствии показателям классификация не проводится и принимается решение «нет».

Третий этап, включающий анализ токсичности (Т), проводится только при соответствии критериям стойкости (Р) и биоаккумуляции (В) для РВТ либо мобильности (М) для РМТ.

Соответствие вещества критерию токсичности устанавливается по одному из следующих показателей: хроническая водная токсичность (NOEC или $EC_{x\%}$, например, EC_{10}) для морских или пресноводных организмов менее 0,01 мг/л; канцерогенное или мутагенное действие для зародышевых клеток (класс опасности 1А или 1В по СГС); репродуктивная токсичность (класс опасности 1А, 1В или 2 по СГС); избирательная токсичность для органов-мишеней и (или) систем при длительном воздействии (класс опасности 1 или 2 по СГС); воздействие на эндокринную систему, соответствующее 1 классу опасности по классификации, установленной в МР 1.2.0313-22 [108]. При отсутствии данных или их несоответствии показателям классификация не проводится и принимается решение «нет».

Вещество классифицируется как РВТ или РМТ при одновременном соответствии критериям стойкости, биоаккумуляции или мобильности и токсичности. Для отнесения к группам vPvB и vPvМ требуется подтверждение высокой стойкости и высокой биоаккумуляции или высокой мобильности соответственно; в этих случаях оценка токсичности может не проводиться, что соответствует международным подходам.

Разработанные алгоритмы, имеющие правовую охрану в форме промышленных образцов и размещенные в Приложениях 1–4, обеспечивают воспроизводимую и прозрачную процедуру отнесения веществ к соответствующим группам экологической опасности. Последовательность этапов и используемые пороговые значения представлены на рисунках 5–8.

Схема

«АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО КРИТЕРИЯМ СТОЙКОСТИ (Р), БИОАККУМУЛЯЦИИ (В), ТОКСИЧНОСТИ (Т)»

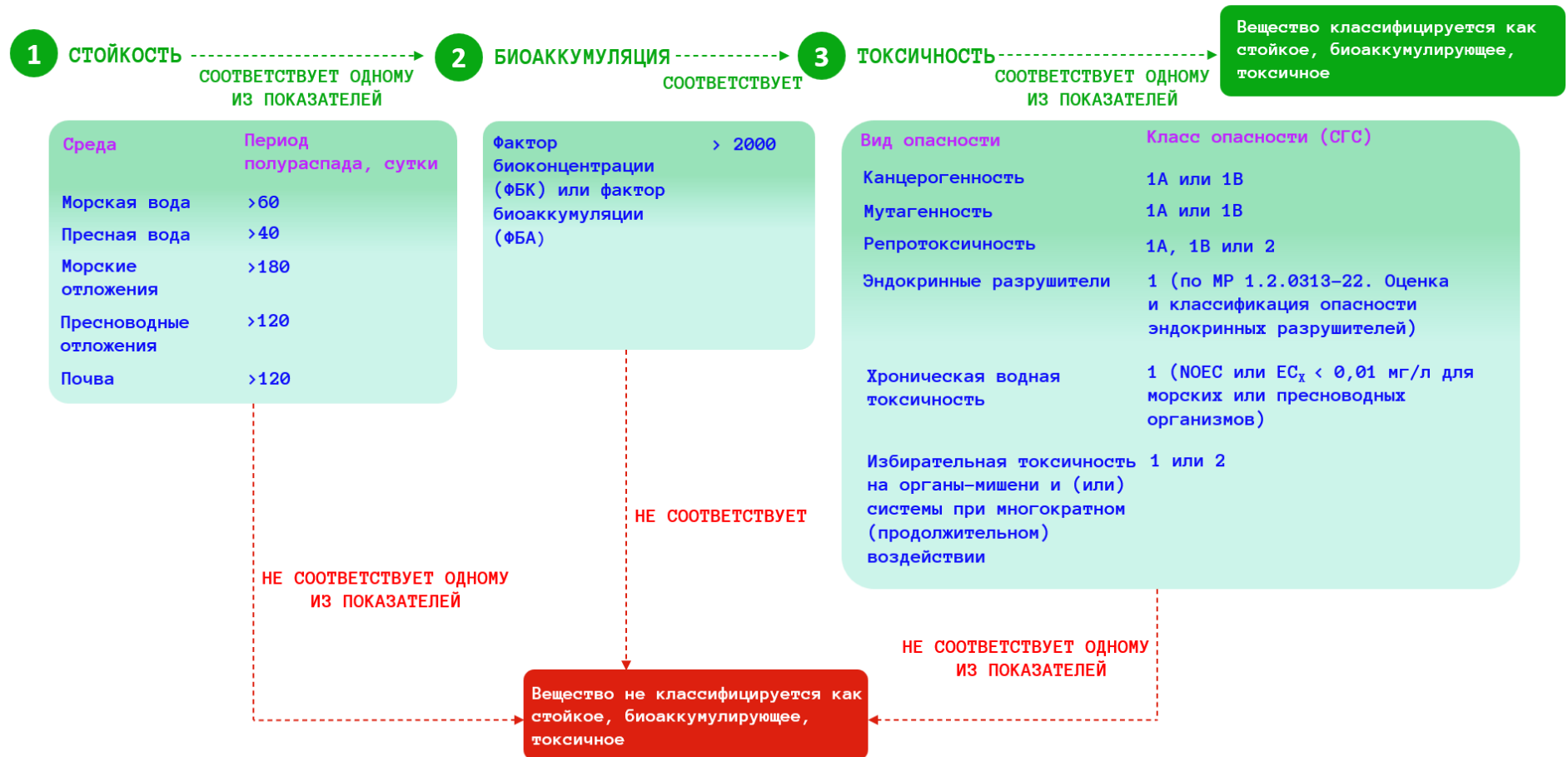


Рисунок 5 – Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), биоаккумуляции (В), токсичности (Т)»

Схема

«АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО КРИТЕРИЯМ ВЫСОКОЙ СТОЙКОСТИ (vP), ВЫСОКОЙ БИОАККУМУЛЯЦИИ (vB)»

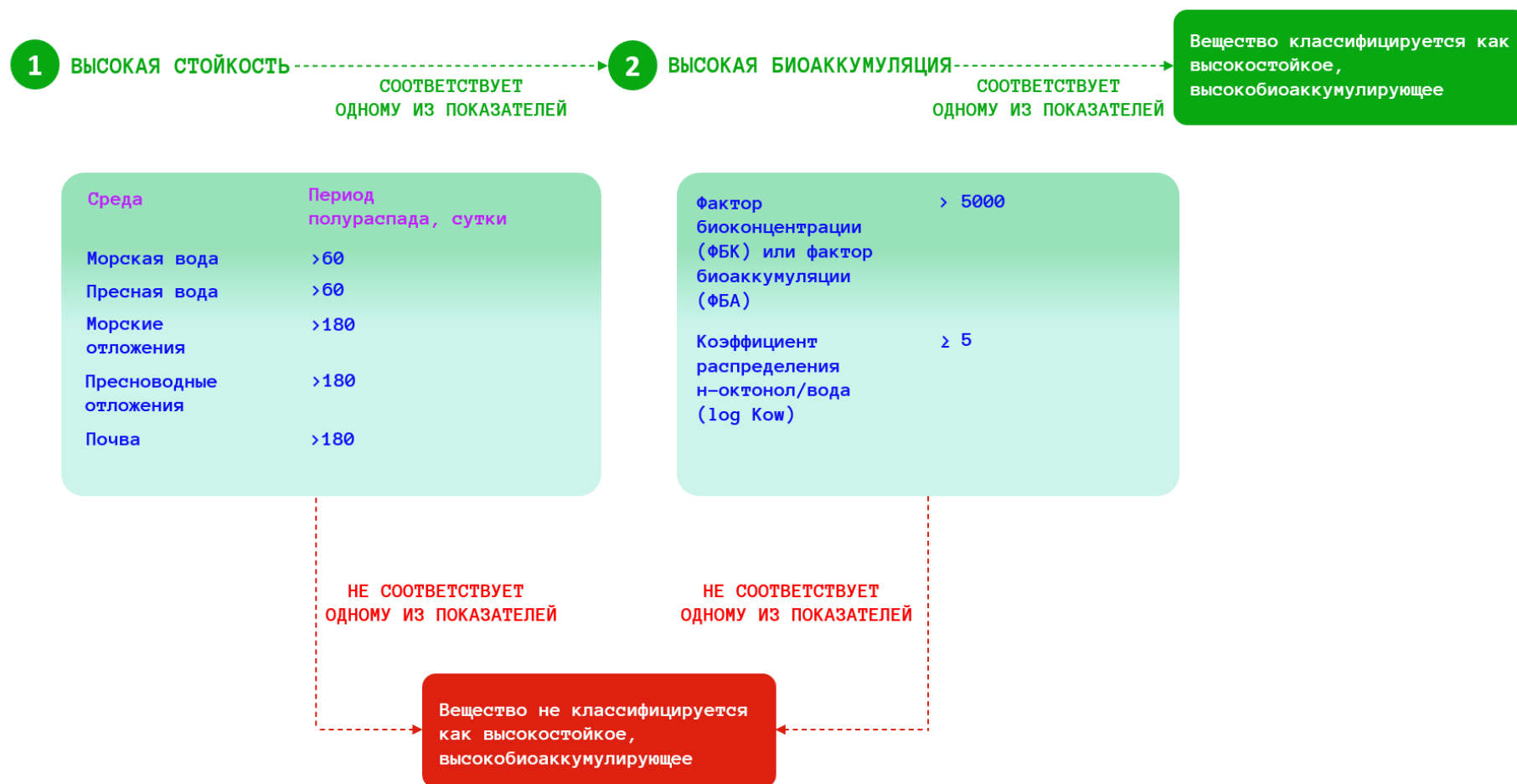


Рисунок 6 – Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (vP), высокой биоаккумуляции (vB)»

Схема

«АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО КРИТЕРИЯМ СТОЙКОСТИ (Р), МОБИЛЬНОСТИ (М), ТОКСИЧНОСТИ (Т)»

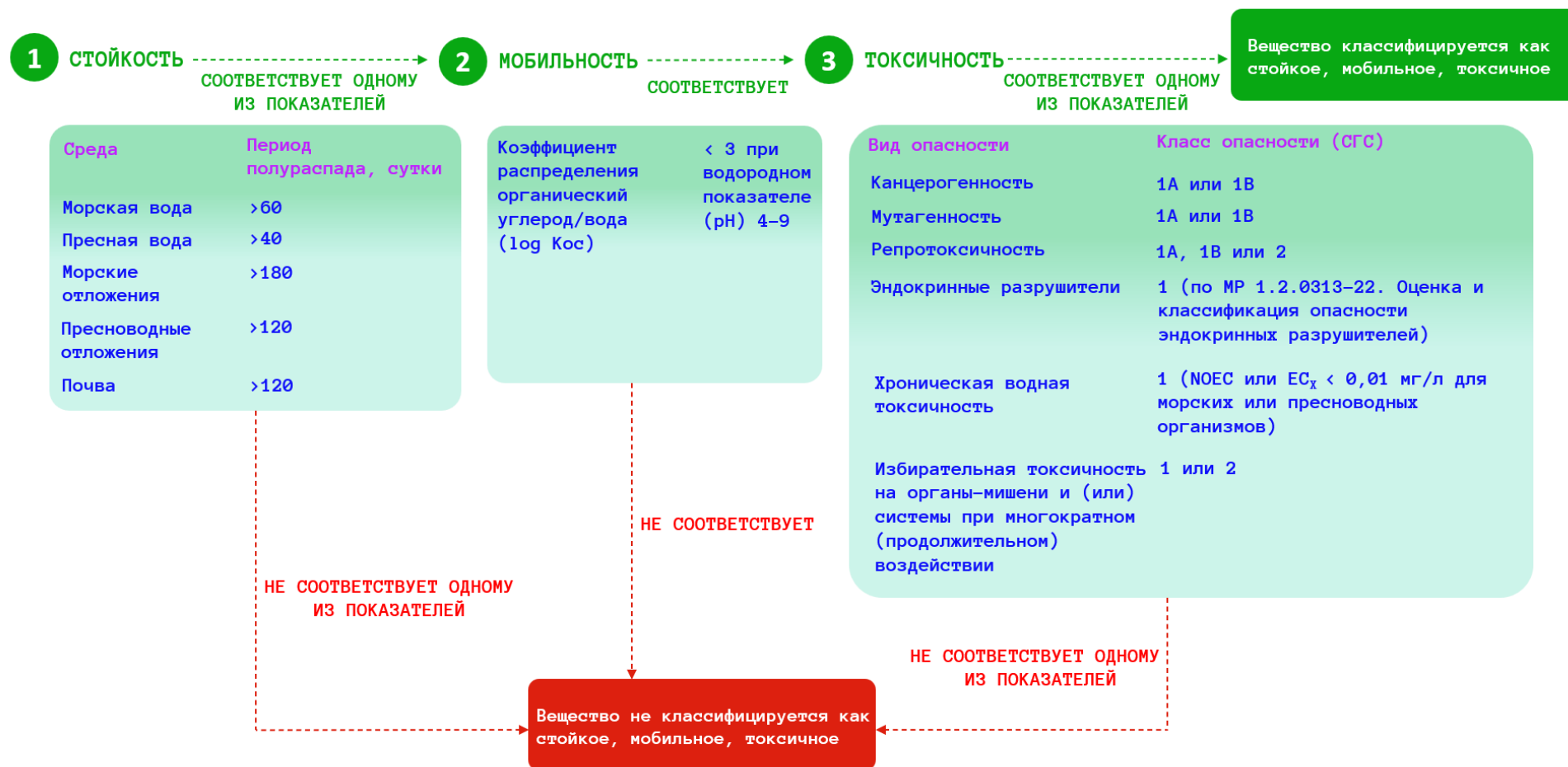


Рисунок 7 – Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), мобильности (М), токсичности (Т)»

Схема

«АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО КРИТЕРИЯМ ВЫСОКОЙ СТОЙКОСТИ (vP), ВЫСОКОЙ МОБИЛЬНОСТИ (vM)»

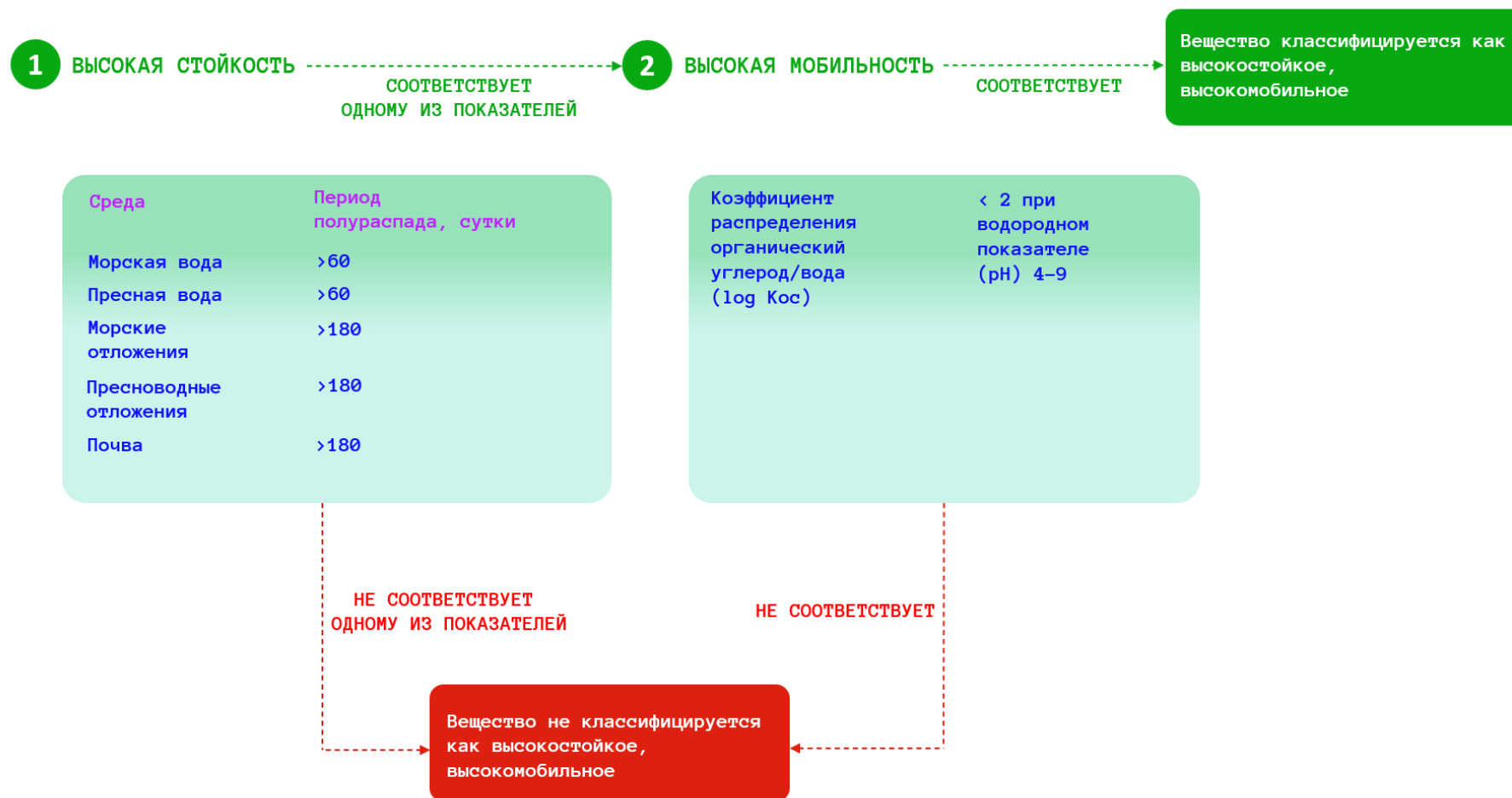


Рисунок 8 – Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (vP), высокой мобильности (vM)»

Таким образом, критериями отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство в составе пластика, являются:

1. Функциональное назначение и область применения вещества в составе пластика.

2. Биологическое действие вещества:

- канцерогены 1 и 2 классов опасности по СГС;
- мутагены 1 и 2 классов опасности по СГС;
- репротоксиканты 1 и 2 классов опасности по СГС;
- вещества, обладающие свойствами эндокринных разрушителей 1 и 2 классов опасности.

3. Экологические характеристики вещества:

- острая водная токсичность 1 класса опасности по СГС;
- хроническая водная токсичность 1 и 2 классов опасности по СГС;
- стойкость в окружающей среде;
- способность к биоаккумуляции;
- мобильность.

Глава 4. Научное обоснование алгоритма формирования перечня химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Критерии отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, высокоопасным для здоровья человека и окружающей среды, легли в основу алгоритма формирования перечня химических веществ, вызывающих обеспокоенность.

4.1. Формирование исходной выборки веществ-кандидатов в перечень веществ, вызывающих обеспокоенность с учетом применения в пластике

Основой для формирования исходной выборки веществ-кандидатов послужила база данных PlastChem [100], содержащая 16 325 веществ и сформированная путем объединения перечней опасных веществ из Стокгольмской [13], Базельской [15], Минаматской [16] конвенций, перечня ЮНЕП [33] и Регламента ЕС REACH [17]. Из базы данных PlastChem были отобраны вещества, для которых имелись подтвержденные сведения об использовании в составе пластика и о функциональном назначении в полимерном материале. По результатам было отобрано 2 381 вещество, используемое в качестве пластификаторов, антипиренов, антистатиков, сшивателей, смазочных веществ, наполнителей и модификаторов, красителей и пигментов, антиоксидантов, стабилизаторов (включая термо- и светостабилизаторы), биоцидов, инициаторов и катализаторов полимеризации, промежуточных продуктов и технологических добавок, пенообразователей, растворителей и вспомогательных реагентов, мономеров, веществ, придающих запах, регуляторов вязкости и ударопрочности.

4.2. Оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека и окружающей среды

Ключевым этапом формирования перечня являлась оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека и окружающей среды. Наличие хотя бы одного установленного опасного свойства рассматривалось в работе как основание для отнесения вещества к химическим веществам, вызывающим беспокойство в составе пластика. Оценка проводилась последовательно по двум направлениям: опасные свойства для здоровья человека и опасные свойства для окружающей среды.

Источниками информации для токсикологической оценки веществ-кандидатов служили монографии МАИР [105], МР 1.2.0378-25 «Оценка и классификация опасности мутагенов» [106], МР 1.2.0321-23 «Оценка и классификация опасности репродуктивных токсикантов» [107], МР 1.2.0313-22 «Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей» [108], АРИПС «Опасные вещества» Российского регистра потенциально опасных химических и биологических веществ [103], материалы Стокгольмской конвенции о СОЗ [13], Регламенты ЕС REACH [17] и CLP [104], научные статьи высокорейтинговых журналов.

Для разработки экотоксикологических профилей использовались АРИПС «Опасные вещества» Российского регистра потенциально опасных химических и биологических веществ [103], материалы Стокгольмской конвенции о СОЗ [13], Регламенты Европейского союза REACH [17] и CLP [104], базы данных EnviChem [113], материалы Агентства по окружающей среде ФРГ (UBA) [115], научные статьи высокорейтинговых журналов.

4.2.1. Оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека

Оценка опасности веществ-кандидатов для здоровья человека осуществлялась по приоритетным критериям опасности химических веществ: канцерогенному, мутагенному, репротоксическому действию, способности воздействовать на эндокринную систему.

Для идентификации канцерогенов выборка из 2 381 вещества сопоставлялась со списками веществ, обладающих канцерогенным потенциалом, представленными в монографиях МАИР [105] и Регламенте (ЕС) № 1272/2008 (CLP) [104]. По каждому выявленному потенциальному канцерогену из списка кандидатов формировался токсикологический профиль, включавший идентификационные сведения о веществе (наименование по ИЮПАК, номер CAS), данные о классификации опасности, результаты исследований на животных и (или) эпидемиологических наблюдений на людях. На основании токсикологического профиля осуществлялась экспертная оценка данных и классификация в соответствии с критериями СГС. Распределение химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика, по видам опасного воздействия на здоровье человека и классам опасности представлено на рисунке 9. В результате исследований к канцерогенам было отнесено 358 веществ, в том числе 39 веществ класса опасности 1А, 177 веществ класса опасности 1В и 142 вещества класса опасности 2. К классу 1А относятся преимущественно соединения тяжелых металлов (шестивалентный хром, кадмий, мышьяк), азокрасители, бензол, к классу опасности 1В – неорганические соединения свинца, производные анилина, гидразина, к классу опасности 2 – органические соединения свинца, карбаматы, короткоцепочечные хлорированные парафины.

Для оценки мутагенного, репродуктивного и эндокринного действия использовались национальные перечни мутагенов, репротоксикантов и эндокринных разрушителей, представленные в официальных документах [106–108]. Следует подчеркнуть, что указанные перечни сформированы на основе токсикологических профилей, включающих систематизированные сведения о характере и механизмах биологического действия, а также результатах экспериментальных и эпидемиологических исследований. Сравнительный анализ перечня веществ-кандидатов с утвержденными списками супертоксикантов позволил выявить 71 вещество, обладающее мутагенным действием, в том числе 31 вещество класса опасности 1В (соединения шестивалентного хрома, кадмия, бензол, бенз[а]пирен) и 40 веществ класса опасности 2 (анилин и его производные,

фенол, оловоорганические соединения); 229 репротоксикантов: класса опасности 1 – 64 (ртуть и ее органические соединения, бензол, соединения сурьмы, бария, ароматические углеводороды), класса опасности 1А – 41 (соединения свинца), класса опасности 1В – 59 (фталаты, фосфорорганические соединения, соединения кадмия, ПФАС) и класса опасности 2 – 65 (нитросоединения, соединения меди, оловоорганические соединения); а также 181 вещество, относящееся к эндокринным разрушителям, из них 1 вещество отнесено к классу опасности 1А (бисфенол А), 98 – к классу опасности 1В (фталаты, соединения свинца, ПФАС, оловоорганические соединения) и 82 – к классу опасности 2 (ароматические углеводороды, соединения шестивалентного хрома, амины).

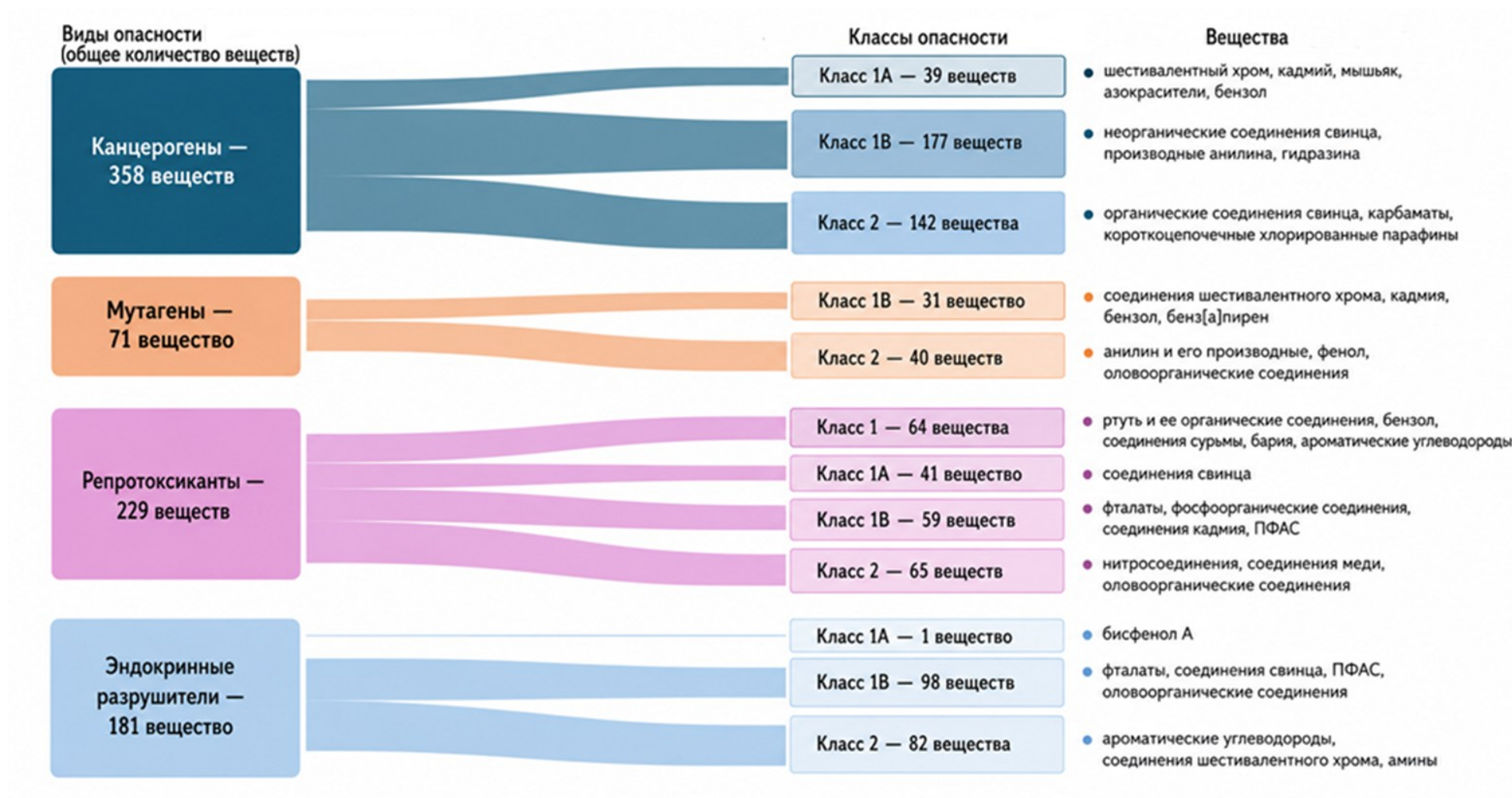


Рисунок 9 – Распределение химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика, по видам и классам опасности для здоровья человека

4.2.2. Оценка опасности веществ-кандидатов для окружающей среды

На следующем этапе проводилась оценка экологической опасности веществ-кандидатов. В качестве основных критериев рассматривались показатели острой и хронической токсичности для представителей водной биоты, а также стойкости, биоаккумуляции и мобильности.

Выборка из 2 381 вещества сопоставлялась с перечнями веществ, обладающих водной токсичностью, представленными в Регламенте (ЕС) № 1272/2008 (CLP) [104], а также с перечнями PBT, vPvB, PMT и vPvM, сформированными на основе материалов ECHA [109], UBA [115], EnviChem [113], PubChem [114] и документов Стокгольмской конвенции [13, 154].

Для оценки опасности веществ по экологическим критериям были сформированы экотоксикологические профили, включавшие идентификационные сведения (наименование по ИЮПАК, номер CAS), данные о растворимости вещества в воде, коэффициенте распределения октанол-вода, а также ключевые показатели экотоксичности для представителей водной биоты, такие как LC_{50} , EC_{50} , $NOEC$ и EC_{10} при различной продолжительности экспозиций. Дополнительно учитывались сведения о биоразлагаемости, факторе биоаккумуляции и иных параметрах, характеризующих способность вещества к накоплению и длительному сохранению в экосистемах. На основе сформированных профилей выполнялась классификация веществ по острой и хронической водной токсичности, а также их отнесение к PBT, vPvB, PMT и vPvM в соответствии с критериями, обоснованными в главе 3.

В результате проведенных исследований установлено, что 335 веществ обладают острой водной токсичностью 1 класса опасности (соединения тяжелых металлов, полициклические ароматические углеводороды, амины), 361 вещество – хронической водной токсичностью 1 класса опасности (соединения тяжелых металлов, амины, полициклические ароматические углеводороды, алкилфенолы) и 128 веществ – хронической водной токсичностью 2 класса опасности (хлорбензолы, жирные спирты). Кроме того, выявлено 41 вещество,

соответствующее критериям РВТ (полициклические ароматические углеводороды, ПФАС, короткоцепочечные хлорированные парафины), 89 веществ – vPvB (ПФАС, бромированные углеводороды), 37 веществ – РМТ (ПФАС, бромированные и хлорированные углеводороды) и 40 веществ – vPvМ (ПФАС, диамины, бромированные и хлорированные углеводороды) (рисунок 10). Анализ сочетаний указанных свойств показал, что экологическая опасность часто имеет комбинированный характер и включает не только токсичность для водных организмов, но и признаки, указывающие на способность вещества длительно сохраняться и переноситься в окружающей среде.

Полученные результаты были систематизированы в базе данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика», защищенной свидетельством о государственной регистрации № RU 2025622946 (Приложение 5). Интерфейс базы данных представлен на рисунке 11.

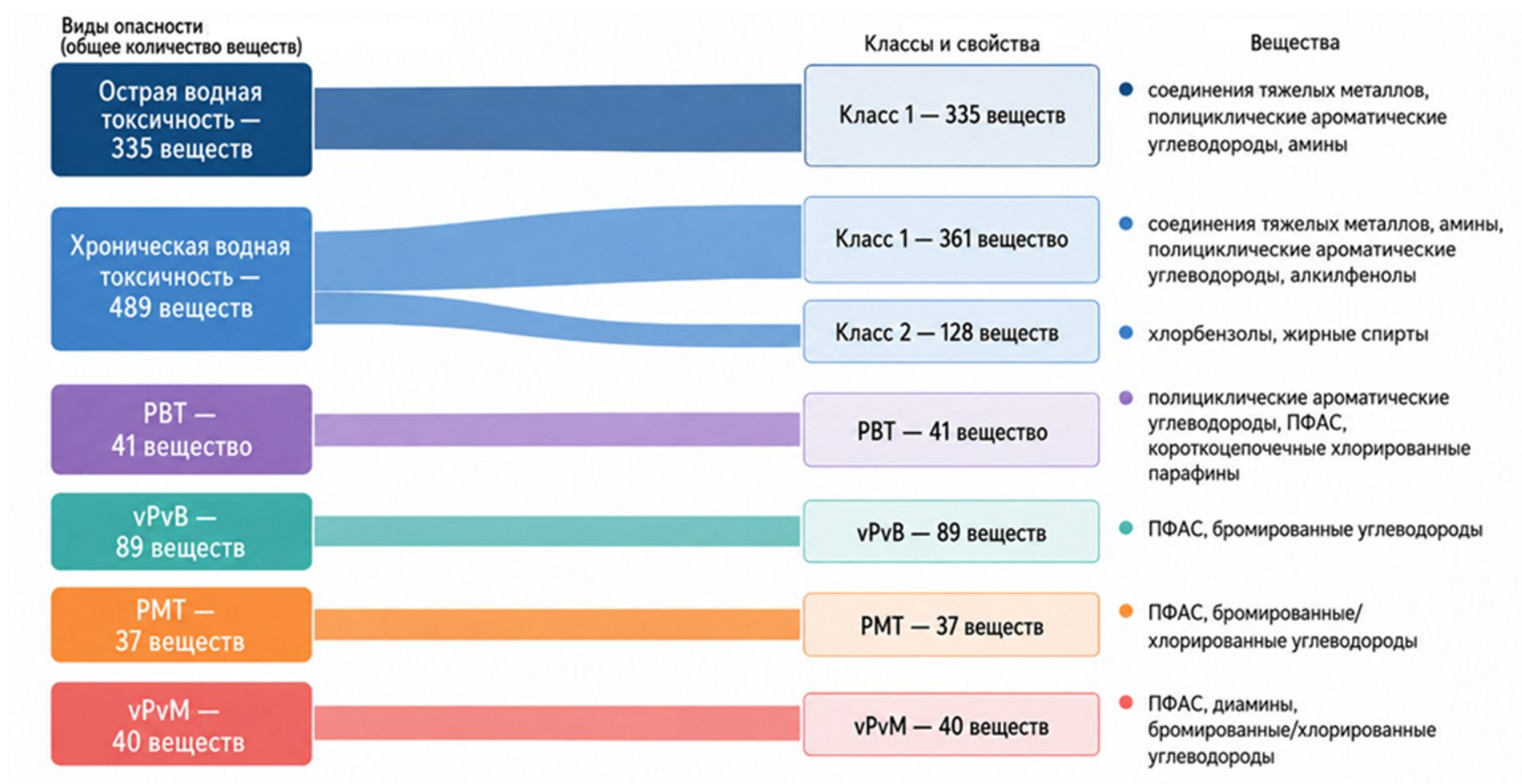


Рисунок 10 – Распределение химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика, по воздействию на окружающую среду

Каждая строка в базе данных представляет собой экотоксикологический профиль конкретного химического вещества и включает следующие разделы:

1) Идентификационный раздел:

- порядковый номер вещества;
- наименование вещества по ИЮПАК;
- регистрационный номер CAS.

2) Физико-химические показатели:

- растворимость в воде при 20 °C, мг/л;
- коэффициент распределения октанол/вода ($\log K_{ow}$).

3) Показатели токсичности для представителей водной биоты:

- показатели водной токсичности для рыб: значения LC, NOEC, вид тест-объекта, время экспозиции;
- показатели водной токсичности для беспозвоночных: значения EC, NOEC, вид тест-объекта, время экспозиции;
- показатели водной токсичности для водорослей: значения EC (ErC), NOEC, вид тест-объекта, время экспозиции;
- данные о биоразлагаемости вещества в воде;
- фактор биоаккумуляции и (или) биоконцентрации (ФБА и (или) ФБК);
- класс опасности по острой водной токсичности в соответствии с СГС;
- класс опасности по хронической водной токсичности в соответствии с СГС.

4) Раздел оценки стойкости, биоаккумуляции, мобильности и токсичности:

- сведения о стойкости вещества в окружающей среде;
- сведения о биоаккумуляции;
- сведения о мобильности вещества;
- сведения о токсичности вещества.

Идентификаторы			Физико-химические показатели		Токсичность для представителей водной биоты							Стоимость (P), биоаккумуляция (B), мобильность (M), токсичность (T)						
№	Наименование по IUPAC	CAS	Растворимость в воде при 20 °C, мг/л	Коэффициент распределения октанол/вода (Log Kow)	Показатели водной токсичности для рыб (CL(EC), NOEC (мг/л), вид, время экспозиции (ч))	Показатели водной токсичности для беспозвоночных (CL(EC), NOEC (мг/л), вид, время экспозиции (ч))	Показатели водной токсичности для водорослей (CL(EC), NOEC (мг/л), вид, время экспозиции (ч))	Данные о биоразлагаемости в воде	Фактор биоаккумуляции и/или биоконцентрации (ФБА/ФБК)	Класс опасности по острой водной токсичности в соответствии с СГС	Класс опасности по хронической водной токсичности в соответствии с СГС	Данные о стойкости (P), биоаккумуляции (B), мобильности (M) и токсичности (T) химического вещества	PBT	vPvB	PMT	vPvM		
34	1,6-Дибутилгексаноат	105-99-7	36	4,17	CL50 3,64 мг/л, Pimephales promelas (Толстоголовый чёрный), 96 ч	NOEC 1,5 мг/л, 21 день	NOEC 2 мг/л, Raphidocealis subcapitata, 72 ч	Легкобиоразлагаемое (90%, 14 дней, O2)	12,55			2						
35	Метил-1Н-бензимидазол-2-илкарбамат	10805-21-7	7-29	1,4-1,5	CL50 0,36 мг/л, Salmo gairdneri (Форель радужная), 96 ч; CL50 0,61 мг/л, Cyprinus carpio (Сазан), 96 ч	CL50 0,46 мг/л, 48 ч; EC50 0,15 мг/л, 48 ч	EC50 0,34 мг/л, Chlorella pyrenoidosa (Хлорелла/зеленые водоросли), 48 ч; EC50 1,3 мг/л, Pseudokirchneriella subcapitata (Зеленые), 72 ч	Нелегкобиоразлагаемое	-	1	1	-						
36	4,6(или 2,6)-Био(метилтио)-2(или 4)-метил-1,3-бензолдиамин	106284-79-3	162-298	2,5-2,63	CL50 7,3 мг/л, Rainbow trout (Минка), 96 ч; CL50 16,9 мг/л, Oncorhynchus mykiss (Форель радужная), 96 ч	EC50 0,9 мг/л, 48 ч	EC50 3,28 - 7,6 мг/л, Desmodesmus subspicatus (Зеленые водоросли), 72 ч; EC50 3,3 - 4,8 мг/л, Selenastrum capricornutum (Зеленые водоросли), 72 ч	Нелегкобиоразлагаемое (0%, 28 д.)	-	1	1	-						
37	1,4-Дихлорбензол	106-46-7	51,2-82,9	3,37	CL50 1,12 мг/л, Salmo gairdneri (Радужная форель), 96 ч; CL50 3,6 - 33,7 мг/л, Pimephales promelas, 96 ч; CL50 4,28 мг/л, Lepomis macrochirus (Синеклаберный солнечник), 96 ч	EC50 0,7 мг/л, 48 ч; CL50 2,2 - 11 мг/л, 48 ч; NOEC 0,22 мг/л, 28 дней	EC50 31 мг/л, Scenedesmus pannonicus, 72 ч; EC50 98,1 мг/л, Selenastrum capricornutum, 96 ч	Легкобиоразлагаемое	296	1	-	-						
38	4-Хлоранилин	106-47-8	3900	1,87	CL50 37,7 мг/л, Oryzias latipes (Японская орхизия), 96 ч	CL50 0,05 мг/л, 48 ч	EC50 2,2 мг/л, Desmodesmus subspicatus, 72 ч; EC50 2,8 мг/л, Desmodesmus subspicatus, 96 ч	Нелегкобиоразлагаемое	-	1	1	1	P: расчетный период полураспада (1/2) 78 дней, совокупность доказательств (данное исследование) на основе всех известных QSAR и большинства тестов на биодegradацию, например, Руководство OECD 301 D (Готовая биодegradуемость: Тест в закрытой бутылке); Руководство OECD 301 D (Готовая биодegradуемость: Тест в закрытом сосуде). M: log Kow 1,5. T: канцероген 2 класс опасности, эндокринный разрушитель 2 класс опасности, токсичен для представителей водной биоты с краткосрочной (1 класс опасности) и хронической (1 класс опасности) воздействием.				1	2
39	1,4-Фенилендиамин	106-50-3	31000	(-0,3)-0,39	CL50 3,9 мг/л, Salmo gairdneri (Форель радужная), 96 ч;	EC50 0,15 - 0,28 мг/л, 48 ч	EC50 0,27 мг/л, Selenastrum capricornutum (Зеленые водоросли), 72 ч	Нелегкобиоразлагаемое	-	1	1	-						

Рисунок 11 – Интерфейс базы данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика»

Представленные в базе данных сведения о стойкости (Р), биоаккумуляции (В), мобильности (М) и токсичности (Т) позволили отнести вещества к РВТ, vPvB, РМТ и vPvM.

Таким образом, в результате проведения двух последовательных этапов оценки веществ-кандидатов по опасным свойствам для здоровья человека и окружающей среды был сформирован итоговый перечень веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, состоящий из 857 веществ.

4.3. Вещества в составе пластика, представляющие комбинированную опасность для здоровья человека и окружающей среды

Особого внимания при регулировании требуют вещества, для которых одновременно установлены опасные свойства как для здоровья человека, так и для окружающей среды. К ним относятся следующие группы, представленные в таблице 4: амины, диамины, азиновые, азо- и родственные азотсодержащие органические соединения; тяжелые металлы; фенолы, бисфенолы и фталаты; галогенированные углеводороды; пер- и полифторалкильные соединения.

Проведенный анализ показал, что в группе веществ, одновременно опасных для здоровья человека и окружающей среды, наибольшую долю составляют тяжелые металлы и их соединения – 123 вещества. В их числе соединения свинца представлены 40 веществами, ртути – 17, хрома – 17, олова – 13, кадмия – 12, меди – 7, цинка – 7, мышьяка – 5, кобальта – 2, никеля – 1, сурьмы – 1 и ванадия – 1, данные о которых представлены в таблице 5.

Они характеризуются комбинированной опасностью для здоровья человека и окружающей среды, обладая канцерогенными, мутагенными, репротоксическими и эндокринно-разрушающими свойствами, а также острой и хронической водной токсичностью преимущественно 1 класса опасности. В технологическом отношении тяжелые металлы и их соединения выполняют в составе пластика широкий спектр функций, включая использование в качестве стабилизаторов,

пигментов, катализаторов, наполнителей, смазочных материалов, сшивающих агентов и иных технологических добавок.

Таблица 4 – Внутрикласовое распределение веществ по профилям опасности

Химический класс	Всего веществ в классе	Одновременно опасные для здоровья человека и окружающей среды, %	Преимущественно опасные для здоровья человека, %	Преимущественно опасные для окружающей среды, %
Азотсодержащие органические соединения, в т.ч. азо- и азиновые соединения и красители	192	14,1	44,8	41,1
Тяжелые металлы	123	67,7	22,0	10,2
Фенолы, бисфенолы, фталаты и другие кислородсодержащие ароматические соединения	80	27,5	22,5	50,0
Галогенированные органические соединения	59	59,3	16,9	23,7
Пер- и полифторалкильные соединения (ПФАС)	38	13,2	0,0	86,8

Рассматриваемая группа не связана с каким-либо одним видом полимера или одной сферой применения. Напротив, тяжелые металлы и их соединения встречаются в большинстве полимеров, включая полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и поликарбонат, которые используются в производстве различных видов продукции: строительных, отделочных и электротехнических материалов, упаковки, мебели, текстиля, игрушек и изделий, контактирующих с пищевой продукцией.

Таблица 5 – Характеристика тяжелых металлов и их соединений, включенных в перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Наименование тяжелых металлов	Опасность для здоровья человека	Опасность для окружающей среды	Область применения
Свинец и его соединения	K1B (для неорганических веществ), P1A, ЭP1B	ОВТ1, ХВТ1	<i>Функциональное назначение:</i> стабилизаторы, пигменты, антиоксиданты, смазочные материалы, сшиватели <i>Сферы применения:</i> автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, бытовые предметы, мебель, упаковка, текстиль, игрушки <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПК, ПЭТ
Ртуть и ее соединения	K2 (ртутьорганические), P1	ОВТ1, ХВТ1	<i>Функциональное назначение:</i> катализаторы <i>Сферы применения:</i> строительство, электрическое и электронное оборудование, упаковка <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПЭТ
Хром и его соединения	M1B, ЭP2 (Cr ⁶⁺)	ОВТ1, ХВТ1	<i>Функциональное назначение:</i> красители, сшиватели, наполнители, промежуточные продукты <i>Сферы применения:</i> автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, бытовые товары, мебель, текстиль, игрушки <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТ, ПК
Олово и его соединения	P2, ЭP1B	ОВТ1, ХВТ1	<i>Функциональное назначение:</i> катализаторы, красители, сшиватели, наполнители, инициаторы, промежуточные продукты, стабилизаторы, смазочные материалы <i>Сферы применения:</i> автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, бытовые предметы, мебель и текстиль, игрушки <i>Виды полимеров:</i> ПВХ, ПЭТ
Кадмий и его соединения	K1B, M1B и M2, P1B и P2, ЭP1B	ОВТ1, ХВТ1	<i>Функциональное назначение:</i> биоциды, катализаторы, красители, сшиватели, наполнители, термостабилизаторы, светостабилизаторы, технологические добавки <i>Сферы применения:</i> сельское хозяйство, автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, бытовые предметы, мебель, упаковка, текстиль, игрушки <i>Виды полимеров:</i> ПЭТ, ПК, ПП, ПЭ, ПС

Продолжение таблицы 5

Медь и ее соединения	P2	ОВТ1, ХВТ1	Функциональное назначение: биоциды, катализаторы, красители, наполнители, промежуточные продукты, смазочные материалы, технологические добавки Сферы применения: сельское хозяйство, автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, пластики, контактирующие с пищевыми продуктами, бытовые предметы, мебель, упаковка, текстиль, игрушки Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТ, ПК
Цинк и его соединения	P1B	ОВТ1, ХВТ1 и ХВТ2	Функциональное назначение: биоциды, красители, наполнители, стабилизаторы, промежуточные продукты, смазочные материалы, технологические добавки Сферы применения: строительство, бытовые товары, мебель, упаковка, текстиль, игрушки Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПЭТ, ПВХ, ПС
Мышьяк и его соединения	K1A (для неорганических веществ), P1	ОВТ1, ХВТ1	Функциональное назначение: биоциды, красители, сшиватели, наполнители Сферы применения: сельское хозяйство, автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, бытовые предметы, мебель, текстиль, игрушки Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПЭТ, ПВХ, ПС, ПК
Кобальт и его соединения	M2, K2, P1B	ХВТ1	Функциональное назначение: катализаторы, красители, сшиватели, наполнители, инициаторы, промежуточные продукты, смазочные материалы, технологические добавки Сферы применения: автомобилестроение, электрическое и электронное оборудование, текстиль Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПЭТ, ПС, ПК
Никель и его соединения	K1A, P1B	-	Функциональное назначение: катализаторы, красители, наполнители, промежуточные продукты, смазочные материалы, технологические добавки Сферы применения: автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, пластики, контактирующие с пищевыми продуктами, бытовые предметы и др. Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПЭТ, ПС, ПВХ, ПК
Сурьма и ее соединения	P1	-	Функциональное назначение: красители, наполнители, технологические добавки Сферы применения: автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, пластики, контактирующие с пищевыми продуктами, бытовые предметы, мебель, упаковка, текстиль, игрушки Виды полимеров: ПЭ, ПП, ПЭТ, ПС, ПВХ, ПК
диВанадий пентаоксид	K2, M2, P2	ХВТ1	Функциональное назначение: антиоксидант, катализатор, краситель, сшиватель, инициатор, промежуточный продукт, технологическая добавка Сферы применения: автомобилестроение, строительство, текстиль
Примечание: K1A, K1B, K2 – канцерогенность классов опасности 1A, 1B и 2; M1B, M2 – мутагенность классов опасности 1B и 2; P1, P1A, P1B, P2 – репродуктивная токсичность классов опасности 1, 1A, 1B и 2; ЭР1B, ЭР2 – эндокринно-разрушающие свойства классов опасности 1B и 2; ОВТ1 – острая водная токсичность 1 класса опасности; ХВТ1, ХВТ2 – хроническая водная токсичность классов опасности 1 и 2; ПЭ – полиэтилен; ПП – полипропилен; ПС – полистирол; ПВХ – поливинилхлорид; ПК – поликарбонат; ПЭТ – полиэтилентерефталат.			

Комбинированной опасностью обладают галогенированные углеводороды, включающие бромированные антипирены – 35 веществ; амины, диамины, азиновые, азо- и родственные азотсодержащие органические соединения – 27 веществ; фенолы, бисфенолы и их производные – 22 вещества. Характеристики подгрупп азот-, кислород- и галогенсодержащих органических соединений, включенных в перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика, представлены в таблицах 6–8.

Для галогенированных органических соединений, как и для тяжелых металлов и для других приоритетных веществ, обладающих комбинированной опасностью, характерны канцерогенные, мутагенные, репродуктивные и эндокринно-разрушающие свойства, а также выраженная острая и хроническая водная токсичность. В технологическом отношении данные вещества выполняют в составе пластика функции антипиренов, растворителей, мономеров, промежуточных продуктов, модификаторов свойств и технологических добавок. Они могут присутствовать в полиэтилене, полипропилене, полистироле, поливинилхлориде, полиэтилентерефталате, поликарбонате и других полимерных материалах, а также в строительной продукции, электрическом и электронном оборудовании, текстиле, упаковке, мебели, игрушках и бытовых изделиях.

Таблица 6 – Характеристика подгрупп азотсодержащих органических соединений, включенных в перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Подгруппа	Наиболее характерные опасные свойства	Область применения	Примеры веществ
Ароматические амины и диамины	Канцерогенность, мутагенность, репродуктивная токсичность; для части веществ – эндокринно-разрушающие свойства и хроническая водная токсичность	<i>Функциональное назначение:</i> красители, антиоксиданты, промежуточные продукты, технологические добавки, сшиватели. <i>Сферы применения:</i> упаковка, текстиль, автомобилестроение, строительство, электрическое и электронное оборудование, пластики, контактирующие с пищевой продукцией <i>Виды полимеров:</i> ПА, ПЭТ, ПУР, ПВХ, ПК	Анилин (CAS 62-53-3), 4-хлоранилин (CAS 106-47-8), 4,4'-оксибисбензоламин (CAS 101-80-4), 4,4'-метиленбисбензоламин (CAS 101-77-9), 4,4'-метиленбис(2-хлорбензоламин) (CAS 101-14-4)
Азосоединения и азокрасители	Канцерогенность, для части веществ – мутагенность и репродуктивная токсичность; хроническая водная токсичность; дополнительный риск связан с возможным образованием ароматических аминов	<i>Функциональное назначение:</i> красители, пигментные компоненты, технологические добавки. <i>Сферы применения:</i> текстиль, упаковка, игрушки, бытовые изделия, электрическое и электронное оборудование <i>Виды полимеров:</i> ПА, ПЭТ, ПУР, АБС, ПК	4-Аминоазобензол (CAS 60-09-3), краситель прямой черный 38 (CAS 1937-37-7), краситель прямой синий 6 (CAS 2602-46-2)

Продолжение таблицы 6

Алифатические амины, аминспирты и амиды	Для части веществ – репродуктивная токсичность и эндокринно-разрушающие свойства; для многих представителей – острая и хроническая водная токсичность	<i>Функциональное назначение:</i> технологические добавки, антистатики, смазочные материалы, промежуточные продукты, мономерные и вспомогательные компоненты. <i>Сферы применения:</i> упаковка, пластики, контактирующие с пищевой продукцией, текстиль, строительство, электрическое и электронное оборудование <i>Виды полимеров:</i> ПВХ, ПЭТ, ПА, ПК, ПУР	2-Аминоэтанол (CAS 141-43-5), 2-[бис(2-гидроксиэтил)амино]этанол (триэтаноламин) (CAS 102-71-6), N,N-диметилдодециламин (CAS 112-18-5), додекан-1-амин (CAS 124-22-1), N,N-диметилацетамид (CAS 127-19-5), N,N-диметилформамид (CAS 68-12-2)
Азотсодержащие гетероциклические соединения	Канцерогенность, мутагенность и репродуктивная токсичность для части веществ	<i>Функциональное назначение:</i> стабилизаторы, биоциды, промежуточные продукты, технологические добавки. <i>Сферы применения:</i> упаковка, текстиль, электрическое и электронное оборудование, бытовые изделия <i>Виды полимеров:</i> ПА, ПЭТ, ПУР, ПК, ПАН	Пиридин (CAS 110-86-1), морфолин (CAS 110-91-8), пиперазин (CAS 110-85-0), 1H-имидазол (CAS 288-32-4), капролактамы (азепан-2-он) (CAS 105-60-2)
Примечание: приведенные подгруппы отражают основное ядро азотсодержащих химических веществ, вызывающих обеспокоенность; часть азотсодержащих веществ в общей выборке 857 веществ может быть отнесена к смежным классам (например, изоцианаты и серо- и азотсодержащие гетероциклы). ПА – полиамид, ПЭТ – полиэтилентерефталат, ПУР – полиуретан, ПВХ – поливинилхлорид, ПК – поликарбонат, АБС – акрилонитрил-бутадиен-стирол, ПАН – полиакрилонитрил.			

Таблица 7 – Характеристика подгрупп кислородсодержащих органических соединений, включенных в перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Подгруппа	Наиболее характерные опасные свойства	Область применения	Примеры веществ
Фенолы и их производные	Для части веществ характерны репродуктивная токсичность, эндокринно-разрушающие свойства, острая и хроническая водная токсичность	<i>Функциональное назначение:</i> антиоксиданты, стабилизаторы, УФ-стабилизаторы, промежуточные продукты, технологические добавки. <i>Сферы применения:</i> упаковка, строительные материалы, бытовые изделия, электрическое и электронное оборудование, текстиль, игрушки. <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТ, ПК	Фенол (CAS 108-95-2), 2-метилфенол (о-крезол) (CAS 95-48-7), 4-метилфенол (п-крезол) (CAS 106-44-5), 4-октилфенол (CAS 1806-26-4), 4-нонилфенол (CAS 104-40-5), 2,6-ди-трет-бутилфенол (CAS 128-39-2), 2,4-ди-трет-амилфенол (CAS 120-95-6)
Бисфенолы	В наибольшей степени характерны эндокринно-разрушающие свойства; для части представителей – репродуктивная токсичность и опасность для водной среды	<i>Функциональное назначение:</i> мономеры, исходные компоненты для синтеза поликарбонатов и эпоксидных смол, технологические добавки. <i>Сферы применения:</i> пластики, контактирующие с пищевой продукцией, упаковка, электрическое и электронное оборудование, бытовые изделия. <i>Виды полимеров:</i> ПК, эпоксидные полимеры, композиционные материалы, покрытия	Бисфенол А (CAS 80-05-7), бисфенол F (CAS 620-92-8), бисфенол S (CAS 80-09-1), бисфенол AF (CAS 1478-61-1)
Фталаты	Наиболее характерны репродуктивная токсичность и эндокринно-разрушающие свойства; для части представителей – хроническая водная токсичность	<i>Функциональное назначение:</i> пластификаторы. <i>Сферы применения:</i> автомобилестроение, упаковка, строительные изделия, искусственная кожа, кабельные материалы, текстиль, игрушки, мебель. <i>Виды полимеров:</i> прежде всего ПВХ, а также ряд композиционных и полимерных покрытий	Дибутилфталат (CAS 84-74-2), бутилбензилфталат (CAS 85-68-7), диизобутилфталат (CAS 84-69-5), диоктилфталат (CAS 117-81-7)

Таблица 8 – Характеристика подгрупп галогенированных органических соединений, включенных в перечень химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Подгруппа	Наиболее характерные опасные свойства	Область применения	Примеры веществ
Бромированные антипирены	Для части веществ характерны репродуктивная токсичность, эндокринно-разрушающие свойства, острая и хроническая водная токсичность, стойкость, биоаккумуляция, мобильность	<i>Функциональное назначение:</i> антипирены. <i>Сферы применения:</i> электрическое и электронное оборудование, строительные материалы, текстиль, мебель, бытовые изделия, полимерные композиции с повышенными требованиями к огнестойкости. <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТ, ПК	α-Гексабромциклододекан (CAS 134237-50-6), β-гексабромциклододекан (CAS 134237-51-7), γ-гексабромциклододекан (CAS 134237-52-8), гексабромциклододекан (технический продукт) (CAS 25637-99-4), 1,2,5,6,9,10-гексабромциклододекан (CAS 3194-55-6)
Хлорированные алифатические соединения	Для части веществ характерны канцерогенность, мутагенность и репродуктивная токсичность; для ряда представителей острая и хроническая водная токсичность	<i>Функциональное назначение:</i> мономеры, растворители, технологические агенты, модификаторы свойств, пластифицирующие и вспомогательные компоненты. <i>Сферы применения:</i> производство полимеров, упаковка, строительные материалы, кабельные материалы, технические изделия. <i>Виды полимеров:</i> ПВХ, ПЭ, ПП, композиционные и многослойные материалы	Винилхлорид (CAS 75-01-4), 1,2-дихлорэтан (CAS 107-06-2), трихлорэтен (CAS 79-01-6), тетрахлорэтилен (CAS 127-18-4), тетрахлорметан (CAS 56-23-5), хлоралканы C ₁₀₋₁₃ (CAS 85535-84-8), хлоралканы C ₁₄₋₁₇ (CAS 85535-85-9)
Галогенированные ароматические и циклоалифатические соединения	Для части веществ характерны канцерогенность и репродуктивная токсичность; высокая стойкость, высокая биоаккумуляция, высокая мобильность	<i>Функциональное назначение:</i> промежуточные продукты, специальные добавки, пигментные и технологические компоненты, а также исторически сложившиеся загрязнители. <i>Сферы применения:</i> строительные материалы, электрическое и электронное оборудование, бытовые изделия, текстиль <i>Виды полимеров:</i> ПЭ, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТ, ПК	Гексахлорбензол (CAS 118-74-1), 1,2-дихлорбензол (CAS 95-50-1), 1,3-дихлорбензол (CAS 541-73-1), 1,2,3-трихлор-4-(2,3-дихлорфенил)бензол (CAS 11097-69-1)

Таким образом, проведенные исследования позволили обосновать алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, который включает пять последовательных этапов (рисунок 12):

На 1-м этапе проводится анализ международных, региональных и национальных нормативно-правовых актов, официальных баз данных, открытых информационных ресурсов и научных публикаций.

На 2-м этапе формируется первичный перечень веществ-кандидатов с учетом подтвержденного применения в составе пластика, функционального назначения, областей применения и видов полимеров.

На 3-м этапе разрабатываются токсикологические и экотоксикологические профили веществ-кандидатов, включающие идентификационные сведения, результаты исследований по каждому виду воздействия и физико-химические показатели.

На 4-м этапе проводится оценка веществ по критериям опасности для здоровья человека и окружающей среды. Критерии для здоровья человека включают канцерогенность, мутагенность, репротоксичность и воздействие на эндокринную систему; критерии для окружающей среды – острую и хроническую водную токсичность, стойкость, биоаккумуляцию и мобильность.

На 5-м этапе результаты оценки используются для формирования и внедрения перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика [155].



Рисунок 12 – Алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих обеспокоенность в составе пластика

Глава 5. Подходы к национальному регулированию опасных для здоровья человека и окружающей среды химических веществ в составе пластика

5.1. Общие подходы к национальному регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика

Мировая регуляторная практика в области химической безопасности базируется на выявлении приоритетных групп химических веществ с целью минимизации и ликвидации рисков воздействия. Анализ перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, с учетом их опасности для здоровья человека и окружающей среды позволил сформулировать критерии отнесения веществ к приоритетным объектам первоочередного регулирования.

К приоритетным веществам следует относить:

- вещества, обладающие несколькими видами опасности 1 и 2 классов опасности для организма человека и (или) окружающей среды, а также отнесенные к PBT, vPvB, PMT, vPvM;
- вещества, регулируемые международными соглашениями.

Изучение национальных и международных подходов к регулированию опасных химических веществ в составе продукции показало, что их основой являются запретительно-ограничительные мероприятия в зависимости от области применения [119, 121, 151, 157].

Анализ опасных свойств и экологических характеристик химических веществ в составе пластика, их функционального назначения и областей применения показал, что при разработке запретительно-ограничительных мероприятий необходимо учитывать ряд особенностей, связанных с физико-химическими свойствами вещества, назначением содержащего его полимерного изделия и характеристиками населения, контактирующего с данным изделием.

Поэтому для веществ в составе пластика критериями для запрещения предложены:

1. Опасные свойства вещества:

- канцерогенность, мутагенность, репротоксичность и воздействие на эндокринную систему 1 класса опасности; и (или)
- острая (1 класс опасности по СГС) и хроническая токсичность (1 класса опасности по СГС) для представителей водной биоты; и (или)
- стойкость, биоаккумуляция и мобильность (отнесение к PBT, vPvB, PMT, vPvM).

2. Физико-химические свойства:

- высокая летучесть (давление пара $\geq 5,2$ мПа при 25 °C) [158];
- растворимость в воде (≥ 100 мг/л);
- высокая липофильность (коэффициент распределения н-октанол/вода $\log Kow \geq 4$) в сочетании с растворимостью в органических растворителях;
- способность к миграции из полимера.

3. Неприемлемый риск для здоровья и окружающей среды.

4. Контактирующий контингент (дети, беременные, лица пожилого возраста).

5. Социально-экономические риски (объем производства, значимость для экономики и безопасности страны).

6. Наличие безопасных релевантных химических аналогов и (или) технологических альтернатив.

Критериями для количественного ограничения предложены:

1. Опасные свойства вещества:

- канцерогенность, мутагенность, репротоксичность и воздействие на эндокринную систему 1 и 2 классов опасности; и (или)
- острая (1 класс опасности по СГС) и хроническая токсичность (1 и 2 классов опасности по СГС) для представителей водной биоты; и (или)
- стойкость, биоаккумуляция и мобильность (отнесение к PBT, vPvB, PMT, vPvM).

2. Физико-химические свойства:

- высокая или умеренная летучесть (давление пара $\geq 5,2$ мПа при 25 °C);

- растворимость в воде (≥ 100 мг/л);
- растворимость в жирах в сочетании с растворимостью в органических растворителях;
- способность к миграции из полимера.

3. Высокий риск для здоровья и окружающей среды.

4. Контактирующий контингент (дети, беременные, лица пожилого возраста и прочие группы населения).

5. Социально-экономические риски (объем производства, значимость для экономики и безопасности страны).

Помимо запретительно-ограничительных мероприятий управленческим решением по минимизации риска воздействия на организм человека и представителей водной биоты является гигиеническое и рыбохозяйственное нормирование. Для опасных химических веществ в составе пластика, способных мигрировать в пограничные среды, устанавливаются безопасные уровни в виде предельно допустимых концентраций и ориентировочных безопасных уровней воздействия/ориентировочных допустимых уровней в атмосферном воздухе и воде, соблюдение которых является обязательным для всех хозяйствующих субъектов и физических лиц [159].

Опасность химических веществ в составе пластика для представителей водной биоты регулируется предельно допустимыми концентрациями в воде рыбохозяйственного назначения [160].

Предлагаемые подходы к национальному регулированию опасных для здоровья человека и окружающей среды химических веществ в составе пластика представлены на рисунке 13. Апробация предлагаемых подходов на примере конкретных приоритетных опасных веществ в составе пластика представлена в разделах 5.2–5.5.

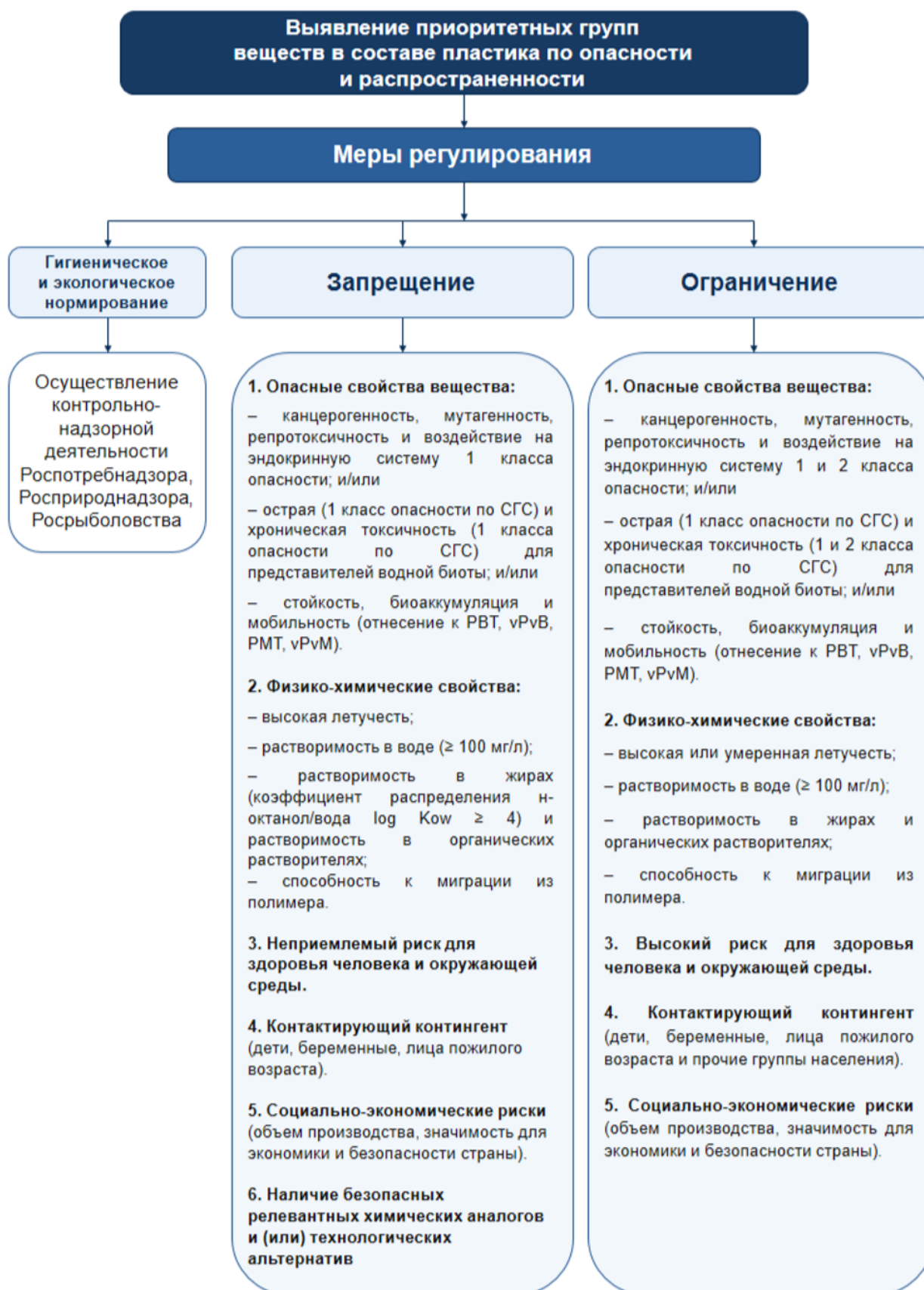


Рисунок 13 – Схема подходов к национальному регулированию опасных для здоровья человека и окружающей среды химических веществ в составе пластика

5.2. Подходы к регулированию соединений свинца

Свинец и его соединения отнесены к приоритетным веществам в составе пластика, поскольку характеризуются комбинированной опасностью для здоровья человека и окружающей среды. Опасными свойствами для данной группы веществ являются канцерогенность 1В класса по СГС для неорганических соединений свинца, репродуктивная токсичность 1А класса, воздействие на эндокринную систему 1В класса, а также острая и хроническая токсичность для представителей водной биоты 1 класса по СГС.

Соединения свинца могут использоваться в качестве стабилизаторов, пигментов, антиоксидантов, смазочных материалов и сшивающих агентов в полиэтилене (ПЭ), полипропилене (ПП), полистироле (ПС), поливинилхлориде (ПВХ), поликарбонате (ПК) и полиэтилентерефталате (ПЭТ). Полимеры, содержащие соединения свинца, применяются при производстве бытовых предметов, мебели, упаковки, текстиля и игрушек, а также в автомобилестроении, строительстве и производстве электрического и электронного оборудования.

По данным литературы [161–165], свинец способен мигрировать из пластиковых материалов в контактные среды, в том числе из поливинилхлорида, содержащего свинцовые термостабилизаторы. С учетом широкого применения такой продукции это может создавать условия для воздействия на различные группы населения и формировать неприемлемый риск для здоровья человека и окружающей среды.

Кроме того, анализ международных подходов показывает, что снижение риска, связанного с применением свинецсодержащих термостабилизаторов, может быть обеспечено путем их замещения стабилизаторами на основе соединений кальция и цинка. В таблице 9 представлена сравнительная характеристика опасных свойств свинецсодержащих термостабилизаторов и их заменителей на основе соединений цинка и кальция.

Таблица 9 – Сравнительная характеристика опасных свойств свинецсодержащих термостабилизаторов и их заменителей

Опасные свойства	Свинец дистеарат (CAS 1072-35-1), свинец стеарат двуосновной (CAS 56189-09-4)	Цинк стеарат (CAS 557-05-1)	Кальций стеарат (CAS 1592-23-0)
Репротоксичность	1А класс опасности по СГС	Не установлено	Не установлено
Воздействие на эндокринную систему	1В класс опасности	Не установлено	Не установлено
Острая водная токсичность	1 класс опасности по СГС	Не установлено	Не установлено
Хроническая водная токсичность	1 класс опасности по СГС	3 класс опасности по СГС	3 класс опасности по СГС

Данные таблицы 9 показывают, что стабилизаторы на основе соединений кальция и цинка характеризуются меньшей опасностью для здоровья человека и окружающей среды по сравнению с термостабилизаторами на основе свинца и используются в качестве безопасной альтернативы при производстве пластика [156, 157].

Таким образом, свинец и его соединения при использовании в качестве термостабилизаторов соответствуют критериям запрещения, что будет учтено при формировании перечня запрещенных веществ в рамках технического регламента Российской Федерации «О техническом регулировании химической продукции» [166].

5.3. Подходы к регулированию анилина

Анилин характеризуется комбинированной опасностью для здоровья человека и окружающей среды. К опасным свойствам данного вещества относятся канцерогенность 1В класса по СГС, мутагенность 2 класса, воздействие на эндокринную систему 2 класса, а также острая токсичность для представителей водной биоты 1 класса.

В составе пластика анилин выполняет роль антиоксиданта, катализатора, красителя, промежуточного продукта, светостабилизатора, смазочного материала и технологической добавки в автомобилестроении, строительстве, электрическом и электронном оборудовании, упаковке, игрушках, а также в пластиках, контактирующих с пищевой продукцией.

Высокая растворимость в воде (36 000 мг/л) и летучесть (87,99 Па при 25 °С) анилина повышают вероятность его миграции из пластиковых материалов в контактные среды, включая воду и воздух помещений. В результате контактирующий контингент может подвергаться пероральному воздействию при поступлении анилина с водой и длительному ингаляционному воздействию при эксплуатации полимерной продукции в закрытых помещениях [167–170].

В настоящее время для анилина установлены нормативы содержания в атмосферном воздухе, воде водных объектов и воде водных объектов рыбохозяйственного значения.

Принимая во внимание, что анилин может присутствовать в пластике не только в качестве функционального компонента, но и в качестве остаточного вещества, примеси или продукта трансформации азотсодержащих соединений, целесообразно предусмотреть не запрет, а ограничительные меры, направленные на контроль его остаточного содержания и миграции. В связи с этим следует рассмотреть разработку соответствующих требований в технических регламентах, устанавливающих требования к безопасности пластиковой продукции, включая материалы, контактирующие с пищевой продукцией, упаковку, игрушки, строительные материалы.

5.4. Подходы к регулированию фталатов

Фталаты характеризуются репродуктивной токсичностью и воздействием на эндокринную систему 1В класса опасности, что при их миграции из пластика создает неприемлемый риск для здоровья человека по репродуктивным и эндокринным эффектам. Отдельные представители данной группы также обладают

острой (1 класс опасности по СГС) и хронической водной токсичностью 2 класса опасности по СГС.

Вещества данной группы широко используются в качестве пластификаторов в химической промышленности для производства строительных, изоляционных, упаковочных, текстильных материалов, искусственной кожи, напольных покрытий, клеев, герметиков, автомобильных деталей, резинотехнических изделий, средств медицинского назначения и игрушек.

Миграционный потенциал фталатных пластификаторов подтвержден многочисленными экспериментальными исследованиями. Так, при моделировании контакта ПВХ-игрушек со слюной показано, что у шести образцов миграция диоктилфталата превышала $1,7 \text{ мкг/мин}$ на 10 см^2 , а в исследовании ПВХ-напольных покрытий после 14 суток содержание диоктилфталата в пыли составляло 384 ± 19 и $481 \pm 53 \text{ мкг/г}$ для разных типов покрытия [171–172].

Сравнительный анализ токсикологических и экотоксикологических профилей пластификаторов показал, что дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат (ДОФ) и диизобутилфталат (ДИБФ) обладают репротоксичностью, воздействием на эндокринную систему и токсичностью для представителей водной биоты.

Из пяти рассмотренных пластификаторов техническими регламентами ЕАЭС регламентируются только ДБФ и ДОФ. Для ДБФ установлен запрет миграции из продукции для детей и подростков и предельно допустимые уровни миграции из игрушек, упаковки, кожгалантерейных изделий, изделий для детских игровых площадок, средств индивидуальной защиты и мебельной продукции. Для ДОФ установлены строгие ограничения миграции в водную и воздушную модельные среды, а также в воздух помещений [173].

Принимая во внимание, что дибутилтерефталат (ДБТФ) и диоктилтерефталат (ДОТФ) не обладают опасными свойствами для здоровья человека и окружающей среды, их можно использовать как безопасные аналоги (таблица 10).

Таблица 10 – Сравнительный анализ опасности фталатных пластификаторов

Опасные свойства	Дибутилфталат (CAS 84-74-2)	Диоктилфталат (CAS 117-81-7)	Диизобутилфталат (CAS 84-69-5)	Дибутилтерефталат (CAS 1962-75-0)	Диоктилтерефталат (CAS 6422-86-2)
Канцерогенность	Не установлено	2 класс опасности по СГС	Нет данных	Нет данных	Не установлено
Мутагенность	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено
Репротоксичность	1В класс опасности по СГС	1В класс опасности по СГС	1В класс опасности по СГС	Не установлено	Не установлено
Воздействие на эндокринную систему	1В класс опасности	1В класс опасности	1В класс опасности	Не установлено	Не установлено
Острая водная токсичность	1 класс опасности по СГС	1 класс опасности по СГС	1 класс опасности по СГС	Не установлено	Не установлено
Хроническая водная токсичность	2 класс опасности по СГС	2 класс опасности по СГС	3 класс опасности по СГС	Не установлено	Не установлено
PBT	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено
vPvB	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено
PMT	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено
vPvM	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено	Не установлено

5.5. Подходы к регулированию пер- и полифторалкильных соединений (ПФАС)

ПФАС относятся к стойким органическим загрязнителям: не разлагаются в условиях окружающей среды, в том числе в воде, обладают способностью к биоаккумуляции и трансграничному переносу; оказывают негативное воздействие на организм человека, поступая с водой и пищей. ПФАС являются репротоксикантами (1В класс опасности по СГС), иммунотоксикантами и эндокринными разрушителями (1В класс опасности по СГС). Отдельные представители ПФАС отнесены Международным агентством по изучению рака (МАИР) к 1 группе канцерогенности (безусловно канцерогенные для человека).

ПФАС применяются при производстве и модификации полимерных материалов, включая фторполимеры, фторэластомеры, функциональные покрытия, поверхностные обработки, барьерные слои и уплотняющие элементы. Отдельные ПФАС также могут использоваться как технологические добавки либо сохраняться в готовой продукции в виде остаточных количеств.

На этапах эксплуатации, старения, износа и утилизации полимерных изделий возможно высвобождение ПФАС с последующим поступлением в сточные воды, поверхностный сток, фильтрат полигонов и водные объекты. Высокая стойкость и мобильность отдельных ПФАС обуславливают их сохранение в водной среде, перенос с поверхностными и подземными водами и потенциальное поступление в источники питьевого водоснабжения.

В настоящее время во многих странах усиливается внимание к мониторингу и контролю содержания ПФАС в природной и питьевой воде. В США в рамках USCMR 5 организован мониторинг 29 ПФАС в питьевой воде, а в Европейском союзе с января 2026 года государства-члены обязаны проводить гармонизированный мониторинг ПФАС в питьевой воде в соответствии с новыми требованиями питьевой директивы. Эти меры отражают общемировую тенденцию к усилению контроля ПФАС как загрязнителей, представляющих угрозу для водных ресурсов и здоровья населения [174–179].

В рамках Стокгольмской конвенции перфтороктансульфоновая кислота, ее соли и перфтороктансульфонилфторид включены в Приложение В, предусматривающее ограничение производства и использования, тогда как перфтороктановая кислота, ее соли и родственные соединения, а также перфторгексансульфоновая кислота, ее соли и родственные соединения включены в Приложение А, предусматривающее ликвидацию и запрет производства и использования [180].

Анализ существующих подходов к гигиеническому нормированию пер- и полифторалкильных соединений в питьевой воде показал, что в настоящее время многие государства мира разрабатывают нормативы содержания как отдельных приоритетных ПФАС, так и их суммы; внедряют национальные программы по мониторингу и контролю их содержания в природной и питьевой воде с целью сохранения водного ресурса и снижения рисков неблагоприятного воздействия на здоровье населения. В Российской Федерации планируется научное обоснование трех новых ПДК для димера гексафторпропиленоксида, перфтороктансульфоновой кислоты, суммы двадцати приоритетных ПФАС, пересмотр четырех ранее нормированных ПФАС, разработка и утверждение в установленном порядке аналитического метода контроля, а также проведение постоянного мониторинга этих опасных веществ в воде в рамках контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора.

Гигиеническое нормирование ПФАС в питьевой воде следует рассматривать как первоочередную меру регулирования, направленную на снижение рисков для здоровья населения и обеспечение контроля их поступления в водные объекты. Вместе с тем нормирование не может рассматриваться как исчерпывающая мера управления рисками. Важным направлением дальнейшего совершенствования национального регулирования является ратификация Российской Федерацией положений Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях в части включения перфтороктановой кислоты (ПФОК) и родственных ей соединений в Приложение А «Ликвидация», а перфтороктансульфоновой кислоты (ПФОС) и ее производных – в Приложение В «Ограничение». Следующим этапом

регулирования должно стать рассмотрение вопроса о поэтапном запрете приоритетных ПФАС, для которых существуют технологически доступные и менее опасные альтернативы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научная задача по обоснованию подходов к выявлению и регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика. На основании анализа международных, региональных и национальных нормативно-правовых актов, баз данных, информационных ресурсов и научных публикаций обоснованы критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство для здоровья человека и окружающей среды.

Разработан алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, основанный на подтверждении применения вещества в пластиковых материалах, оценке его опасных свойств, разработке токсикологических и экотоксикологических профилей и последующей систематизации полученных данных.

В результате исследования сформирован национальный перечень химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, включающий 857 веществ, обладающих опасными свойствами для здоровья человека и (или) окружающей среды, включая канцерогенность, мутагенность, репродуктивную токсичность, воздействие на эндокринную систему, водную токсичность, стойкость, биоаккумуляцию и мобильность.

Обоснованы подходы к национальному регулированию опасных веществ, включающие гигиеническое и экологическое нормирование, запрещение применения и ограничение количественного содержания в пластике.

ВЫВОДЫ

1. Обоснованы критерии отнесения химических веществ к веществам, вызывающим беспокойство в составе пластика. К таким критериям отнесены: функциональное назначение и область применения вещества в составе пластика; опасные свойства для здоровья человека, включая канцерогенность, мутагенность, репродуктивную токсичность 1 и 2 классов опасности по СГС, а также воздействие на эндокринную систему 1 и 2 классов опасности по МР 1.2.0313-22; экологические характеристики, включая острую водную токсичность 1 класса опасности, хроническую водную токсичность 1 и 2 классов опасности, стойкость, биоаккумуляцию и мобильность.

2. На основании критерия подтвержденного применения химических веществ в составе пластика, их функционального назначения и области применения было выявлено 2 381 вещество. В результате оценки опасных свойств для здоровья человека и окружающей среды был сформирован итоговый перечень химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, включающий 857 веществ. В состав перечня вошло 358 канцерогенов, из них 39 веществ класса опасности 1А, 177 веществ класса опасности 1В и 142 вещества класса опасности 2; 71 мутаген, из них 31 вещество класса опасности 1В и 40 веществ класса опасности 2; 229 репротоксикантов, из них 64 вещества класса опасности 1, 41 вещество класса опасности 1А, 59 веществ класса опасности 1В, 65 веществ класса опасности 2; 181 эндокринный разрушитель, из них 1 вещество класса опасности 1А, 98 веществ класса опасности 1В и 82 вещества класса опасности 2.

3. Для включения веществ в итоговый перечень по экотоксикологическим характеристикам разработана база данных «Опасные для окружающей среды химические вещества в составе пластика». Каждая строка базы данных представляет собой экотоксикологический профиль конкретного химического вещества и включает идентификационные сведения, физико-химические показатели, данные о токсичности для представителей водной биоты, сведения о

биоразлагаемости, биоаккумуляции, стойкости, мобильности и токсичности. На основании полученных данных установлено, что 335 веществ обладают острой водной токсичностью 1 класса опасности, 361 вещество – хронической водной токсичностью 1 класса опасности, 128 веществ – хронической водной токсичностью 2 класса опасности; 41 вещество относится к PBT, 89 веществ – к vPvB, 37 веществ – к PMT и 40 веществ – к vPvM.

4. Определены приоритетные химические группы, обладающие комбинированной опасностью для здоровья человека и окружающей среды. К ним отнесены тяжелые металлы, азотсодержащие, кислородсодержащие, галогенированные органические соединения, а также пер- и полифторалкильные соединения.

5. Обоснован алгоритм формирования перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика. Алгоритм включает анализ международных, региональных и национальных нормативно-правовых актов, официальных баз данных, открытых информационных ресурсов и научных публикаций; формирование первичного перечня веществ-кандидатов с учетом подтвержденного применения в составе пластика; разработку токсикологических и экотоксикологических профилей; оценку веществ по критериям опасности для здоровья человека и окружающей среды; формирование перечня химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика.

6. Обоснованы подходы к национальному регулированию химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика. К мерам регулирования отнесены гигиеническое и экологическое нормирование, запрещение применения, ограничение количественного содержания в пластике.

7. Показаны подходы к регулированию отдельных приоритетных веществ и групп веществ в составе пластика. Для свинца и его соединений обоснована необходимость запрета свинцовых стабилизаторов. Для анилина обоснована целесообразность ограничительных мер, направленных на контроль его содержания в пластике и миграции. Для фталатов показана необходимость запретительно-ограничительных мер в отношении дибутилфталата,

диоктилфталата, диизобутилфталата. Для пер- и полифторалкильных соединений первоочередной мерой регулирования является гигиеническое нормирование в питьевой воде, мониторинг и последующее рассмотрение вопроса о поэтапном ограничении или запрете приоритетных ПФАС.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанный национальный перечень химических веществ, вызывающих беспокойство в составе пластика, будет способствовать формированию перечней запрещенных и ограниченных химических веществ в целях реализации технических регламентов Российской Федерации «О техническом регулировании химической продукции» и ЕАЭС «О безопасности химической продукции».

2. Научно обоснованные критерии отнесения химических веществ в составе пластика к веществам, вызывающим беспокойство, а также подходы к их запрещению и ограничению могут быть использованы федеральными органами исполнительной власти (ФОИВ) при формировании позиции Российской Федерации в рамках международного юридически обязывающего документа по борьбе с загрязнением пластиком, в том числе в морской среде.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

LC – летальная концентрация (Lethal Concentration).

ЕС – эффективная концентрация (Effective Concentration).

NOEC – концентрация, при которой не наблюдается статистически значимого неблагоприятного эффекта (No Observed Effect Concentration).

PBT – стойкие, биоаккумулятивные и токсичные вещества (Persistent, Bioaccumulative and Toxic substances).

PMT – стойкие, мобильные и токсичные вещества (Persistent, Mobile and Toxic substances).

vPvB – высокостойкие и высокобиоаккумулятивные вещества (very Persistent and very Bioaccumulative substances).

vPvM – высокостойкие и высокомобильные вещества (very Persistent and very Mobile substances).

МНК – максимальная недеиствующая концентрация.

ПФАС – пер- и полифторалкильные вещества.

СГС – Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции.

СОЗ – стойкие органические загрязнители.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hahladakis J. N., Velis C. A., Weber R., Iacovidou E., Purnell P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling // *Journal of Hazardous Materials*. – 2018. – Vol. 344. – P. 179–199. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.014.
2. Wiesinger H., Wang Z., Hellweg S. Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids // *Environmental Science & Technology*. – 2021. – Vol. 55, No. 13. – P. 9339–9351. – DOI: 10.1021/acs.est.1c00976.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. – Paris: OECD Publishing, 2022. – DOI: 10.1787/aa1edf33-en.
4. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made // *Science Advances*. – 2017. – Vol. 3, No. 7. – Art. e1700782. – DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
5. United Nations Environment Programme (UNEP). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. – Nairobi: UNEP, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution> (дата обращения: 07.01.2026).
6. United States Environmental Protection Agency (US EPA). *Impacts of Plastic Pollution* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.epa.gov/plastics/impacts-plastic-pollution> (дата обращения: 07.01.2026).
7. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Plastics* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oecd.org/en/topics/plastics.html> (дата обращения: 07.01.2026).
8. United Nations Environment Assembly. *End plastic pollution: towards an international legally binding instrument: Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly (UNEP/EA.5/Res.14)* [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.un.org/en/UNEP/EA.5/Res.14> (дата обращения: 07.01.2026).

9. Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J. H., Abu-Omar M., Scott S. L., Suh S. Degradation Rates of Plastics in the Environment // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2020. – Vol. 8, No. 9. – P. 3494–3511. – DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b06635.
10. Zimmermann L., Bartosova Z., Braun K., Oehlmann J., Völker C., Wagner M. Plastic Products Leach Chemicals That Induce In Vitro Toxicity under Realistic Use Conditions // Environmental Science & Technology. – 2021. – Vol. 55, No. 17. – P. 11814–11823. – DOI: 10.1021/acs.est.1c01103.
11. United Nations Environment Programme (UNEP). Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution (INC) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution> (дата обращения: 07.01.2026).
12. Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions. Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions [Электронный ресурс]. – Geneva : United Nations Environment Programme, 2001. – URL: <https://www.brsmeas.org/> (дата обращения: 17.09.2025).
13. Stockholm Convention Secretariat. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) [Электронный ресурс]. – Geneva: United Nations Environment Programme, 2001. – URL: <https://chm.pops.int/> (дата обращения: 17.09.2025).
14. Rotterdam Convention Secretariat. Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade [Электронный ресурс]. – Geneva: FAO/UNEP, 1998. – URL: <https://pic.int/> (дата обращения: 17.09.2025).
15. Basel Convention Secretariat. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal [Электронный ресурс]. – Geneva: United Nations Environment Programme, 1989. – URL: <https://www.basel.int/> (дата обращения: 17.09.2025).
16. United Nations Environment Programme. Minamata Convention on Mercury [Электронный ресурс]. – Geneva: United Nations Environment Programme, 2013. – URL: <https://minamataconvention.org/> (дата обращения: 17.09.2025).

17. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94, as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC : consolidated version of 22 April 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02006R1907-20250422> (дата обращения: 17.09.2025).

18. Современное состояние проблемы безопасности химических веществ в составе пластика и подходы к их регулированию: обзор / Х. Х. Хамидулина, А. К. Назаренко, Н. П. Тарасова, Е. В. Тарасова // Химическая промышленность сегодня. – 2025. – № 6. – С. 45–55. – EDN MWWSWK.

19. Wagner M., Monclús L., Arp H. P. H. [et al.] State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern // Zenodo. – 2024. – DOI: 10.5281/zenodo.10701706.

20. Napper I. E., Thompson R. C. Plastics and the Environment // Annual Review of Environment and Resources. – 2023. – Vol. 48, No. 1. – P. 55–79. – DOI: 10.1146/annurev-environ-112522-072642.

21. Williams A. T., Rangel-Buitrago N. The past, present, and future of plastic pollution // Marine Pollution Bulletin. – 2022. – Vol. 176. – Art. 113429. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113429.

22. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short [Электронный ресурс] // OECD. – Paris: OECD, 2022. – URL: <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/02/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.html> (дата обращения: 17.09.2025).

23. Kumar R., Verma A., Shome A. [et al.] Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular

Economy and Policy Interventions // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 17. – Art. 9963. – DOI: 10.3390/su13179963.

24. European Commission. EU regrets inconclusive global plastics treaty negotiations [Электронный ресурс]. – Brussels: European Commission, 2024. – URL: https://environment.ec.europa.eu/news/eu-regrets-inconclusive-global-plastics-treaty-2024-12-02_en (дата обращения: 17.09.2025).

25. Talukdar A., Kundu P., Bhattacharya S., Dutta N. Microplastic contamination in wastewater: Sources, distribution, detection and remediation through physical and chemical-biological methods // Science of the Total Environment. – 2024. – Vol. 916. — Art. 170254. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170254.

26. Ershova A., Makeeva I., Malgina E. [et al.] Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic) // Marine Pollution Bulletin. – 2021. – Vol. 173, Pt A. – Art. 112955. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112955.

27. Haney J., Rochman C. M. Plastic pollution has the potential to alter ecological and evolutionary processes in aquatic ecosystems // Nature Ecology & Evolution. – 2025. – Vol. 9, No. 5. – P. 762–768. – DOI: 10.1038/s41559-025-02678-8.

28. Santos R. G., Machovsky-Capuska G. E., Andrades R. Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding // Science. – 2021. – Vol. 373, No. 6550. – P. 56–60. – DOI: 10.1126/science.abh0945.

29. Savoca M. S., Machovsky-Capuska G. E., Andrades R. [et al.] Editorial: Plastic Ingestion: Understanding Causes and Impacts // Frontiers in Marine Science. – 2022. – Vol. 9. – Art. 905336. – DOI: 10.3389/fmars.2022.905336.

30. Navarro A., Pérez Luzardo O., Gómez M. [et al.] Microplastics ingestion and chemical pollutants in seabirds of Gran Canaria (Canary Islands, Spain) // Marine Pollution Bulletin. – 2023. – Vol. 186. – Art. 114434. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114434.

31. Wilcox C., Van Sebille E., Hardesty B. D. Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing // Proceedings of the National Academy of

Sciences of the United States of America. – 2016. – Vol. 113, No. 4. – P. E491. – DOI: 10.1073/pnas.1524456113.

32. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Environment Outlook 7: A future we choose – Why investing in Earth now can lead to a trillion-dollar benefit for all. [Электронный ресурс]. – URL: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/49014> (дата обращения: 07.01.2026).

33. Chemicals in plastics: a technical report / United Nations Environment Programme; Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions. – Geneva: UNEP, 2023. – 104 p.

34. Maddela N. R., Kakarla D., Venkateswarlu K. [et al.] Additives of plastics: Entry into the environment and potential risks to human and ecological health // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 348. – Art. 119364. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119364.

35. Barrick A., Champeau O., Châtel A. et al. Plastic additives: challenges in ecotoxicological hazard assessment // PeerJ. – 2021. – Vol. 9. – Art. e11300. – DOI: 10.7717/peerj.11300.

36. Ziani K., Ioniță-Mîndrican C.-B., Mititelu M. [et al.] Microplastics: A real global threat for environment and food safety: A state-of-the-art review // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Art. 617. – DOI: 10.3390/nu15030617.

37. Yousif E., Hasan A. Photostabilization of poly(vinyl chloride) – Still on the run // Journal of Taibah University for Science. – 2015. – Vol. 9, No. 4. – P. 421–448. – DOI: 10.1016/j.jtusci.2014.09.007.

38. United Nations Environment Programme. Chemicals in plastics: infographics [Электронный ресурс]. – Nairobi: UNEP, 2023. – URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42427/Chemicals-in-plastics-infographics.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).

39. Adding it Up: A global assessment of leakage from plastic additives / J. Boucher, M. Gallato, M. I. Gomis, P. Mazzatorta, M. Pucino, S. Sharda. – Geneva: EA-Earth Action, 2023. – ISBN 978-2-8399-4087-0.

40. Brander S. M., Senathirajah K., Fernandez M. O., [et al.] The time for ambitious action is now: Science-based recommendations for plastic chemicals to inform an effective global plastic treaty // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 949. – Art. 174881. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174881.
41. Villarrubia-Gómez P., Carney Almroth B., Eriksen M., [et al.] Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries // *One Earth*. – 2024. – Vol. 7, No. 12. – P. 2119–2138. – DOI: 10.1016/j.oneear.2024.10.017.
42. Boháčková J., Cajthaml T. Contribution of chemical toxicity to the overall toxicity of microplastic particles: A review // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 957. – Art. 177611. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177611.
43. Zhang Y., Paul T., Brehm J., [et al.] Role of residual monomers in the manifestation of (cyto)toxicity by polystyrene microplastic model particles // *Environmental Science & Technology*. – 2023. – Vol. 57, No. 27. – P. 9925–9933. – DOI: 10.1021/acs.est.3c01134.
44. Chen H., Hu X., Yin D. Benzotriazole ultraviolet stabilizers in the environment: A review of occurrence, partitioning and transformation // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 954. – Art. 176362. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.176362.
45. Meng J., Zhang Z., Tian J., [et al.] Unraveling the pervasive influence of brominated flame retardants on reproductive and developmental outcomes: A systematic review // *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. – 2025. – Vol. 7. – P. 319–338. – DOI: 10.1016/j.enccco.2025.01.006.
46. Feiteiro J., Mariana M., Cairrão E. Health toxicity effects of brominated flame retardants: From environmental to human exposure // *Environmental Pollution*. – 2021. – Vol. 285. – Art. 117475. – DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117475.
47. Johnson H. M., Dubiel J., Collins C. H., [et al.] Assessing the toxicity of benzotriazole ultraviolet stabilizers to fishes: Insights into aryl hydrocarbon receptor-mediated effects // *Environmental Science & Technology*. – 2024. – Vol. 58, No. 1. – P. 110–120. – DOI: 10.1021/acs.est.3c06117.

48. Hamilton B. M., Baak J. E., Vorkamp K., [et al.] Plastics as a carrier of chemical additives to the Arctic: possibilities for strategic monitoring across the circumpolar North // *Arctic Science*. – 2023. – Vol. 9, No. 2. – P. 284–296. – DOI: 10.1139/as-2021-0055.
49. Lippold A., Harju M., Aars J., [et al.] Occurrence of emerging brominated flame retardants and organophosphate esters in marine wildlife from the Norwegian Arctic // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 315. – Art. 120395. – DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120395.
50. Monclús L., Arp H. P. H., Groh K. J., [et al.] Mapping the chemical complexity of plastics // *Nature*. – 2025. – Vol. 643, No. 8071. – P. 349–355. – DOI: 10.1038/s41586-025-09184-8.
51. Pilapitiya P. G. C. T. N., Ratnayake A. S. The world of plastic waste: A review // *Cleaner Materials*. – 2024. – Vol. 11. – Art. 100220. – DOI: 10.1016/j.clema.2024.100220.
52. Meng J., Xu B., Liu F., [et al.] Effects of chemical and natural ageing on the release of potentially toxic metal additives in commercial PVC microplastics // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 283. – Art. 131274. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131274.
53. Mersiowsky I. Long-term fate of PVC products and their additives in landfills // *Progress in Polymer Science*. – 2002. – Vol. 27, No. 10. – P. 2227–2277. – DOI: 10.1016/S0079-6700(02)00037-0.
54. Sander R. Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2015. – Vol. 15, No. 8. – P. 4399–4981. – DOI: 10.5194/acp-15-4399-2015.
55. Tancredi M. V., Wilson R., Zeise L., Crouch E. A. C. The carcinogenic risk of some organic vapors indoors: a theoretical survey // *Atmospheric Environment*. – 1987. – Vol. 21, No. 10. – P. 2187–2205. – DOI: 10.1016/0004-6981(87)90351-9.
56. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Volatilisation of chemicals from products and materials into indoor air. – Bilthoven: RIVM, 2001. – 112 p.

57. Glüge J., Wang Z., Bogdal C., Scheringer M., Hungerbühler K. Global production, use, and emission volumes of short-chain chlorinated paraffins – A minimum scenario // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 573. – P. 1132–1146. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.105.
58. Constantine L. A., Mackay D., Hickie B. Critical evaluation of log Kow-BCF relationships // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2003. – Vol. 22, No. 4. – P. 785–792.
59. Helmroth E., Rijk R., Dekker M., Jongen W. Predictive modelling of migration from packaging materials into food products for regulatory purposes // *Trends in Food Science & Technology*. – 2002. – Vol. 13, No. 3. – P. 102–109. – DOI: 10.1016/S0924-2244(02)00031-6.
60. Begley T. H., Brandsch R., Limm W., [et al.] Evaluation of migration models that might be used in support of regulations for food-contact plastics // *Food Additives & Contaminants*. – 2005. – Vol. 22, No. 1. – P. 73–90. – DOI: 10.1080/02652030400027907.
61. Poças M. F., Hogg T. Exposure assessment of chemicals from packaging materials in foods: A review // *Trends in Food Science & Technology*. – 2007. – Vol. 18, No. 4. – P. 219–230.
62. Franz R. Migration modelling from food-contact plastics into foodstuffs as a new tool for consumer exposure estimation // *Food Addit Contam.* – 2005. – Vol. 22, No. 10. – P. 920–937. – DOI: 10.1080/02652030500157700.
63. Xu A., Roland S., Colin X. Physico-chemical characterization of the blooming of Irganox 1076 antioxidant onto the surface of a silane-crosslinked polyethylene // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – Vol. 171. – Art. 109046. – DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.109046.
64. Franco A., Trapp S. Estimation of the soil-water partition coefficient normalized to organic carbon for ionizable organic chemicals // *Environ Toxicol Chem.* – 2008. – Vol. 27. – No. 10. – P. 1995–2004. – DOI: 10.1897/07-583.1.

65. EPA. Technical Background Document — Part 5: Chemical-Specific Parameters [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency, 2024. – URL: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/175235.pdf> (дата обращения: 14.02.2026).
66. Li J., Zhao L., Letcher R. J., [et al.] A review on organophosphate ester (OPE) flame retardants and plasticizers in foodstuffs: Levels, distribution, human dietary exposure, and future directions // *Environment International*. – 2019. – Vol. 127. – P. 35–51. – DOI: 10.1016/j.envint.2019.03.009.
67. Miao S., Wang X., Zhu Q., [et al.] Migration patterns of organophosphate esters from plastic food packaging simulants to foods: Donors, behaviours, and influencing factors // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 954. – Art. 176272. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.176272.
68. Liang C., Zeng M.-X., Yuan X.-Z., [et al.] An overview of current knowledge on organophosphate di-esters in environment: Analytical methods, sources, occurrence, and behavior // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 906. – Art. 167656. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167656.
69. Lucattini L., Poma G., Covaci A., [et al.] A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment: occurrence in consumer products, indoor air and dust // *Chemosphere*. – 2018. – Vol. 201. – P. 466–482. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.02.161.
70. Liu X., Pei X., Li J., [et al.] Occurrence, spatial distribution, and ecological risk of benzotriazole UV stabilizers (BUVs) in sediments from Bohai Sea of China // *Environmental Research*. – 2024. – Vol. 260. – Art. 119730. – DOI: 10.1016/j.envres.2024.119730.
71. Chen Y., Guo R., Liao K., [et al.] Discovery of novel benzotriazole ultraviolet stabilizers in surface water // *Water Research*. – 2024. – Vol. 257. – Art. 121709. – DOI: 10.1016/j.watres.2024.121709.
72. Li B., Yao Z., Zhao F., [et al.] Occurrence of organic ultraviolet absorbers in the particle and gas samples from plastic greenhouses: Human inhalation intake risk assessment // *Journal of Hazardous Materials*. – 2024. – Vol. 474. – Art. 134801. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134801.

73. Arkiş E., Balköse D. Thermal stabilisation of poly(vinyl chloride) by organotin compounds // *Polymer Degradation and Stability*. – 2005. – Vol. 88, No. 1. – P. 46–51. – DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.021.
74. Hala D., Bristeau S., Dagnac T., [et al.] The unexpected sources of organotin contamination in aquatic toxicological laboratory studies // *Aquatic Toxicology*. – 2010. – Vol. 96, No. 4. – P. 314–318. – DOI: 10.1016/j.aquatox.2009.11.015.
75. Hermabessiere L., Receveur J., Himber C., [et al.] An Irgafos 168 story: When the ubiquity of an additive prevents studying its leaching from plastics // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 749. – Art. 141651. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141651.
76. Li A., Yan C., Qiu J., [et al.] Adverse effects of plastic leachate and its component 2,4-DTBP on the early development of zebrafish embryos // *Science of the Total Environment*. – 2023. – Vol. 904. – Art. 167246. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167246.
77. Xu A., Roland S., Colin X. Physico-chemical characterization of the blooming of Irganox 1076 antioxidant onto the surface of a silane-crosslinked polyethylene // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – Vol. 171. – Art. 109046. – DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.109046.
78. Kwon B. G. Aquatic toxicity and fate of styrene oligomers in the environment // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2023. – Vol. 265. – Art. 115462. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2023.115462.
79. Colombo G., Corredig M., Ünalán I. U., [et al.] Untargeted screening of NIAS and cyclic oligomers migrating from virgin and recycled polyethylene terephthalate (PET) food trays // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2024. – Vol. 41. – Art. 101227. – DOI: 10.1016/j.fpsl.2023.101227.
80. Schreier V. N., Çörek E., Appenzeller-Herzog C., [et al.] Evaluating the food safety and risk assessment evidence-base of polyethylene terephthalate oligomers: A systematic evidence map // *Environment International*. – 2023. – Vol. 176. – Art. 107978. – DOI: 10.1016/j.envint.2023.107978.

81. Xue J., Cai H., Li W., [et al.] Emissions of VOCs and SVOCs from polyvinyl chloride building materials: Contribution to indoor odor and inhalation health risks // *Building and Environment*. – 2023. – Vol. 229. – Art. 109958. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109958.
82. Li Y., Chang Q., Luo Z., [et al.] Transfer of POP-BFRs within e-waste plastics in recycling streams in China // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 717. – Art. 135003. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135003.
83. Wagner S., Schlummer M. Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2020. – Vol. 158. – Art. 104800. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104800.
84. Mlelwa R., Rother H. A. Reviewing the current state of legacy POP-brominated flame retardants in plastic childcare products and toys: a scoping review protocol // *Systematic Reviews*. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – Art. 148. – DOI: 10.1186/s13643-024-02524-1.
85. Liu M., Brandsma S. H., Schreder E. From e-waste to living space: Flame retardants contaminating household items add to concern about plastic recycling // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 365. – Art. 143319. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143319.
86. United Nations Environment Programme. Historic day in the campaign to beat plastic pollution: Nations commit to develop a legally binding agreement [Электронный ресурс]. – Nairobi : UNEP, 2022. – 2 Mar. – URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/historic-day-campaign-beat-plastic-pollution-nations-commit-develop> (дата обращения: 17.09.2025).
87. United Nations Environment Programme (UNEP). INC Plastic Pollution – Session 5.2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution/session-5.2> (дата обращения: 14.02.2026).
88. European Chemicals Agency (ECHA). Candidate List of substances of very high concern for Authorisation [Электронный ресурс]. – URL: <https://echa.europa.eu/candidate-list-table> (дата обращения: 07.01.2026).

89. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 г. № 769. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

90. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники»: утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18 октября 2016 г. № 113. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

91. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 23 сентября 2011 г. № 797. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

92. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 008/2011 «О безопасности игрушек»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 23 сентября 2011 г. № 798. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

93. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 876. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

94. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

95. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции»: утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15 июня 2012 г. № 32. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

96. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 041/2017 «О безопасности химической продукции»: утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 3 марта 2017 г. № 41. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

97. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок»: утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии от 17 мая 2017 г. № 21. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

98. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 апреля 2015 г. № 30 «О мерах нетарифного регулирования»: с изм. и доп. – Офиц. текст. – URL: <https://docs.eaeunion.org> (дата обращения: 17.09.2025).

99. Проект федерального закона «О безопасности химической продукции» (№ 154803-8) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PRJ&n=154803> (дата обращения: 14.02.2026).

100. S119 | PLASTCHEM | PlastChem chemicals [Электронный ресурс]: dataset / M. Wagner, L. Monclús, H. P. H. Arp [et al.]. – Version NORMAN-SLE-S119.0.1.0. – Zenodo, 2024. – DOI: 10.5281/zenodo.13834059. – URL: <https://zenodo.org/records/13834059> (дата обращения: 14.06.2026).

101. FCCmigex database [Электронный ресурс]: Database on Migrating and Extractable Food Contact Chemicals / Food Packaging Forum. – [S. l.]: Food Packaging Forum. – URL: <https://foodpackagingforum.org/resources/databases/fccmigex> (дата обращения: 14.06.2026).

102. Wiesinger H. LitChemPlast: An Open Database of Chemicals Measured in Plastics / H. Wiesinger, A. Shalin, X. Huang, A. Siegrist, N. Plinke, S. Hellweg, Z. Wang // Environmental Science & Technology Letters. – 2024. – Vol. 11, No. 11. – P. 1147–1160. – DOI: 10.1021/acs.estlett.4c00355.

103. Онлайн-версия базы данных Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ [Электронный ресурс] /

Роспотребнадзор; ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана». – URL: <https://www.rpohv.ru/online/> (дата обращения: 10.03.2025).

104. European Parliament and Council. Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (CLP) [Электронный ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj> (дата обращения: 07.01.2026).

105. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans [Электронный ресурс]. – URL: <https://monographs.iarc.who.int/> (дата обращения: 07.01.2026).

106. МР 1.2.0378-25. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Оценка и классификация опасности мутагенов. Методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.05.2025 // КонсультантПлюс: справочная правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_519662/ (дата обращения: 07.01.2026).

107. МР 1.2.0321-23. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Оценка и классификация опасности репродуктивных токсикантов. Методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 04.04.2023 // КонсультантПлюс : справочная правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_467057/ (дата обращения: 07.01.2026).

108. МР 1.2.0313-22. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей. Методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 30.12.2022 // ГАРАНТ : информационно-правовой портал. – URL: <https://base.garant.ru/407868127/> (дата обращения: 07.01.2026).

109. ECHA CHEM: ECHA chemicals database [Электронный ресурс] / European Chemicals Agency. – Helsinki : European Chemicals Agency. – URL: <https://chem.echa.europa.eu/> (дата обращения: 07.01.2026).

110. eChemPortal: Global Portal to Information on Chemical Substances [Электронный ресурс] / Organisation for Economic Co-operation and Development. – URL: <https://www.echemportal.org/echemportal/> (дата обращения: 07.01.2026).

111. CompTox Chemicals Dashboard [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – Version 2.8.0. – URL: <https://comptox.epa.gov/dashboard/> (дата обращения: 07.01.2026).

112. ECOTOX Knowledgebase [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – URL: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/> (дата обращения: 07.01.2026).

113. EnviChem: Data Bank of Environmental Properties of Chemicals [Электронный ресурс] / Finnish Environment Institute (SYKE). – URL: <https://wwwp.ymparisto.fi/scripts/Kemrek/Kemrek.asp?Method=MAKECHEMSEARCHFORM> (дата обращения: 07.01.2026).

114. PubChem [Электронный ресурс]: open chemistry database / National Center for Biotechnology Information, National Library of Medicine, National Institutes of Health. – URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 07.01.2026).

115. S36 | UBAPMT | Prioritised PMT/vPvM substances in the REACH registration database [Электронный ресурс] : dataset / Н. Р. Н. Arp, S. E. Hale, I. Schliebner, M. Neumann. – Version NORMAN-SLE-S36.0.3.0. – Zenodo, 2022. – DOI: 10.5281/zenodo.6482414. – URL: <https://zenodo.org/records/6482414> (дата обращения: 07.01.2026).

116. Особенности формирования доказательной базы при оценке и классификации опасности химических веществ по специфическим и отдалённым эффектам / Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, А. К. Назаренко [и др.] // Токсикологический вестник. – 2025. – Т. 33, № 6. – С. 502–512. – DOI: 10.47470/0869-7922-2025-33-6-502-512.

117. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), Rev. 11 (2025) [Электронный ресурс]. – URL: <https://unece.org/transport/dangerous-goods/ghs-rev11-2025> (дата обращения: 07.01.2026).

118. Научное обоснование национального списка химических веществ, оказывающих воздействие на эндокринную систему / Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, И. В. Замкова [и др.] // Токсикологический вестник. – 2022. – Т. 30, № 2. – С. 108–114. – DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-2-108-114.

119. Предложения по регулированию высокоопасных химических веществ в изделиях / Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, А. К. Назаренко, Д. Н. Рабикова, А. С. Проскурина, И. В. Замкова // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 3. – С. 17–28. – DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.02.

120. Р 2.1.10.3968-23. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания, утв. Роспотребнадзором 06.09.2023: введ. с 01.01.2024. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2023. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=480033> (дата обращения: 07.01.2026).

121. Предложения по усовершенствованию методической и нормативно-правовой базы Российской Федерации в области химической безопасности / Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, А. К. Назаренко, Д. Н. Рабикова, А. С. Проскурина // Токсикологический вестник. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 214–225. – DOI: 10.47470/0869-7922-2023-31-4-214-225.

122. Neumann M. Protecting the sources of our drinking water: The criteria for identifying persistent, mobile and toxic (PMT) substances and very persistent and very mobile (vPvM) substances under EU Regulation REACH (EC) No 1907/2006 / M. Neumann, I. Schliebner. – Dessau-Roßlau : German Environment Agency, 2019. – 87 p. – (UBA TEXTE 127/2019). – URL: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/2019-11-29_texte_127-2019_protecting-sources-drinking-water-pmt.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

123. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/707 of 19 December 2022 amending Regulation (EC) No 1272/2008 as regards hazard classes and criteria for the

classification, labelling and packaging of substances and mixtures // Official Journal of the European Union. – 2023. – L 93. – P. 7–39. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/707/oj/eng (дата обращения: 14.06.2026).

124. Hale S. E. Persistent, mobile and toxic (PMT) and very persistent and very mobile (vPvM) substances pose an equivalent level of concern to persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) and very persistent and very bioaccumulative (vPvB) substances under REACH / S. E. Hale, H. P. H. Arp, I. Schliebner, M. Neumann // Environmental Sciences Europe. – 2020. – Vol. 32. – Article 155. — DOI: 10.1186/s12302-020-00440-4.

125. Arp H. P. H. Assessing the persistence and mobility of organic substances to protect freshwater resources / H. P. H. Arp, S. E. Hale // ACS Environmental Au. – 2022. – Vol. 2, No. 6. – P. 482–509. – DOI: 10.1021/acsenvironau.2c00024.

126. Aumeier B. M. Is sorption technology fit for the removal of persistent and mobile organic contaminants from water? / B. M. Aumeier, A. Georgi, N. Saeidi, G. Sigmund // Science of the Total Environment. – 2023. – Vol. 880. – Article 163343. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163343.

127. OECD. Decision of the Council concerning the Minimum Pre-Marketing Set of Data in the Assessment of Chemicals: OECD/LEGAL/0199 : adopted on 8 December 1982. – Paris : OECD, 2025. – 7 p. – URL: <https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/62/62.en.pdf> (дата обращения: 14.06.2026).

128. OECD. Manual for Investigation of HPV Chemicals. Chapter 2: SIDS, the SIDS Plan and the SIDS Dossier. Annex 1: Guidance for Completing a SIDS Dossier. – Paris: OECD, 2003. – URL: https://www.nies.go.jp/risk_health/seminar/text/h170113/text5-1.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

129. OECD. Manual for Investigation of HPV Chemicals. Chapter 3: Data Evaluation. Guidance for Determining the Quality of Data for the SIDS Dossiers: Reliability, Relevance and Adequacy. – Paris: OECD, 2005. – URL: <https://web-archive-storage.oecd.org/aemint-web-archive-prod/web->

archive/99/9919c6412724ddea9e86c313390452e372613f907d01609ee7ccecf60cefb770.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

130. OECD. Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test // OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. – Paris: OECD Publishing, 2011. – DOI: 10.1787/9789264069923-en.

131. OECD. Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test // OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. – Paris : OECD Publishing, 2004. – DOI: 10.1787/9789264069947-en.

132. OECD. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test // OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. – Paris : OECD Publishing, 2019. – DOI: 10.1787/9789264069961-en.

133. State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012 / ed. by Å. Bergman, J. J. Heindel, S. Jobling, K. A. Kidd, R. T. Zoeller. – Geneva : World Health Organization ; United Nations Environment Programme, 2013. – 260 p. – ISBN 978-92-4-150503-1. – URL: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/state-of-the-science-of-endocrine-disrupting-chemicals> (дата обращения: 14.06.2026).

134. Diamanti-Kandarakis E. Endocrine-disrupting chemicals: an Endocrine Society scientific statement / E. Diamanti-Kandarakis, J.-P. Bourguignon, L. C. Giudice [et al.] // Endocrine Reviews. – 2009. – Vol. 30, No. 4. – P. 293–342. – DOI: 10.1210/er.2009-0002.

135. Современные подходы к оценке и классификации опасности веществ, обладающих мутагенным действием / Х. Х. Хамидулина, Д. Н. Рабикова, Е. В. Тарасова, Т. А. Синицкая, И. В. Замкова, А. К. Назаренко // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 4. – С. 4–13. – DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.01.

136. Gore A. C. EDC-2: The Endocrine Society's second scientific statement on endocrine-disrupting chemicals / A. C. Gore, V. A. Chappell, S. E. Fenton [et al.] // Endocrine Reviews. – 2015. – Vol. 36, No. 6. – P. E1–E150. – DOI: 10.1210/er.2015-1010.

137. Endocrine-disrupting chemicals and breast cancer // Endocrine Society : official website. – 2022. – URL:

<https://www.endocrine.org/journals/endocrinology/endocrine-disrupting-chemicals-and-breast-cancer> (дата обращения: 14.06.2026).

138. Global breast cancer statistics // World Cancer Research Fund International. – URL: <https://www.wcrf.org/preventing-cancer/cancer-types/breast-cancer/global-breast-cancer-statistics/> (дата обращения: 14.06.2026).

139. Ferlay J. Global Cancer Observatory: Cancer Today / J. Ferlay, M. Ervik, F. Lam [et al.]. – Lyon : International Agency for Research on Cancer, 2024. – URL: <https://gco.iarc.fr/today> (дата обращения: 14.06.2026).

140. Злокачественные новообразования в России в 2023 году: заболеваемость и смертность / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, А. О. Шахзадовой. – Москва: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. – 276 с. – URL: <https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2024/08/zis-2023-elektronnaya-versiya.pdf> (дата обращения: 14.06.2026).

141. Jobling S. Widespread sexual disruption in wild fish / S. Jobling, M. Nolan, C. R. Tyler, G. Brighty, J. P. Sumpter // *Environmental Science & Technology*. – 1998. – Vol. 32, No. 17. – P. 2498–2506. – DOI: 10.1021/es9710870.

142. Jobling S. Wild intersex roach (*Rutilus rutilus*) have reduced fertility / S. Jobling, S. Coey, J. G. Whitmore [et al.] // *Biology of Reproduction*. – 2002. – Vol. 67, No. 2. – P. 515–524. – DOI: 10.1095/biolreprod67.2.515.

143. Länge R. Effects of the synthetic estrogen 17 α -ethinylestradiol on the life-cycle of the fathead minnow (*Pimephales promelas*) / R. Länge, T. H. Hutchinson, C. P. Croudace [et al.] // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2001. – Vol. 20, No. 6. – P. 1216–1227. – DOI: 10.1002/etc.5620200610.

144. Nash J. P. Long-term exposure to environmental concentrations of the pharmaceutical ethinylestradiol causes reproductive failure in fish / J. P. Nash, D. E. Kime, L. T. M. Van der Ven [et al.] // *Environmental Health Perspectives*. – 2004. – Vol. 112, No. 17. – P. 1725–1733. – DOI: 10.1289/ehp.7209.

145. Kidd K. A. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen / K. A. Kidd, P. J. Blanchfield, K. H. Mills [et al.] // *Proceedings of the National*

Academy of Sciences of the United States of America. – 2007. – Vol. 104, No. 21. – P. 8897–8901. – DOI: 10.1073/pnas.0609568104.

146. Tyler C. R. Roach, sex, and gender-bending chemicals: the feminization of wild fish in English rivers / C. R. Tyler, S. Jobling // *BioScience*. – 2008. – Vol. 58, No. 11. – P. 1051–1059. – DOI: 10.1641/B581108.

147. OECD. Test No. 229: Fish Short Term Reproduction Assay // *OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2*. – Paris : OECD Publishing, 2012. – 40 p. – DOI: 10.1787/9789264185265-en.

148. OECD. Test No. 234: Fish Sexual Development Test // *OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2*. – Paris : OECD Publishing, 2011. – 44 p. – DOI: 10.1787/9789264122369-en.

149. Методические подходы к выявлению веществ, вызывающих беспокойство, в составе пластика / А. К. Назаренко, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, Н. П. Тарасова // *Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора*. – Ставрополь, 2025. – С. 248–251.

150. Подходы к оценке опасности и регулированию химических веществ в составе пластика, представляющих угрозу для окружающей среды / А. К. Назаренко, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, Н. П. Тарасова, П. Е. Балашов // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. – 2025. – № S1. – С. 124–130.

151. Роль регулирования химических веществ, вызывающих беспокойство, в обеспечении безопасности для здоровья человека и окружающей природной среды / А. К. Назаренко, Н. П. Тарасова, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2024: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием*. – Пермь, 2024. – С. 49–57.

152. ГОСТ 32419-2022. Классификация опасности химической продукции. Общие требования: межгосударственный стандарт: с поправками. – Взамен ГОСТ 32419-2013; введ. 2023-01-01. – Москва: Российский институт стандартизации, 2023. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=7023565> (дата обращения: 14.06.2026).

153. ГОСТ 32424-2013. Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Основные положения: межгосударственный стандарт: с поправкой. – Введ. 2014-08-01. – Москва: Стандартиформ, 2014. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107880> (дата обращения: 14.06.2026).

154. All POPs listed in the Stockholm Convention [Электронный ресурс] // Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: official website. – URL: <https://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx> (дата обращения: 14.06.2026).

155. Схема «Алгоритм создания национальных перечней супертоксикантов, приоритетных для государственного регулирования»: патент на промышленный образец RU 147057 Российская Федерация: заявка № 2025500245: заявл. 20.01.2025: опубл. 17.04.2025 / С. В. Кузьмин, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, Д. Н. Рабикова, А. С. Проскурина, А. К. Назаренко.

156. Разработка и внедрение концепции по замене высокоопасных веществ безопасными химическими альтернативами / Х. Х. Хамидулина, А. С. Проскурина, Е. В. Тарасова // Медицина труда и промышленная экология. – 2022. – Т. 62, № 11. – С. 733–739. – DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-11-733-739.

157. Международные подходы к снижению риска воздействия высокоопасных химических веществ на здоровье человека и выбору критериев их отбора для замещения более безопасными аналогами : обзор литературы / А. С. Проскурина, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова // Токсикологический вестник. – 2022. – Т. 30, № 2. – С. 68–78. – DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-2-68-78.

158. Guidance for Reporting on the Environmental Fate and Transport of the Stressors of Concern in Problem Formulations for Registration Review, Registration

Review Risk Assessments, Listed Species Litigation Assessments, New Chemical Risk Assessments, and Other Relevant Risk Assessments [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/guidance-reporting-environmental-fate-and-transport> (дата обращения: 14.06.2026).

159. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарные правила и нормы: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения: 14.06.2026).

160. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 296 : зарегистрирован в Минюсте России 02.06.2025 № 82497. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202506020069> (дата обращения: 14.06.2026).

161. Al-Malack M. H. Migration of lead from unplasticized polyvinyl chloride pipes / M. H. Al-Malack // *Journal of Hazardous Materials*. – 2001. – Vol. 82, No. 3. – P. 263–274. – DOI: 10.1016/S0304-3894(00)00366-6.

162. Mercea P. V. Migration of stabilizers and plasticizer from recycled polyvinylchloride / P. V. Mercea, C. Losher, M. Petrasch, V. Tosa // *Journal of Vinyl and Additive Technology*. – 2018. – Vol. 24. – P. E112–E124. – DOI: 10.1002/vnl.21609.

163. Turner A. Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts / A. Turner, M. Filella // *Environment International*. – 2021. – Vol. 156. – Article 106622. – DOI: 10.1016/j.envint.2021.106622.

164. Commission Regulation (EU) 2023/923 of 3 May 2023 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 as regards lead and its compounds in PVC //

Official Journal of the European Union. – 2023. – L 123. – P. 1–6. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/923/oj/eng> (дата обращения: 14.06.2026).

165. Lead poisoning // World Health Organization : official website. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> (дата обращения: 14.06.2026).

166. О техническом регулировании химической продукции: постановление Правительства Российской Федерации от 03.06.2026 № 688 : вместе с Техническим регламентом о безопасности химической продукции // Альта-Софт: база данных таможенных документов. – URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/26ps0688/> (дата обращения: 14.06.2026).

167. Brede C. Migration of aniline from polyamide cooking utensils into food simulants / C. Brede, I. Skjevrak // Food Additives and Contaminants. – 2004. – Vol. 21, No. 11. – P. 1115–1124. – DOI: 10.1080/02652030400019349.

168. Follow-up Assessment Report on Aniline / Environment Canada ; Health Canada. – Ottawa, 2011. – URL: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/main/lcpe-cepa/7b18e56f-6bee-4551-ae33-d7b02f45a6d9/aniline_follow_up_en.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

169. Zhu J. Determination of aniline and related mono-aromatic amines in indoor air in selected Canadian residences by a modified thermal desorption GC/MS method / J. Zhu, B. Aikawa // Environment International. – 2004. – Vol. 30, No. 2. – P. 135–143. – DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00168-5.

170. Simoneau C. Technical guidelines on testing the migration of primary aromatic amines from polyamide kitchenware and of formaldehyde from melamine kitchenware / C. Simoneau. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2011. – 58 p. – DOI: 10.2788/4127.

171. Bouma K. Migration of phthalates from PVC toys into saliva simulant by dynamic extraction / K. Bouma, D. J. Schakel // Food Additives and Contaminants. – 2002. – Vol. 19, No. 6. – P. 602–610. – DOI: 10.1080/02652030210125137.

172. Jeon S. Migration of DEHP and DINP into dust from PVC flooring products at different surface temperature / S. Jeon, K.-T. Kim, K. Choi // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 547. – P. 441–446. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.135.

173. Сравнительный анализ токсичности и опасности фталатных пластификаторов для здоровья человека и среды обитания / Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова, А. К. Назаренко, А. С. Тверская, И. В. Замкова, А. С. Проскурина, Д. Н. Рабикова, И. Н. Арасланов, А. А. Жеренова, Д. И. Горбунова, Е. С. Гонюкова, А. Н. Леонтьева // *Токсикологический вестник*. – 2026. – Т. 34, № 1. – С. 61–77. – DOI: 10.47470/0869-7922-2026-34-1-61-77.

174. Fifth Unregulated Contaminant Monitoring Rule [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/dwucmr/fifth-unregulated-contaminant-monitoring-rule> (дата обращения: 14.06.2026).

175. Occurrence Data from the Unregulated Contaminant Monitoring Rule [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/dwucmr/occurrence-data-unregulated-contaminant-monitoring-rule> (дата обращения: 14.06.2026).

176. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) // *Official Journal of the European Union*. – 2020. – L 435. – P. 1–62. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj> (дата обращения: 14.06.2026).

177. Commission Notice C/2024/4910. Technical guidelines regarding methods of analysis for monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water intended for human consumption // *Official Journal of the European Union*. – 2024. – C/2024/4910. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/C/2024/4910/oj/eng> (дата обращения: 14.06.2026).

178. New EU-wide protections against PFAS in drinking water come into effect [Электронный ресурс] // European Commission: official website. – 2026. – 12 January. – URL: https://environment.ec.europa.eu/news/new-eu-rules-limit-pfas-drinking-water-2026-01-12_en (дата обращения: 14.06.2026).

179. Drinking water [Электронный ресурс] // European Commission: official website. – URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/drinking-water_en (дата обращения: 14.06.2026).

180. Подходы к оценке опасности и регулированию в Российской Федерации перфтороктановой кислоты и ее производных / А. К. Назаренко, Н. П. Тарасова, Х. Х. Хамидулина, Е. В. Тарасова // Химия и инженерная экология – XXIV: сборник трудов Международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной Году научно-технологического развития в Республике Татарстан. – Казань, 2024. – С. 141–143.

Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), биоаккумуляции (В), токсичности (Т)»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148667

**СХЕМА «АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ
ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО
КРИТЕРИЯМ СТОЙКОСТИ (Р),
БИОАККУМУЛЯЦИИ (В), ТОКСИЧНОСТИ (Т)»**

Патентообладатель(ли): *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека (RU)*

Автор(ы): *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова Елена
Владимировна (RU), Тарасова Наталия Павловна (RU), Назаренко
Андрей Константинович (RU)*

Заявка № **2025501647**

Приоритет(ы) промышленного образца **24 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре промышленных
образцов Российской Федерации **05 августа 2025 г.**

Срок действия исключительного права
на промышленный образец истекает **24 марта 2030 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 0692e7c1a630c1b54f2401670cc02026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (Р), высокой биоаккумуляции (В)»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148668

СХЕМА «АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ
ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО
КРИТЕРИЯМ ВЫСОКОЙ СТОЙКОСТИ (Р),
ВЫСОКОЙ БИОАККУМУЛЯЦИИ (В)»

Патентообладатель(и): *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека (RU)*

Автор(ы): *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова
Елена Владимировна (RU), Тарасова Наталья Павловна (RU),
Назаренко Андрей Константинович (RU)*

Заявка № 2025501649

Приоритет(ы) промышленного образца 24 марта 2025 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре промышленных
образцов Российской Федерации 05 августа 2025 г.

Срок действия исключительного права
на промышленный образец истекает 24 марта 2030 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат 0692e7c10c300b154f2401670bcca2026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям стойкости (Р), мобильности (М), токсичности (Т)»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148258

**СХЕМА «АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ
ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО
КРИТЕРИЯМ СТОЙКОСТИ (Р), МОБИЛЬНОСТИ (М),
ТОКСИЧНОСТИ (Т)»**

Патентообладатель(и): *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека (RU)*

Автор(ы): *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова Елена
Владимировна (RU), Тарасова Наталия Павловна (RU), Назаренко
Андрей Константинович (RU)*

Заявка № **2025501648**

Приоритет(ы) промышленного образца **24 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре промышленных
образцов Российской Федерации **09 июля 2025 г.**

Срок действия исключительного права
на промышленный образец истекает **24 марта 2030 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0452e7c1e9305e15412604670cc2026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.11.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов



Патент на промышленный образец «Схема «Алгоритм классификации опасности химических веществ по критериям высокой стойкости (Р), высокой мобильности (М)»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148669

**СХЕМА «АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ
ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО
КРИТЕРИЯМ ВЫСОКОЙ СТОЙКОСТИ (Р),
ВЫСОКОЙ МОБИЛЬНОСТИ (М)»**

Патентообладатель(ли): *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека (RU)*

Автор(ы): *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова
Елена Владимировна (RU), Тарасова Наталия Павловна (RU),
Назаренко Андрей Константинович (RU)*

Заявка № **2025501650**

Приоритет(ы) промышленного образца **24 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре промышленных
образцов Российской Федерации **05 августа 2025 г.**

Срок действия исключительного права
на промышленный образец истекает **24 марта 2030 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат 0692e7c1c6200b154126016700cc02026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Опасные для
окружающей среды химические вещества в составе пластика»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2025622946

**«Опасные для окружающей среды химические вещества
в составе пластика»**

Правообладатель: *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека (RU)*

Авторы: *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова
Наталья Павловна (RU), Тарасова Елена Владимировна (RU),
Назаренко Андрей Константинович (RU), Балашов Пётр
Евгеньевич (RU)*

Заявка № **2025622440**
Дата поступления **25 июня 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **10 июля 2025 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Ю.С. Зубов

Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Химические
вещества, вызывающие беспокойство в составе пластика»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных

№ 2025625939

**«Химические вещества, вызывающие беспокойство в
составе пластика»**

Правообладатель: *Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека (RU)*

Авторы: *Хамидулина Халидя Хизбулаевна (RU), Тарасова Елена
Владимировна (RU), Назаренко Андрей Константинович (RU),
Тарасова Наталия Павловна (RU), Проскурина Ангелина Сергеевна
(RU), Ластовецкий Михаил Леонидович (RU), Арасланов Ильгиз
Наилевич (RU), Рабикова Динара Нуруллаевна (RU)*

Заявка № **2025625563**
Дата поступления **28 ноября 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **10 декабря 2025 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Продолжение Приложения 6

Идентификаторы				1 Опасность для здоровья человека и окружающей среды									
№		CAS	EC	M_к	K_к	P_к	ЭР_к	ОВТ_к	ХВТ_к	PBT_6	vPvB_	PMT_	vPv_
13	Кадмий сульфат	10124-36-4	233-331-6	1B		1A	1B		1	1			
14	2,4,6-Трис(проп-2-енилокси)-1,3,5-триазин	101-37-1	202-936-7							2			
15	1-Бром-4-(4-бромфенокси)бензол	101-55-3	202-952-4					2	1	1			
16	N-(1-Метилэтил)-N'-фенил-1,4-бензолдиамин	101-72-4	202-969-7						1	1		1	
17	4,4'-Метиленисбензоламин	101-77-9	202-974-4	2	1B			1B	1	1			
18	4,4'-Оксибисбензоламин	101-80-4	202-977-0	1B	1B		2	2	1	1		1	2
19	1,1-Оксибисбензол	101-84-8	202-981-2						1	2			
20	2-[[3-(Оксиран-2-илметокси)фенокси]метил]оксиран	101-90-6	202-987-5	2	1B								
21	N,N'-Дифенилгуанидин	102-06-7	203-002-1				2			2		1	
22	Дифенилкарбонат	102-09-0	203-005-8							2			

2 Область применения		3 Факторы риска воздействия на здоровье человека и окружающую среду		
Функциональное назначение	Сфера использования	Растворимость в воде 20 °С	Давление пара, 20 °С	Растворимость в жирах
Биоцид; катализатор; техно	о и электронное	нет данных	нелетучее	неорганическое вещество
катализатор; краситель; сши	промышленность; Строитель	13,8	0,001	2,5
антиоксидант; краситель; те	о и электронное	760000	268	неорганическое вещество
катализатор; Мономер	промышленность; Электриче	328	0,1	3,51
Антипирен	промышленность	растворяется	0,2	> 4,5
Антиоксидант; Светостабил	с пищевыми	15	0,007	2,77
изатор; Технологическая	промышленность; Строитель	1010	0,0007	1,55
катализатор; краситель; сши	промышленность; Строитель	48	90	0,72
биоцид; краситель; Промежу	промышленность; Строитель	18	2,7	4,21
сшиватель; промежуточные	с пищевыми	600	0,006	1,46

4 Регуляторный статус вещества													
Стокг_кон	Базел_кон	Мин_кон	ТР ТС 005/2	ТР ТС 007/2	ТР ТС 008/2	ТР ТС 017/	ТР ТС 019/	ТР ТС 025	ТР ЕАЭС	ТР ЕАЭС 04	Атм. воз. (ПДК, ЛПВ, клас	Вода (ПДК, ЛПВ, клас	Рыбхоз (ПДК, ЛПВ, кл
											ОБУВ 0,3	0,1 (общ., 2)	0,15 (токс, 4)
			0,02 мг/м3	0,02 мг/м3	0,02 мг/м3		0,01 мг/м3				0,02/-/0,04(6) (рефл., 3)	0,002 (орг. зап., 4)	0,001 (токс, 3)
			0,002 мг/м3	0,002 мг/м3	0,002 мг/м3	миграция в	0,01 мг/м3	0,002 мг/м3		0,002 мг/м3	0,04/-/0,002 (рефл.-рез, 2)	0,02 (с.-т., 1) <к>	0,1 (орг (запах), 3)
											-/0,02/- (рез., 3)		2,86 по веществу 0,5 в п
											ОБУВ 0,05		
		1											0.00001 (токс. 1) - для

Интерфейс базы данных «Химические вещества, вызывающие обеспокоенность в составе пластика»

Письмо о разработке ГОСТ



115054, г. Москва, ул. Щипок, д. 22 стр. 1
тел. секретариата ТК 339: +7 (495) 157-15-75, доб. 3300
e-mail: tk339@ciscenter.org

Руководителю НИАЦ РПОХБВ
ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф.
Эрисмана»
Хамидулиной Х.Х.

Исх. №	<u>К-26-06-813</u>	от	<u>24.06.2026</u>
На №	<u> </u>	от	<u> </u>

Уважаемая Халидя Хизбулаевна!

Направляем вам информацию о разрабатываемом межгосударственном стандарте.

В рамках реализации Программы межгосударственной стандартизации на 2026–2027 гг. техническим комитетом по стандартизации ТК 339 «Безопасность сырья, материалов и веществ» осуществляется работа по актуализации межгосударственного стандарта ГОСТ 32424-2013 «Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду» (шифр темы ПНС 1.5.339-2.120.25, шифр темы ПМС RU.1.525-2025).

Проект пересматриваемого стандарта разработан Научным информационно-аналитическим центром «Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ» Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (НИАЦ РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора).

Ответственный секретарь
ТК 339 «Безопасность сырья, материалов и веществ»

Кулаков С.А.