

Российский Химико-Технологический Университет имени Д. И. Менделеева

На правах рукописи

Макарова Анна Сергеевна

**Методическое обеспечение и компьютерные
инструменты системного подхода к оценке
воздействия на окружающую среду ртути и ее
соединений**

**05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(в химической технологии)**

Диссертация на соискание ученой степени доктора

технических наук

Научный консультант
Тарасова Наталия Павловна
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СИСТЕМНОМУ ПОДХОДУ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ	21
1.1. Краткий анализ современного состояния научных исследований по системному подходу к оценке воздействия на окружающую среду химических веществ на всех этапах их жизненного цикла.....	21
1.2. Системный анализ физико-химических и токсикологических свойств опасных для окружающей среды химических веществ	28
1.3. Современное математическое и программное обеспечение расчета базовых физико-химических и токсикологических свойств опасных для окружающей среды химических веществ	33
1.4. Краткая характеристика современных инструментов системного подхода к комплексной оценке воздействия на окружающую среду химических веществ.....	41
1.5. Системный анализ показателей уровня опасности ртути и ее соединений для окружающей среды и здоровья человека.....	51
1.6. Выводы	52
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ «ХИМИЧЕСКОГО СЛЕДА».....	54
2.1. Основные этапы методологии оценки воздействия на окружающую среду химических веществ с применением концепции «экологического следа»	54
2.2. Эвристическо-вычислительный алгоритм принятия решений по оценке «химического следа»	60

2.3. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «USEТОХ» ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИСПЕРСИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ.....	63
2.4. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕНОСА И МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	70
2.5. Выводы	85

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ86

3.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭВРИСТИЧЕСКО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	86
3.2. МЕТОДИКА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ, ЭКОНОМИЧЕСКИМИ И СОЦИАЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ОБРАЩЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РФ.....	94
3.3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ АКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИЙСКИМИ ХИМИЧЕСКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ «ЗЕЛЕННЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ	105
3.4. МЕТОДИКА СБОРА И ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ИНФОРМАЦИИ ОТ НАСЕЛЕНИЯ О ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ	124
3.4.1. Сравнительный анализ эффективности различных систем информирования населения об опасном воздействии химических веществ	125
3.4.2. Системный анализ результатов социологического опроса об оценке восприятия населением информации о воздействии химических веществ в Российской Федерации	131
3.5. Выводы	137

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ.....	139
4.1. Логико-вычислительный алгоритм обработки информации о воздействии на окружающую среду предприятий химического комплекса и смежных отраслей.....	140
4.2. Логико-вычислительный алгоритм поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ресурсоэнергоэффективных химико-технологических систем	153
4.3. Логико-вычислительный алгоритм выбора приоритетности по уровню опасного воздействия химических веществ на окружающую среду в глобальном и региональном масштабах	156
4.4. Логико-вычислительный алгоритм многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных для окружающей среды химических веществ.....	160
4.5. Выводы	174
ГЛАВА 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ.....	176
5.1. Методика оценки и визуализации основных источников поступления в окружающую среду ртути и ее соединений с использованием географических информационных систем.....	176
5.2. Разработка логико-информационных моделей процессов поступления в окружающую среду ртути и ее соединений от различных природно-техногенных источников.....	178
5.2.1. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении углеводородных ресурсов.....	178

5.2.2. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути в и ее соединений при извлечении металлов.....	186
5.2.3. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений в результате ее использования в промышленных процессах производств	190
5.2.4. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений из промышленных и бытовых приборов	193
5.3. Методика поиска, обработки и визуализации информации о фактическом содержании в подсистемах окружающей среды ртути и ее соединений.	195
5.4. Выводы	204

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ ПО ПРИОБРЕТЕНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ О ПОСТУПЛЕНИИ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 206

6.1. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении угля....	207
6.2. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении нефти.....	213
6.3. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении природного газа	221
6.4. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при производстве цветных металлов	225

6.5. АЛГОРИТМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ПОСТУПЛЕНИЮ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	238
6.5.1. Хлор-щелочное производство с использованием ртутной технологии.....	238
6.5.2. Производство мономера винилхлорида с использованием дихлорида ртути как катализатора.....	242
6.6. АЛГОРИТМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ПОСТУПЛЕНИЮ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ БЫТОВОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	245
6.6.1. Ртутные термометры	245
6.6.2. Ртуть-содержащие источники света	246
6.7. Выводы	251
ГЛАВА 7. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕШЕНИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБАХ.....	252
7.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ.....	252
7.2. АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ В РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ «USEТОХ»	261
7.3. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО РАСЧЕТА «ХИМИЧЕСКОГО СЛЕДА» РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ	264
7.4. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ КРИТЕРИЕВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИОРИТИЗАЦИИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ	269
7.5. Выводы.....	272
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ.....	274
СПИСОК ОСНОВНЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	277

СПИСОК РУССКОЯЗЫЧНЫХ АББРЕВИАТУР	279
СПИСОК АНГЛОЯЗЫЧНЫХ АББРЕВИАТУР	280
ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ.....	281
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	287
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	316
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ОПАСНЫХ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ	324
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ, УСТАНОВЛЕН- НЫЕ ДЛЯ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПОДСИС- ТЕМАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	329
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРИМЕРЫ ТРЕНДОВ И ИНДИКАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ОБРАЩЕНИЯ ХВ В РФ.	332
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ОСНОВНЫЕ ФРАГМЕНТЫ ТАБЛИЦ СВОДНЫХ ДАННЫХ ПО ПОСТУЛЕНИЮ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	336
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. КОПИИ СВИДЕТЕЛЬСТВ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ И БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ЭВМ.....	364
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СПРАВКИ О ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ	367
6.1. Справка ОАО «Научно-исследовательский институт охраны атмо- сферного воздуха» (ОАО «НИИ Атмосфера»)	367
6.2. Справка ООО «Колтек-ЭкоХим»	369
6.3. Справка ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский ин- ститут стандартизации оборонной продукции и технологий»	370

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность научно-технической проблемы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) химических веществ (ХВ) обусловлена рядом факторов:

- широким использованием ХВ и содержащей их продукции для повышения уровня жизни, общественного здравоохранения и защиты окружающей среды (ОС), приводящим к увеличению масштабов производства в химической и нефтехимической отраслях (в докладе Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР)¹ об экологической перспективе до 2050 г. отмечено, что с 2000 до 2009 г. годовые объемы продаж ХВ во всем мире удвоились и продолжают расти экспоненциально, в Российской Федерации (РФ) развитие химической отрасли и смежных с ней отраслей является одной из стратегических задач²), сопровождающихся увеличением сбросов и выбросов ХВ в окружающую среду, а также возрастанием объемов отходов производства и потребления;

- широким использованием во всех сферах жизнедеятельности человека (дом, одежда, лекарственные средства, бытовая химия, агрохимикаты, удобрения и т.д.) большого количества малоизученных ХВ, синтезированных человеком и не имеющих природных аналогов, воздействие которых на окружающую среду (ВОС) может носить значимый и непредсказуемый характер, как это было, например, с фреонами или перфторсоединениями^{3,4};

- отсутствием методологии системного анализа комплексной ОВОС большого количества ХВ и их смесей, одновременно находящихся в обраче-

¹ Доклад ОЭСР. Environmental Outlook to 2050. OECD, 2012. URL: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm>.

² Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ и Министерства энергетики РФ от 14 января 2016 г.

³ Global Chemicals Outlook. ЮНЕП, 2012. http://www.unep.org/pdf/GCO_Synthesis%20Report_CBDTIE_UNEP_September5_2012.pdf

⁴ Strategic Framework for Chemicals in the Asia Pacific Region By the APEC Chemical Dialogue, 2011 (2011/SOM3/CD/018) <http://www.apec.org/>

нии.

В диссертационной работе поставлена и решена новая актуальная научная проблема разработки методического обеспечения и компьютерных инструментов системного подхода к ОВОС особо опасных ХВ, к которым относятся ртуть и ее соединения (далее Ch^{Hg}). Необходимость рентабельного экологически безопасного использования в экономике ХВ с одновременным обеспечением безопасности для ОС и человека отмечена в главе 19 принятого на конференции ООН по ОС и развитию в 1992 г. итогового документа «Повестка дня на XXI век», в котором указано, что *«Интенсивное использование химических веществ необходимо для решения социальных и экономических задач мирового сообщества, и современная передовая практика показывает, что они могут широко применяться при достаточной рентабельности и высокой степени безопасности»*⁵. Однако быстрое развитие современного общества часто сопровождается усилением воздействия ХВ на ОС и здоровье человека [1], в том числе серьезные проблемы для ОС представляют увеличение разнообразия и объемов производства и использования ХВ, появление более длинных и сложных цепей поставок ХВ и утилизации их отходов. В обзоре³, сделанном Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) в 2012 г., отмечено, что мировой уровень обеспечения безопасности при обращении ХВ является недостаточным. Химические вещества, попадающие в ОС в составе сбросов, выбросов предприятий, а также в составе отходов производства и потребления (так же как и ХВ, намеренно вносимые в ОС с целью получения того или иного выгодного человеку эффекта, например, агрохимикаты), становятся причиной негативных изменений ОС. Например, в результате чрезмерного использования удобрений существенно изменен биогенный цикл азота [2], а результатом развития металлургических производств и сжигания ископаемого топлива является увеличение содержания Ch^{Hg} в атмосфере, воде, почве и биоте. В исследованиях, опубликованных учеными, показано, что последние антропогенные отложе-

⁵ Повестка дня на 21 век. ООН, 1992 (A/CONF.151/26/REV.1 (VOL.I) + Corr.1.).
http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml

ния содержат новые минералы, отражая быстрое глобальное распространение новых веществ и материалов, в том числе бетон и пластик, которые образуются в изобилии [3].

Подобное положение дел приводит к тому, что в 2012 г. в резолюции ООН констатируется, что неинфекционные заболевания, в том числе связанные с состоянием ОС, - это один из основных вызовов развитию человечества в XXI веке, а рациональное использование ХВ имеет важнейшее значение для защиты ОС⁶.

В РФ попытки снизить до приемлемых уровней химическую нагрузку на ОС на национальном уровне предпринимались неоднократно [4]. Еще в 1987 г. в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 1022 от 04.09.1987 г. «Об ускоренном развитии приоритетных направлений химической науки и технологии» одним из приоритетных направлений исследований были названы химическая безопасность и охрана ОС. В 2008 г. была принята Концепция федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009 – 2014 годы)». Вместе с тем, химическая безопасность была одним из пунктов, упрежденных в 2008 г. Концепцией долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г.; в 2009 г. стратегией национальной безопасности РФ до 2020 г.; в 2012 г. Основами государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 г., в 2014 г. Госпрограммой РФ «Охрана окружающей среды на 2012 – 2020 годы».

Необходимо отметить, что хотя мировые исследования антропогенного воздействия отдельных ХВ на подсистемы ОС (атмосферу, гидросферу и литосферу/почву) в широко распространены и учёными предложены методы ОВОС химических веществ, но, к сожалению, большинство проводимых исследований ориентированы на конкретные ХВ и на конкретные территории и трудно применимы для других регионов из-за различий в составах их почв, рельефах, рас-

⁶ Будущее, которого мы хотим. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН, 2012 (A/RES/66/288). <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/RES/66/288>

пределении водных ресурсов и т.д. Большинство этих методов требуют наличия больших массивов специфических данных и поэтому не могут быть использованы для разработки общей методологии системного подхода к глобальным или региональным оценкам и прогнозам ВОС химических веществ. Полученное в результате ОВОС отсутствие превышений установленных допустимых норм для отдельно взятых ХВ не может свидетельствовать об отсутствии комплексного ВОС сложной смеси находящихся в обращении веществ. Однако из-за отсутствия общей методологии и доступных компьютерных инструментов комплексная оценка химической нагрузки на ОС практически не проводится.

Сh^{Hg} вызывают наибольшую обеспокоенность во всем мире, что нашло свое отражение в принятии в 2013 г. Минаматской конвенции о ртути. РФ подписала данную конвенцию в 2014 г.⁷ и в настоящее время готовится к ее ратификации. В связи с этим весьма важна научно-обоснованная разработка национального плана действий, включающего определение антропогенных источников Сh^{Hg}.

На основании вышеизложенного новая научная проблема разработки методических основ, логико-информационных и математических моделей, алгоритмов и компьютерных инструментов системного подхода к ОВОС химических веществ и практическое применение разработанных методик, моделей и компьютерных инструментов ОВОС и приоритизации по уровню опасности природно-техногенных источников поступления в окружающую среду Сh^{Hg} имеет **несомненную актуальность**.

Актуальность диссертационного исследования также подтверждается тем, что основные разделы диссертационной работы соответствуют пункту Плана фундаментальных научных исследований РАН до 2025 г.: «7.23 Изменение природно-территориальных комплексов России в зонах интенсивного техногенного воздействия; основы рационального природопользования»; Перечню критических технологий: «21 Технологии предупреждения и ликвидации чрез-

⁷ Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2014 N 1242-р "О подписании Минаматской конвенции по ртути"

вычайных ситуаций природного и техногенного характера», определенных в Указе Президента РФ № 899 от 07.07.2011 г. «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»; Указу Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г. «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»

Основные разделы диссертации выполнены при финансовой поддержке РНФ (соглашение 15-17-30016), Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания (проект № 1294) и в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 5.2598.2014/К).

Цель диссертационной работы - создание методического обеспечения и компьютерных инструментов системного подхода к принятию решений по ОВОС химических веществ и применение разработанных компьютерных инструментов для оценки и приоритизации по уровню опасности природно-техногенных источников поступления в окружающую среду Ch^{Hg} на территории Российской Федерации.

Для реализации указанной цели поставлены и решены следующие взаимосвязанные основные научно-технические **задачи**:

1. Разработка комплексной методики системного подхода к принятию решений по ОВОС химических веществ с учетом концепций «планетарных границ» и «экологического следа», а также с использованием процедур дифференцированного расчета констант скоростей переноса ХВ в пресноводных объектах гидросферы.

2. Создание методологии и проведение системного анализа социо-эколого-экономических индикаторов ОВОС химических веществ в РФ, с учетом оценки применения на химических предприятиях (ХП) и в целях поставок для ХП «зеленых» технологий, энергоресурсоэффективных экологически безопасных ХТС, а также процедур анализа больших массивов информации от населения о воздействии ХВ.

3. Разработка логико-вычислительных алгоритмов (ЛВА) поддержки принятия решения по снижению ВОС химических производств, ХТС и отдельных веществ.

4. Сбор и анализ больших массивов данных по поступлению Ch^{Hg} в ОС от различных природно-техногенных источников с использованием инструментов функционального логико-информационного моделирования, а также алгоритмов принятия решений по приобретению и обработке дополнительных массивов данных.

5. Системный анализ ВОС ртути и ее соединений на территории РФ, разработка научно-обоснованного прогноза (до 2050 г.) влияния климатических изменений и регулирующих воздействий для поддержки принятия научно-обоснованных решений о приоритизации по уровню опасности природно-техногенных источников поступления Ch^{Hg} в ОС.

6. Разработка научно-обоснованных предложений для Министерства природных ресурсов РФ по формированию национального плана действий по минимизации ВОС и здоровью человека Ch^{Hg} , являющегося необходимым документом в случае ратификации РФ Минаматской конвенции о ртути.

Методы реализации поставленной цели и решения задач: методология системного анализа сложных техногенно-природных объектов, в том числе производств и цепей поставок нефтехимического, топливно-энергетического и металлургического комплексов; применение современных методов и инструментов переработки больших массивов данных с использованием: географических информационных систем (ГИС), эвристическо-вычислительных методов, методов математической статистики и вычислительной математики, методологии создания проблемно-ориентированных комплексов программ и информационных систем поддержки принятия решений.

Научная новизна состоит в следующем:

1. Сформулирована общая инженерно-технологическая и формализованная постановка задачи ОВОС химических веществ на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦ).

2. Разработана комплексная методика ОВОС химических веществ, отличающаяся учетом концепций «планетарных границ» и применения концепции «экологического следа», использованием методологии оценки ЖЦ, математических моделей процессов трансформации, миграции и массопереноса ХВ в различных подсистемах ОС, а также использованием показателей гигиенического нормирования ХВ в различных подсистемах ОС, что позволяет комплексно оценивать значение интегральной химической нагрузки от одновременного обращения большого количества ХВ в глобальном и в региональном масштабах.

3. Предложен алгоритм расчета констант массопереноса ХВ в гидросфере, отличающийся использованием ГИС и стандартной математической модели массопереноса ХВ в подсистеме ОС, а также универсального программного комплекса «USEtox», что позволяет получить большие массивы данных о перемещении ХВ в водных потоках и их накоплении в объектах гидросферы в глобальном и региональном масштабах.

4. Разработана и практически применена методология оценки востребованности для широкого применения производствами и цепями поставок ХП «зеленых» технологий и энергоресурсоэффективных ХТС, отличающаяся использованием методологии системного подхода к проведению социологических опросов и процедур систематизации больших массивов данных, что позволяет реально оценивать возможность снижения экологической опасности производства и потребления опасных химических веществ в РФ.

5. Разработана и практически применена методика сбора и обработки больших массивов информации от населения по его осведомленности о потенциальных опасностях ХВ, отличающаяся использованием методологии системного подхода к проведению социологических опросов и эффективных процедур обработки больших массивов неравномерных данных, что позволяет определить уровень уязвимости и защищенности населения от воздействия ХВ, а также способность населения распознать ХВ опасные для ОС и сократить их потребление.

6. Предложены оригинальные ЛВА поддержки принятия решения по снижению ВОС:

– ЛВА-1 обработки информации от ХП о ВОС, отличающийся переработкой больших массивов многолетних данных от ряда производств и использованием методологии многокритериального анализа представленных предприятиями показателей, что позволяет, несмотря на наличие объективных пробелов в предоставляемых больших массивах данных, оценить эффективность планируемых природоохранных мероприятий, а также повысить уровень заинтересованности и добровольной вовлеченности ХП в разработку и реализацию мероприятий по энергоресурсосбережению и охране ОС, в том числе, в мероприятиях по реализации международной общественной программы «Ответственная Забота» (англ. Responsible Care®⁸, далее RC);

– ЛВА-2 поддержки принятия решений по выбору экологически безопасных ХТС, отличающиеся использованием методов многокритериального системного анализа, и принципов «зеленой» химии, логистики ресурсосбережения и теории энергоресурсоэффективных ХТС, что позволяет, сравнивая однотипные ХТС, осуществить научно-обоснованный выбор наиболее безопасных по комплексному ВОС химико-технологических систем;

– ЛВА-3 выбора приоритетных ХВ по ВОС в глобальном и региональном масштабе, отличающийся использованием данных об опасных для ОС и здоровья человека свойствах ХВ с учетом объема их поступления, географического распределения, информации по регулированию обращения ХВ и наличием нормативно-правовой базы, что позволяет значительно упростить и ускорить ОВОС, а также выбрать из всего объема находящихся в обращении на исследуемой территории ХВ наиболее значимые по опасному ВОС;

– ЛВА-4 многокритериального анализа вариантов замены производства и использования экологически опасных ХВ с учетом экономических показателей эффективности, отличающийся использованием методологии многокрите-

⁸ Международный совет химической ассоциаций (англ. International Council of Chemical Associations). Электронный ресурс посвященный программе «Ответственная Забота» <https://www.icca-chem.org/responsible-care/>

риального анализа результатов экспертных опросов для оценки достоверности данных и процедуры ранжирования больших массивов данных, что позволяет принимать научно-обоснованные решения по определению менее опасных эквивалентных химических веществ в ХТС.

7. Разработаны логико-информационные модели (ЛИМ) поступления Ch^{Hg} в ОС от различных природно-техногенных источников, отличающиеся использованием стандартных инструментов функционального логико-информационного моделирования (IDEF) и др., что позволяет накапливать и анализировать большие массивы данных о количестве поступления Ch^{Hg} в ОС.

8. Разработаны процедуры принятия решений по приобретению дополнительных данных о поступлении Ch^{Hg} в ОС от различных ХТС, отличающиеся детальным анализом пробелов в больших массивах неоднородных данных, применением концепции оценки ЖЦ и процедур расчета дополнительных данных на основе методов интерполяции и экстраполяции, что позволяет достоверно рассчитывать и прогнозировать показатели поступления Ch^{Hg} в ОС.

9. Разработаны методика и алгоритмы компьютерного анализа различных сценариев поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС, отличающиеся использованием реализуемых в РФ долгосрочных Стратегий развития химического, нефтехимического, металлургического и топливно-энергетического комплексов, климатических математических моделей и ГИС, что позволяет прогнозировать возможные изменения в поступлении Ch^{Hg} в ОС, определять уровни приоритизации опасностей природно-техногенных источников поступления в ОС ртути и ее соединений и разработать научно-обоснованные рекомендации для Минприроды РФ и других заинтересованных организаций по составлению планов инженерно-технологических и организационно-политических мероприятий при ратификации РФ Минаматской Конвенции о ртути⁹.

Практическая значимость диссертационной работы.

1. Основные положения выводы и рекомендации диссертационной рабо-

⁹ Минаматская конвенция о ртути. ЮНЕП. 2017. <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-rus-full.pdf>

ты включены в научно-исследовательские отчеты ОАО «НИИ Атмосфера», выполненные в рамках гранта PCA/2013/030 GLF-2310-2760-4C83 «Пилотный проект по формированию кадастра выбросов ртути в РФ» от 02.02.2013.

2. Основные результаты диссертационной работы практически использованы при сборе, накоплении и обобщении информации, необходимой для формирования кадастра источников поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС в РФ и разработке критериев их приоритизации.

3. С использованием результатов диссертационной работы подготовлены соответствующие научно-обоснованные предложения для Минприроды РФ по формированию национального плана действий требуемого при ратификации Минаматской конвенции о ртути.

4. Научно-исследовательские разработки автора по оценке опасности ХВ используются в деятельности ООО «Колтек-ЭкоХим» и ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации оборонной продукции и технологий».

5. Основные научно-практические результаты диссертационной работы практически использованы при разработке оригинальных лекционных и учебно-методических материалов при обучении студентов по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование» и проведении курсов повышения квалификации для работников промышленности, читаемых автором в РХТУ имени Д. И. Менделеева с 2012 г. по настоящее время.

На защиту выносятся следующие результаты теоретических исследований, имеющих научную и практическую значимость:

1. Комплексная методика ОВОС химических веществ с учетом концепций «планетарных границ» и «экологического следа».

2. Алгоритм расчета и визуализации информации о константах скоростей переноса ХВ в гидросфере с использованием ГИС.

3. Системный анализ актуальности активного использования ХП в РФ «зеленых» технологий, методов логистики ресурсосбережения и теории энерго-ресурсоэффективных ХТС, которые позволяют снизить объемы производства и

потребления опасных ХВ.

4. Методика сбора и обработки больших массивов неоднородной информации от населения о воздействии ХВ.

5. Комплекс ЛВА поддержки принятия решения по снижению ВОС: алгоритм обработки информации о ВОС химических производств; алгоритм поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для ОС химико-технологических систем; алгоритм выбора приоритетности по уровню опасного ВОС химических веществ в глобальном и региональном масштабах; алгоритм многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ.

6. Логико-информационные модели (ЛИМ) поступления Ch^{Hg} в ОС от различных природно-техногенных источников.

7. Результаты оценки «химического следа» для ртути и ее соединения (далее ChF^{Hg}) в РФ с использованием предложенной комплексной методики ОВОС химических веществ и комплекса программ «USEtox».

8. Методика компьютерного анализа различных сценариев поступления Ch^{Hg} в ОС с учетом стратегий развития промышленности и с учетом двух климатических сценариев.

9. Результаты системного анализа и приоритизации по уровню опасности природно-техногенных источников поступления Ch^{Hg} в ОС.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов диссертационной работы обусловлена корректностью использования автором методологии системного подхода и методов математического моделирования, принципов «зеленой» химии, методов теории сложных систем и методов логистики ресурсосбережения. Достоверность разработанной методики ОВОС химических веществ подтверждается корректным сопоставлением полученных расчетных данных с экспериментальными данными измерений содержания Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС. Результаты диссертационной работы не противоречат ранее полученным известным результатам других авторов в области методологии системного подхода и методов ОВОС химических веществ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях:

- *За рубежом:* ChemCon Europe, г. Прага (Чехия), март, 2010 г.; 3-я конференция стран СНГ «Регулирование безопасности химической продукции. Рекомендации ООН и Европейские регламенты», г. Баку (Азербайджан), сентябрь, 2010 г.; 4-я конференция стран СНГ по регулированию безопасности химической продукции «Рекомендации ООН-СНГ. Европейские регламенты REACH и CLP», г. Астана (Казахстан), октябрь, 2011 г.; 44th IUPAC World Chemistry Congress, г. Стамбул (Турция), август, 2013 г.; III Международная конференция по химии и химической технологии, г. Ереван (Армения), сентябрь, 2013 г.; 5th International IUPAC Conference on Green Chemistry, г. Дурбан (ЮАР), август, 2014 г.; Международная конференция: «Responsible Care: Промышленная безопасность, охрана труда, экология – лучшие практики HSE на предприятиях BASF», г. Мангейм (Германия), июль, 2014 г.; 6th International IUPAC Conference on Green Chemistry, г. Венеция (Италия), сентябрь, 2016 г.; 46th IUPAC World Chemistry Congress, г. Сан-Пауло (Бразилия), июль, 2017 г.

- *В России:* 2-й Научно-практический семинар «Безопасность химической продукции», на базе ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», июль, 2011 г.; Конференция по охране труда, промышленной безопасности и охране окружающей среды в СИБУРе, г. Пермь, апрель, 2014 г.; XI Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы индустриальных мегаполисов», г. Москва, май, 2014 г.; 5-я Международная конференция-школа по химической технологии (ХТ-5-16), г. Волгоград, май, 2016 г.; XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, г. Екатеринбург, сентябрь, 2016 г.; Научно-практическая конференция по экологическим проблемам Московского региона, г. Москва, октябрь, 2016 г.; 7-я Международная конференция ИЮПАК по зеленой химии, г. Москва, октябрь, 2017 г.; XI Международная научно-практическая конференция «ЛЭРЭП -11-2017», г. Тула, ноябрь, 2017 г., Конференция EURO2017 "Эффективность и устойчивое развитие перерабатывающих отраслей промышленности", г. Москва, ноябрь, 2017 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано **70 научных работ**, в том числе: **17 публикаций** в журналах, рекомендованных ВАК; **15 публикаций** в журналах, индексируемых в международных системах SCOPUS и Web of Science; **1 публикация** в журнале, входящем в европейский индекс цитирования (ERIH).

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СИСТЕМНОМУ ПОДХОДУ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

1.1. Краткий анализ современного состояния научных исследований по системному подходу к оценке воздействия на окружающую среду химических веществ на всех этапах их жизненного цикла.

Начиная с 1990-х годов по настоящее время под научным руководством академика РАН Мешалкина В. П. в РХТУ имени Д. И. Менделеева активно проводятся оригинальные научные исследования по информатизации [5], компьютеризации [6] и математическому моделированию экологических систем [7,8] и ОВОС химико-технологических систем [9,10], включая научные работы профессоров Бутусова О. М. [11,12], Панарина В. М. [13].

Основные методы и инструменты системного анализа при решении задач ОВОС предложены в работах отечественных ученых: академиков РАН Моисеева Н. Н. [14], Марчука Г. И. [15] и Саркисяна С. А. [16], профессоров Комиссарова Ю. А. [17], Чепурных Н. В., Новоселова А. Л., Дунаевского Л. В. [18,19], Егорова А. Ф. [20], Савицкой Т. В. [21] и зарубежных ученых: М. L. McKinney [22], A. Gnauk [23], L. Posthuma [24,25], M. C. Zijp [26], J. J. Klemeš [27,28], R. K. Rosenbaum [29] и др. Российские ученые (чл.-корр. РАН Ягодин Г. А. [30] и чл.-корр. РАН Тарасова Н. П. [31]; академики РАН Каптюг В. А. [32], Белецкая И. П. [33,34] и Лунин В. В. [35,36]) и зарубежные ученые (P. Tundo, M. Poliakoff, P. Anastas [37]) проводят научные исследования по применению принципов «зеленой» химии для решения задач минимизации ВОС химических веществ.

Ряд российских ученых активно используют методы системного анализа

в ОВОС. Телегиной М. В. [38] представлена методология анализа и оценки ситуации в зоне влияния ХП, на которых находятся в обращении чрезвычайно опасные ХВ, включая методики и алгоритмы обработки, визуализации и анализа получаемых данных и систему поддержки принятия решений по минимизации риска негативного ВОС. Степанченко И. В. разработан метод поддержки принятия решений при загрязнении атмосферы ХВ и идентификации источников поступления ХВ в атмосферу [39]. Пановой С. А. на основе системного подхода проведен анализ взаимодействия ХП, ОС и социума [40] в результате которого разработана структура базы данных (БД) экологического контроллинга и мониторинга ХП и методов и алгоритмов поддержки принятия решений для научно обоснованного выбора технологических систем. Колыбановым К. Ю. проведен системный анализ информационных систем экологического мониторинга ХП [41]. Влияние различных неблагоприятных факторов на подсистемы ОС и на здоровье человека, включая химическое загрязнение, представлено в работах Пляскиной И. В. [42]. Ряд отдельных работ российских ученых посвящено приемам работы в условиях нехватки данных и неопределенности имеющейся информации [43], что является частой проблемой ОВОС.

Формирование современных подходов к ОВОС химических веществ началось с решений, принятых Конференцией ООН по ОС и развитию в 1992 г. В главе 19 принятого на конференции итогового документа «Повестка дня на XXI век» были определены следующие задачи:

- усовершенствовать оценку опасности ХВ;
- создать международную систему классификацию опасности ХВ;
- организовать обмен информацией по вопросам химической безопасности между всеми заинтересованными сторонами;
- устранить неприемлемые или необоснованные риски и уменьшить опасность ХВ на протяжении жизненного цикла.

Жизненный цикл (ЖЦ) химического вещества включает все стадии обращения ХВ: получение исходного сырья, подготовка к производству, производство, применение (в том числе и в составе продукции), утилизация или по-

вторное использование и удаление [37]; также к полному ЖЦ причисляют процессы транспортировки и хранения ХВ [44].

Однако спустя почти 15 лет, в 2006 г. в Дубае (Объединённые Арабские Эмираты) на Международной конференции по управлению химическими веществами (ИССМ) было отмечено причинение значимого вреда ОС в глобальном масштабе. В качестве мер по снижению воздействия ХВ на окружающую среду на ИССМ был принят «Стратегический подход к международному регулированию химических веществ» (далее СПМРХВ), включающий в себя три документа: Дубайскую декларацию, Общепрограммную стратегию и Глобальный план действий. СПМРХВ содержит обязательства стран по сокращению рисков для ОС и здоровья человека и обеспечения безопасного обращения ХВ на протяжении всего ЖЦ. Для выполнения этих обязательств необходимо наличие достаточной для ОВОС информации об опасных свойствах ХВ и свободного доступа к этим данным для всех заинтересованных лиц¹⁰.

Помимо СПМРХВ были организованы и другие программы ОВОС химических веществ. В рамках программы по химической безопасности стран-членов ОЭСР разработаны требования¹¹ к проведению испытаний и тестированию ХВ [33]. Химический Диалог Азиатско-тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) [45] принял стратегическую программу по управлению ХВ в Азиатско-Тихоокеанском регионе под названием «Химия в целях устойчивого и инновационного развития»⁴, в рамках которой разработаны ключевые принципы выбора наилучших практик регулирования ХВ, опирающиеся на оценку опасности и менеджмент рисков ХВ¹². Образцом стратегий в области ОВОС химических веществ и управления рисками при их обращении, успешно реализуемых в настоящее время на практике, является «Белая книга» Европей-

¹⁰ Стратегический подход к международному регулированию веществ. ЮНЕП, 2007. <http://www.saicm.org/Portals/12/documents/saicmtxts/SAICM-publication-RU.pdf>

¹¹ ОЭСР. Документы Совета имеющие отношение к веществам (OECD Council Acts Related to Chemicals). <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/>

¹² APEC Chemical Dialogue. Principles for Best Practice Chemical Regulation. 2012/SOM1/CDSG/014. <http://www.apec.org/>

ского союза (ЕС)¹³. В «Белой книге» ЕС в качестве одного из региональных интересов была заявлена возможность производства и продажи ХВ без проведения обязательного тестирования на животных, поскольку *«охрана ОС, в том числе диких животных, должна быть сбалансирована поддержанием благополучия лабораторных животных, что, в свою очередь, приводит к необходимости стимулировать развитие альтернативных методов тестирования»*.

Все перечисленные выше инициативы учитываются при создании в различных странах национальных систем ОВОС химических веществ и минимизации риска при их обращении. В разработанных Агентством по охране окружающей среды (EPA) США «Основных принципах реформирования законодательства по регулированию ХВ»¹⁴ отмечена необходимость наличия достоверной информации о том, что производимые и продаваемые ХВ важны для экономического развития страны и являются безопасными для ОС. Дополнительно EPA разработана стратегия регулирования имеющихся на рынке ХВ¹⁵. В КНР основными целями вносимых изменений в законодательство является усиление контроля за обеспечением безопасности при обращении ХВ и защита ОС [46] посредством развития собственной лабораторной базы для оценки опасных свойств ХВ (физико-химических характеристик, показателей токсичности и экотоксичности) [47,48]. Турция в своем законодательстве упорядочивает нормы учета и контроля ХВ, полагая, что это будет способствовать снижению риска для ОС, в том числе за счет ограничения и сокращения обращения наиболее опасных для окружающей среды ХВ [47]. В Коста-Рике (в качестве национальных приоритетов идентифицированы: создание регистров выбросов и переноса опасных для ОС химических веществ; создание системы контроля и мониторинга за обращением ХВ; организация проведения исследований загрязненных территорий. В Гаити одним из национальных приоритетов является загрязнение

¹³ White Paper. Strategy for a future Chemicals Policy. COM(2001) 88 final. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52001DC0088>

¹⁴ EPA US. Essential Principles for Reform of Chemicals Management Legislation. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/principles.pdf>

¹⁵ EPA US. EPA's Existing Chemicals Program Strategy

подземных и питьевых вод ХВ¹⁶.

Для решения обозначенной в «Повестке дня на XXI век» задачи создания единой международной системы ОВОС химических веществ ООН в 2002 г. разработала Рекомендации «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции» (далее Рекомендации ООН – СГС) [49]. В соответствии с Рекомендациями ООН - СГС процедура оценки опасности ХВ состоит из пяти этапов [49,50]:

Этап 1. Идентификация ХВ - первый этап большинства систем по ОВОС химических веществ. Вопросам идентификации ХВ посвящены многочисленные документы, например, порядок проведения идентификации ХВ в ЕС описан в руководстве¹⁷ и приложениях к нему¹⁸, дополнительно Европейской ассоциации производителей стали (EUROFER) представлен подход к идентификации ХВ, применяемых в черной металлургии¹⁹. В РФ методическое обеспечение идентификации ХВ не разработано.

Этап 2. Поиск информации об опасных свойствах ХВ, обуславливающих их негативное воздействие на здоровье человека и ОС. На данном этапе проводится сбор и обработка имеющейся в различных литературных источниках и БД информации об опасных свойствах ХВ (при оценке смеси веществ возможен поиск информации для отдельных ХВ, являющихся компонентами смеси). Данные, используемые для ОВОС и здоровье человека, могут быть получены из протоколов лабораторных испытаний, отчетов о профессиональных заболеваниях, БД, научных отчетов, отчетов, составленных в ходе реализации международных программ²⁰.

Этап 3. Оценка полноты и достоверности найденной информации. Ана-

¹⁶ Руководство по разработке планов по внедрению СПМРХ. SAICM/UNITAR/IOMC

¹⁷ European Chemicals Agency (2012). Guidance for identification and naming of substances under REACH. http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/substance_id_en.pdf

¹⁸ European Chemicals Agency (2011). Guidance on requirements for substances in articles. http://echa.europa.eu/documents/10162/13632/articles_en.pdf

¹⁹ REACH Guidance for the European Steel Industry. EUROFERE. <http://www.eurofer.org/index.php/eng/REACH/Documents-and-useful-web-links/Guidance>

²⁰ Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006.

лиз полноты имеющихся данных проводится посредством сравнения полученной информации с критериями, по которым проводится оценка опасности, принятие решений о возможности использования расчетных методов или методов оценки опасности путем интерполяции. Оценка достоверности собранных данных показывает в какой степени публикация или отчет о тестировании соответствует стандартизированной методологии, а методика эксперимента гарантирует правильность результатов. Эксперты ЕС в области ОВОС и здоровье человека ХВ для характеристики надежности изучаемого отчета (публикации) используют систему оценки, называемую Климиш-кодом [51].

Этап 4. Получение дополнительных данных. На данном этапе принимается решение о необходимости проведения лабораторных испытаний (в том числе и на позвоночных животных) или они являются излишними, а также о возможности использования расчетных моделей (например, моделей для определения свойств по типу структура-активность [52,53]).

Этап 5. ОВОС и/или здоровье человека ХВ. На данном заключительном этапе принимается решение об отнесении оцениваемого ХВ к определенным видам опасных ХВ, и устанавливается класс опасности путем сопоставления имеющихся данных с определенными ранее критериями классификации опасности.

На практике Рекомендации ООН – СГС в странах применяются посредством разработки и принятия на национальном и/или региональном законодательном уровне методик оценки и классификации опасности ХВ для ОС.

В РФ в настоящее время нет единой системы ОВОС химических веществ [54], но идет процесс ее создания через внедрение технического регламента²¹. В настоящее время оценка опасности ХВ для ОС и здоровья человека производится в РФ в соответствии с многочисленными документами, которые слабо согласованы между собой и результаты ОВОС химических веществ часто оказывается противоречивыми, что хорошо иллюстрируют результаты класси-

²¹ Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции» (ТР ЕАЭС 041/2017).

фикации сульфата меди (табл. 1.1). Подобная ситуация является источником многочисленных проблем [55], например, по мнению экспертов ОЭСР, неопределенность нормативной базы является одним из факторов, тормозящих развитие систем безопасного для ОС и здоровья человека обращения ХВ²².

Таблица 1.1.

Результаты оценки опасности ХВ в соответствии с действующими в РФ системами на примере сульфата меди

Ведомство	Класс опасности	Трактовка класса опасности
Росстандарт ГОСТ 12.1.007—76	2	Высокоопасное вещество
Ростехнадзор ФЗ № 116-ФЗ от 21.06.1997	Нет	Не классифицируется как опасное вещество
Минприроды ГОСТ 17.4.1.02—83	2	Умеренно опасное вещество
Минсельхоз Методические рекомендации № 2001/26	3	Умеренно опасное вещество
Роспотребнадзор Постановление главного государственного санитарного врача РФ № 76 от 30.04.2003	2	Высокоопасное вещество
Минтранс ГОСТ 19433—88	9 (степень 3)	Малоопасное ядовитое вещество
ВНИИ СМТ (институт Росстандарта) ГОСТ 32419-2013	4	Вредно при попадании на кожу и при проглатывании

Отдельный подход к ОВОС применяется к ХВ, которые считаются отходами производства или потребления. Международным документом, регламентирующим оценку опасности отходов, является Базельская конвенция [56], которая ратифицирована в РФ Федеральным законом №49-ФЗ от 25.11.2004 «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» [57]. Однако необходимо отметить, что практика применения отдельных систем оценки опасности ХВ, считающихся отходами, существует и в других странах, например, в ЕС принята Директива по отходам 2008/98/ЕС [58]. В РФ оценка опасности отходов, образующихся в ходе производства и потребления ХВ, оценивается в соответствии с Федеральным законом № ФЗ-89 от 24.06.1998 «Об отходах производства и потребления» [59]

²² ОЭСР. Курс на зеленый рост. Резюме для лиц, принимающих решения.
<https://www.oecd.org/greengrowth/48634082.pdf>

и СанПиН 2.1.7.1322-03 [60].

Требования к оценке опасности ХВ, присутствующих на рабочих местах, описаны в Конвенции МОТ № 170 [61], ратифицированной в ряде стран (в РФ данная конвенция не ратифицирована).

1.2. Системный анализ физико-химических и токсикологических свойств опасных для окружающей среды химических веществ

В соответствии с Рекомендациями ООН – СГС при классификации опасности ХВ, выделяют три вида ХВ [49,62]:

1) ХВ, опасность которых обусловлена их физико-химическими свойствами. К таким ХВ относятся: взрывчатые ХВ [63], сжатые, сжиженные и растворенные под давлением газы [63]; воспламеняющиеся ХВ в различном агрегатном состоянии [63]; ХВ, являющиеся компонентами продукции в аэрозольной упаковке [64]; саморазлагающиеся и самонагревающиеся и пирофорные ХВ; ХВ, выделяющие воспламеняющиеся газы при контакте с водой; окисляющие ХВ и органические пероксиды; ХВ, вызывающие коррозию металлов [65];

2) ХВ, представляющие опасность для организма человека [62]: обладающие острой токсичностью по воздействию на организм; вызывающие поражение (некроз) или раздражение кожи; вызывающие серьезные повреждения или раздражение глаз; обладающие сенсibiliзирующим действием; обладающие избирательной токсичностью при однократном и/или многократном (продолжительном) воздействии на органы-мишени и/или системы; мутагены; канцерогены; репротоксиканты и ХВ, представляющие опасность при аспирации;

3) ХВ, представляющие опасность для ОС, т.е. ХВ, разрушающие озоновый слой и ХВ, обладающие острой и/или хронической токсичностью для водной среды [63].

Для гармонизации подходов к ОВОС химических веществ в РФ разработаны и приняты сначала национальные, а затем и межгосударственные стандарты [62,66]. ХВ, разрушающие озоновый слой определяются в РФ согласно по-

становлению Правительства Российской Федерации № 228 от 24.03.2014 «О мерах государственного регулирования потребления и обращения веществ, разрушающих озоновый слой». ХВ, обладающее острой токсичностью для биоты подсистемы гидросфера, отнесится к одному из 3-х классов опасности в соответствии с табл. 1.2. [62].

Таблица 1.2.

Классификация опасности ХВ, обладающих острой токсичностью для биоты подсистемы гидросфера

Класс	Критерии
1	CL_{50} или $EC_{50} \leq 1$ мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $EC_{50} \leq 1$ мг/л (72 или 96 ч - водоросли)
2	$1 < CL_{50}$ или $EC_{50} \leq 10$ мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $1 < EC_{50} < 10$ мг/л (72 или 96 ч - водоросли)
3	$10 < CL_{50}$ (EC_{50}) ≤ 100 мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $10 < EC_{50} \leq 100$ мг/л (72 или 96 ч - водоросли)

ХВ, обладающие хронической токсичностью для биоты подсистемы гидросфера, относятся к одному из 4-х классов опасности, в соответствии с табл. 1.3. При этом необходимо отметить, что хронической токсичностью могут обладать, как ХВ, способные быстро разлагаться в ОС, так и ХВ стойкие в ОС.

Таблица 1.3.

Классификация опасности ХВ, обладающих хронической токсичностью для биоты в подсистеме гидросфера [62]

Класс	Критерии
Для ХВ, стойких в ОС	
1	МНД или $EC_x \leq 0,1$ мг/л (для рыб и/или ракообразных, и/или водорослей)
2	МНД или $EC_x \leq 1$ мг/л (для рыб и/или ракообразных, и/или водорослей)
Для ХВ, способных к быстрому разложению	
1	МНД или $EC_x \leq 0,01$ мг/л (для рыб и/или ракообразных, и/или водорослей)
2	МНД или $EC_x \leq 0,1$ мг/л (для рыб и/или ракообразных, и/или водорослей)
3	МНД или $EC_x \leq 1$ мг/л (для рыб и/или ракообразных, и/или водорослей)
Для ХВ, для которых отсутствуют данные по хронической токсичности	
1	1) CL_{50} (EC_{50}) ≤ 1 мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $EC_{50} \leq 1$ мг/л (72 или 96 ч - водоросли) 2) ХВ являются стойкими в ОС, и/или показатель полной биоразлагаемости < 60 % или первичной биоразлагаемости < 80 % (для ПАВ), и/или коэффициент биоконцентрации $BCF \geq 500$ (или (при отсутствии BCF) $\log K_{ow} \geq 4$)
2	1) $1 < CL_{50}$ (EC_{50}) ≤ 10 мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $10 < EC_{50} \leq$

Класс	Критерии
	100 мг/л (72 или 96 ч - водоросли) 2) ХВ являются стойкими в ОС веществами, и/или показатель полной биоразлагаемости < 60 % или первичной биоразлагаемости < 80 % (для ПАВ), и/или коэффициент биоконцентрации $BCF \geq 500$ (или (при отсутствии BCF) $\log K_{ow} \geq 4$)
3	1) $10 < CL_{50} (EC_{50}) \leq 100$ мг/л (96 ч - рыбы и/или 48 ч - ракообразные) и/или $1 < EC_{50} \leq 10$ мг/л (72 или 96 ч - водоросли) 2) ХВ являются стойкими в ОС веществами, и/или показатель полной биоразлагаемости < 60 % или первичной биоразлагаемости < 80 % (для ПАВ), и/или коэффициент биоконцентрации $BCF \geq 500$ (или (при отсутствии BCF) $\log K_{50} \geq 4$)
4	1) ХВ имеет низкую растворимость и отсутствие признаков острой токсичности до достижения растворимости в воде. 2) ХВ являются стойкими в ОС и/или $BCF \geq 500$ (или при его отсутствии $\log K_{ow} \geq 4$)

В результате для ОВОС химического вещества необходимо определить следующие его свойства [49,66]: растворимость в воде; способность подвергаться гидролизу; коэффициент распределения октанол/вода ($\log K_{ow}$); коэффициент биоконцентрации (BCF); острая водная токсичность; хроническая водная токсичность; биоразлагаемость. Для определения параметров необходимых для ОВОС химических веществ разработаны стандартные методы, приведенные в Приложении 1.

Для того чтобы провести полноценную ОВОС химических веществ, необходимо большое количество данных. В ряде случаев необходимую информацию можно найти в различных БД [67,68], однако для большего числа ХВ информация о свойствах необходимая для ОВОС, содержащаяся в БД, а также в справочных и литературных источниках, может оказаться неполной или отсутствовать вовсе. Масштаб проблемы настолько значителен, что ни одна страна мира (не говоря уже о производителях ХВ) в настоящее время не располагает финансовыми, временными и людскими ресурсами, позволяющими провести все необходимые лабораторные испытания для всех недостаточно изученных, находящихся в обращении на ее территории ХВ. В связи с этим возникает необходимость совместной работы, а значит наличия единого подхода к оценке опасности ВОС [20].

Для того чтобы сделать возможным совместную работу нескольких стран в области ОВОС химических веществ, разработана процедура взаимного

признания данных испытаний, которая позволяет исключить ненужное дублирование экспериментальных исследований [69]. В 1979-1980 г. международной группой экспертов из ОЭСР разработаны «Принципы надлежащей лабораторной практики» (GLP Good Laboratory Practice) [70,71]. Однако необходимо отметить, что не все страны внедряют у себя принципы GLP [46].

ОВОС химических веществ проводится с использованием показателей острой токсичности (CL_{50}) [72] или в ряде случаев EC_{50} , поскольку эти показатели отражают реальное воздействие на экосистемы [24,25]. Кроме того, в ряде стран (например, в странах ЕС)^{23,24} для оценки безопасных для водных экосистем концентраций используется показатель $HC_5(NOEC)$, представляющий собой концентрацию, при которой ущерб наносится не более чем 5 % популяции каждого из обитающих на исследуемой территории видов биоты. $HC_5(NOEC)$ вычисляется с использованием показателя NOEC (англ. No observed effect concentration)²⁵, представляющего собой самое высокое из известных, полученных в ходе экспериментов значений концентраций, для которой не наблюдается статистически значимого смертельного или другого эффекта.

При этом оценка границы допустимого загрязнения проводится одним из двух способов:

- определяется уровень приемлемого ВОС (чаще всего подобный уровень устанавливается законодательно). В РФ подобным образом определяется «допустимая нагрузка» для химического загрязнения [73], разрабатываются ПДК, с помощью которых оцениваются индексы загрязнения атмосферы [74], гидросферы [75] и другие интегральные показатели;

- оценивается буферная емкость ОС, которая необходима для осуществления определенного (ых) вида(ов) деятельности [76].

²³ Common implementation strategy for the water framework directive. Guidance document No. 27 (2000/60/EC).

²⁴ Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики

²⁵ Technical guidance document on risk assessment in support of commission directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and the commission regulation (EC) 1488/94 on risk assessment for existing substances and directive 98/8/EC of the European Parliament and of the council concerning the placing of biocidal products on the market (EUR 20418 EN/4)

При оценках в глобальном масштабе оценку загрязнения ОС химическими веществами чаще всего проводят с использованием такого показателя, как долю потенциально пораженных видов (англ. Potentially Affected Fraction - далее *PAF*) [26], под которой подразумевается доля видов флоры или фауны, на которые химическое загрязнение потенциально может оказать определенное негативное воздействие [72,77]. Такой подход позволяет непосредственно связать химическое загрязнение ОС с воздействием на биоразнообразие для конкретной территории [24,25].

Суммарная химическая нагрузка на ОС ($PAF_{\Sigma S}$) для S географических областей, имеющих на исследуемой территории, может быть рассчитана по соотношению:

$$PAF_{\Sigma S} = \frac{\sum PAF_s \times V_s}{\sum V_s}, \quad (1)$$

где: V_s – объем (емкость) различных подсистем ОС (гидросферы, атмосферы, почвы), существующих в S географических регионах.

Данный подход во многом идентичен оценкам наличия свободного пространства в подсистемах ОС, проводимым с использованием так называемых компенсационных подходов, одним из примеров которого является бабл – принцип, или принцип пузыря (bubble – пузырь) [78]. Принцип активно применяется в США [79] и основан на предположении, что производственная деятельность (а в ряде случаев в расчетах могут быть учтены и иные виды хозяйственной деятельности) осуществляются в некотором гипотетическом пузыре достаточно больших размеров, образованном в исследуемой географической области, и задача сводится к распределению между загрязнителями подсистем ОС (атмосферы или гидросферы), ограниченных объемом «пузыря», возможностей выбросов различных ХВ. Применительно к оценке ChF задача трансформируется в оценку достаточности размеров «пузыря» [10].

1.3. Современное математическое и программное обеспечение расчета базовых физико-химических и токсикологических свойств опасных для окружающей среды химических веществ

Количество ХВ, для которых известны свойства, определяющие их потенциальное ВОС и здоровье человека, составляет 30000-50000 наименований [80]. В настоящее время в мировой экономике находятся в обращении более 100000 синтезируемых человеком ХВ³ и каждый год появляются сотни новых ХВ [22]. Таким образом, очевидно, что проведение лабораторных испытаний для определения свойств ХВ, необходимых для ОВОС, требует больших финансовых и временных затрат. Поэтому в большинстве стран с развитой химической промышленностью ведется разработка расчетных методов оценки свойств ХВ [81]. Однако современные расчетные методы пока не могут полностью заменить экспериментальную оценку опасности ХВ особенно при определении сенсibiliзирующего, канцерогенного, мутагенного действия и др. [80]. В настоящее время расчетная оценка показателей на основе математических моделей рассматривается как первый этап оценки свойств ХВ, определяющих ВОС, мало изученного ХВ. Как показывают проведенные исследования, степень ВОС химического вещества в значительной степени зависит от его липофильности [82], которая может быть оценена через $\log K_{ow}$ [83]. Данный параметр широко используется для оценки коэффициента биоконцентрации ХВ, характеризующего способность ХВ накапливаться в живых организмах и в итоге приводить к отрицательному воздействию даже при низких концентрациях этого вещества в подсистемах ОС [49], а также для последующих оценок, позволяющих провести ОВОС и классифицировать опасность ХВ.

Для расчета $\log K_{ow}$ разработаны и продолжают разрабатываться многочисленные методы количественной зависимости "структура–активность" (КЗСА). Методы КЗСА позволяют проводить корреляцию между структурой ХВ и его биологической активностью [35].

Впервые расчетный метод определения $\log K_{ow}$ был предложен американским ученым К. Хенчем [84]. Одна из идей Хенча заключалась в том, чтобы

представить этот коэффициент как сумму введенных им величин (π), характеризующих вклад в липофильность отдельных атомов или фрагментов структуры ХВ. Очевидно, что параметр π имеет отрицательные значения для гидрофильных групп (например, для карбоксила) и положительные – для гидрофобных групп (например, для метила). Суммируя определенные экспериментальные значения π для структурных фрагментов оцениваемого ХВ, можно рассчитать значение для $\log K_{ow}$. Однако данный подход показывает приемлемые результаты только для ароматических ХВ.

Еще один метод разработан голландским ученым Р. Реккером, в соответствии с которым для $\log K_{ow}$ предложена следующая зависимость [85]:

$$\log K_{ow} = \sum_{i=1}^N a_i \times f_i + \Pi_{вз}, \quad (2)$$

где: a_i – количество i -х фрагментов в молекуле оцениваемого ХВ; f_i – приращение $\log K_{ow}$ для данного фрагмента молекулы ХВ (константа фрагмента); $\Pi_{вз}$ – параметр взаимодействия (константа).

Параметр взаимодействия определяется Реккером как некое число, кратное 0,28, называемое им «магической константой». Для расчета констант фрагментов (f_i) и параметров взаимодействия ($\Pi_{вз}$) Реккер использовал регрессионный анализ, в основе которого лежала обработка большого числа экспериментальных данных по $\log K_{ow}$ (825 веществ) [85]. Предложенный Реккером метод позволил вычислять значения $\log K_{ow}$ с приемлемой точностью только для небольшого набора веществ, включающего 30 простых углеводов, 39 основных ароматических углеводов и 20 сложных наркотических препаратов [86] в соответствии с соотношением:

$$\log K_{ow} = \sum_{i=1}^N a_i \times f_i + \sum_{j=1}^M b_j \times F_j, \quad (3)$$

где: a_i – количество i -х фрагментов в молекуле оцениваемого ХВ; f_i константа для i -го фрагмента молекулы оцениваемого ХВ; b_j – количество повторов j -го корректирующего фактора; F_j – константа для j -го корректирующего фактора.

Как видно из формулы 3, расчет $\log K_{ow}$ проводится с учетом корректирующих факторов, позволяющих учесть влияние различных эффектов: стерических взаимодействий, водородных связей и др. в полярных функциональных

группах. Величины корректирующих факторов, являющихся по сути подгоночными параметрами, получены при сравнении для различных ХВ рассчитанного значения $\log K_{ow}$ с экспериментальным. Константы фрагментов для атомов углерода и водорода получены на основании исследований абсолютно гидрофобных ХВ, что позволило оценить влияние на значение $\log K_{ow}$ наличия гидрофобных структур (функциональных групп) в молекуле. Остальные константы фрагментов и корректирующие параметры получены на основании регрессионного анализа с учетом установленных значений констант фрагментов для углерода и водорода.

Разработаны специальные методы оценки $\log K_{ow}$ химических веществ, обладающих специфической структурой, которые превосходят по точности описанные выше методы, например, метод оценки $\log K_{ow}$ для полихлорированных бифенилов [87] и ацетанилидов (амидов бензойной кислоты) с различными заместителями [88]. Однако эти методы практически не применимы за пределами их специфики. Также только для узкой группы ХВ применяются методы расчета $\log K_{ow}$ на основе молекулярных орбиталей [89] и индексов молекулярной коннективности [90].

К методам расчета $\log K_{ow}$ для любых ХВ, относится метод атомов-фрагментов, разработанный на основе методов К. Хенча и Р. Реккера. Этот метод менее точен, чем описанные ранее, что компенсируется более широкими возможностями применения [91]. В основе метода атомов-фрагментов лежит совокупность простых фрагментов, которые связываются в комбинации [91,92]. Расчет $\log K_{ow}$ осуществляется по соотношению [92]:

$$\log K_{ow} = \sum_{i=1}^N a_i \times f_i + \sum_{j=1}^M b_j \times F_j + 0,229, \quad (4)$$

Метод атомов-фрагментов применим для расчета органических ХВ, содержащих атомы С, Н, N, О, галогены, Si, Р, Se, Li, Na, К и Hg. Метод позволяет рассчитывать величину $\log K_{ow}$ только для веществ в нейтральной, неионизированной форме. Используя данный метод, можно определить $\log K_{ow}$ для некоторых сурфактантов (например, этоксилатов спиртов, красящих веществ и дис-

социированных веществ). Значения констант фрагментов и корректирующих факторов для различных подструктур получены с помощью множественного регрессионного анализа [92]. В соответствии с методом все атомы-фрагменты можно классифицировать следующим образом:

- алифатический атом – любой атом, не являющийся ароматическим.
- ароматический атом – атом, находящийся в ароматическом кольце.

Для оценки констант фрагментов исследованы 1120 ХВ, а для оценки корректирующих факторов – 1231 ХВ.

Необходимо отметить, что методы, которые подвергались полной проверке корректности, это метод атомов-фрагментов и метод расчета $\log K_{ow}$ на основе индексов молекулярной коннективности [90]. Корректность этих методов оценки доказана проверкой на нескольких тысячах ХВ. Для проверки достоверности метода атомов-фрагментов определены значения $\log K_{ow}$ для 6055 ХВ с различной химической структурой и проведен статистический анализ различий расчетных и экспериментальных значений $\log K_{ow}$. Рассчитаны величины коэффициента корреляции (r^2), стандартного отклонения (σ) и средней абсолютной ошибки (Δ). Для выборки ХВ ($n = 6055$) получено: $r^2 = 0,943$; $\sigma = 0,408$; $\Delta = 0,31$. Поскольку коэффициент корреляции близок к единице, можно сделать вывод об очень близком соответствии расчетных данных экспериментальным.

Метод атомов фрагментов демонстрирует хорошее схождение расчетных величин $\log K_{ow}$ с экспериментальными, что позволяет с достаточной степенью точности вычислять значения $\log K_{ow}$ на стадии предварительной ОВОС химических веществ.

На основе метода атомов-фрагментов EPA (США) создана компьютерная программа LOGKOW (KOWWIN)²⁶, которая позволяет прогнозировать значения $\log K_{ow}$ на основании структуры ХВ. Помимо LOGKOW (KOWWIN) для расчета $\log K_{ow}$ используются такие компьютерные программы, как: CLOGP, AUTOLOGP, SPARC [49,93]. Методы расчета $\log K_{ow}$, заложенные в программах

²⁶ Электронный ресурс. EPI Suite™ - Estimation Program Interface (описание программ для оценки $\log K_{ow}$. <https://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suite™-estimation-program-interface#models>

CLOGP, LOGKOW (KOWWIN) и AUTOLOGP, основаны на использовании констант фрагментов, а программа SPARC использует метод молекулярных орбиталей [94]. Программы AUTOLOGP и CLOGP имеют ряд недостатков: расчеты, проведенные с помощью программы AUTOLOGP, обладают большой погрешностью [95], а программа CLOGP [96], также как метод Реккера, предназначена для вычисления $\log K_{ow}$ простых по структуре ХВ. Действительно, для простых углеводов метод Реккера и ряд других методов, перечисленных выше, являются более точными, чем метод атомов-фрагментов, но, с одной стороны, высокая точность для простых структур не приводит к высокой точности для сложных структур, а, с другой стороны, для большинства простых химических веществ $\log K_{ow}$ уже измерен экспериментально, поэтому в настоящее время расчет $\log K_{ow}$ прежде всего необходим для сложных ХВ, содержащих несколько функциональных групп, и в этом его главное преимущество по сравнению с методом Реккера и программой CLOGP [92].

Помимо перечисленных выше компьютерных программ существуют программные комплексы:

- **KOAWIN**. Позволяет проводить расчет коэффициента разделения октанол-воздух (K_{OA}) органического ХВ с использованием $\log K_{ow}$ и константы Генри. Коэффициент K_{OA} представляет собой отношение концентрации ХВ в октанолу к концентрации его в воздухе в состоянии равновесия. Данный коэффициент используется для оценки поведения ХВ в атмосфере, и его накопления в таких подсистемах ОС, как почва, биота и аэрозольные частицы.

- **KOCWIN**. Позволяет проводить расчет коэффициента почвенной адсорбции (K_{oc}) для органических ХВ. Расчет проводится на основе индексов молекулярной коннективности и $\log K_{ow}$.

- **BCFBAF**. Позволяет проводить расчет коэффициента биоконцентрации органических веществ (на основе $\log K_{ow}$) и константы скорости биотрансформации органического вещества в рыбе (день⁻¹) на основе $\log K_{ow}$ и молекулярной массы.

- **DERMWIN**. Позволяет проводить расчет коэффициента кожной про-

ницаемости (K_p) органических соединений (см/час); накожной адсорбированной (поглощенной) дозы ХВ за одно событие при контакте с загрязненной водой и среднесуточной накожной адсорбированной (поглощенной) дозы ХВ при контакте с загрязненной водой. Коэффициент кожной проницаемости рассчитывается на основе $\log K_{ow}$.

- **ECOSAR**. Позволяет проводить на основе $\log K_{ow}$ расчет острой токсичности для рыб, дафний и зеленых водорослей (96-часовая LC_{50} ; 48-часовая LC_{50} ; 14-дневная LC_{50} ; 96-часовая EC_{50}) и хронической токсичности для рыб, дафний и зеленых водорослей.

Для анализа химических формул при помощи компьютерных методов используется особый подход к их представлению, называемый SMILES, представляющий собой системы представления молекулярных структур линейной строкой символов, которая специально разработана для компьютерного представления химических формул²⁷. Необходимо отметить, что все изложенные выше подходы, методы и инструменты позволяют определить необходимые для проведения ОВОС свойства индивидуального ХВ. Однако на практике изолированное ВОС химического вещества встречается крайне редко (это в принципе возможно, когда содержание одного ХВ существенно доминирует по сравнению с другими ХВ). Поэтому возникла необходимость в ОВОС большого количества ХВ антропогенного происхождения, оказывающих воздействие друг на друга и образующих сложную систему, которая в свою очередь еще более сложным образом взаимодействует с ОС, в том числе с живыми организмами.

Оригинальный подход к оценке потенциальной опасности смесей ХВ для ОС приведен в Рекомендация ООН - СГС [49], который практически реализован в РФ в виде стандартов [97,98]. В стандартах [97,98] указано, что оценку опасности для смесей ХВ проводят на основе экспериментальных данных. Если экспериментальные данные отсутствуют, то используют принципы интерполяции (разбавление, различие между партиями продукции, концентрация компонентов смеси, отнесенных к более высокому классу опасности, интерполяция

²⁷ SMILES - Электронный ресурс «OpenSMILES». <http://www.opensmiles.org/>

внутри одного класса опасности, схожие в значительной мере смеси) или расчетные методы [49] (причем оценка опасности, полученная на основе экспериментов, имеет приоритет перед оценкой, полученной расчетным путем) (см. рис. 1.1).

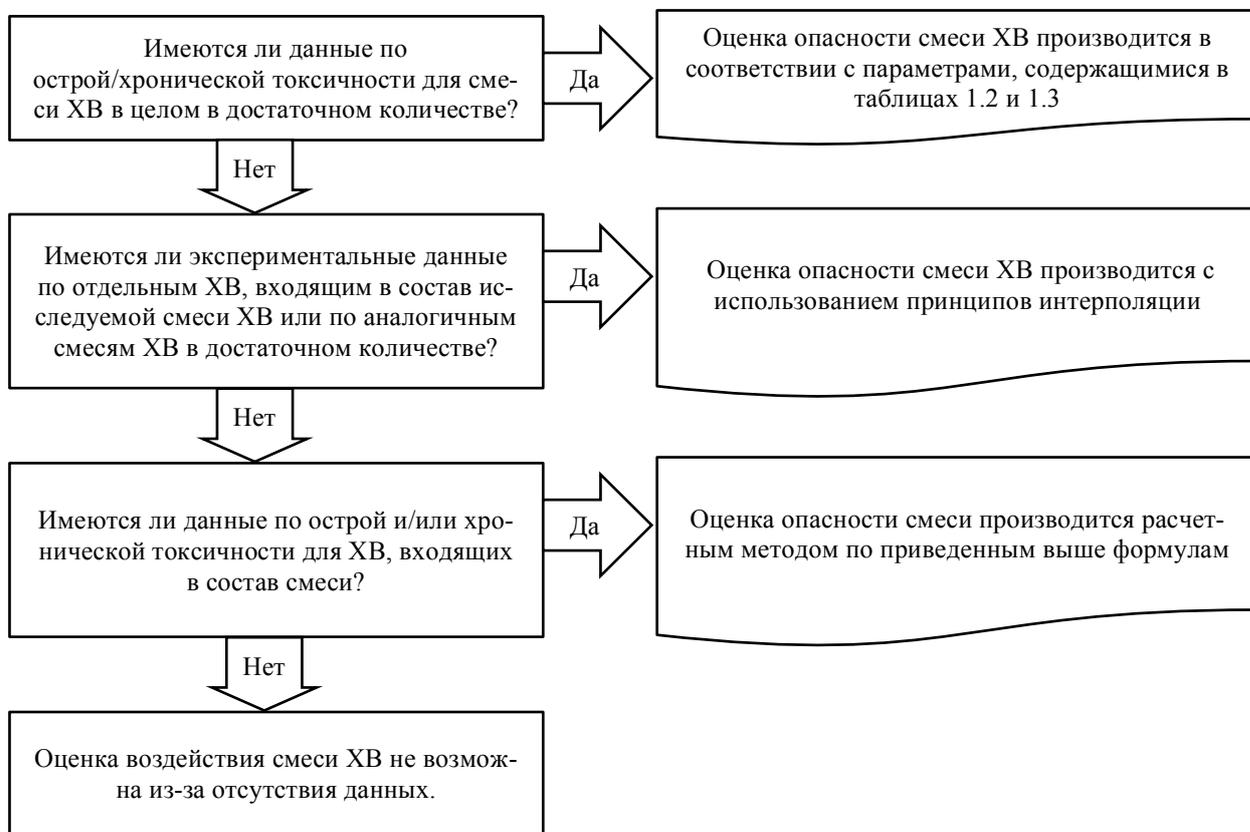


Рис. 1.1. Блок-схема процедуры принятия решения для смеси ХВ

Для расчета оценок опасности смеси используют имеющиеся данные по компонентам [98]:

1) для острой токсичности:

$$\frac{\sum_{i=1}^n c_i}{CL(EC)_{50см}} = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{CL(EC)_{50i}} \quad , \quad (5)$$

и, следовательно:

$$CL(EC)_{50см} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{CL(EC)_{50i}}} \quad , \quad (6)$$

где: C_i – концентрация компонента i , выраженная в массовых процентах; i составляет от 1 до n (n – число ХВ в смеси); $CL(EC)_{50см}$ – значение CL_{50} или EC_{50} смеси в целом или ее части, состоящей из ХВ, по которым имеются экспериментальные данные; $CL(EC)_{50i}$ – значение CL_{50} или EC_{50} компонента i , мг/л.

2) для хронической токсичности:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_{бр}} C_i + \sum_{j=1}^{n_{ст}} C_j}{\text{ЭкМНД}_{см}} = \sum_{i=1}^{n_{бр}} \frac{C_i}{\text{МНД}_i} + \sum_{j=1}^{n_{ст}} \frac{C_j}{0,1 \times \text{МНД}_j}, \quad (7)$$

и, следовательно:

$$\text{ЭкМНД}_{см} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{бр}} C_i + \sum_{j=1}^{n_{ст}} C_j}{\sum_{i=1}^{n_{бр}} \left(\frac{C_i}{\text{МНД}_i} \right) + \sum_{j=1}^{n_{ст}} \left(\frac{C_j}{0,1 \times \text{МНД}_j} \right)}, \quad (8)$$

где: C_i – концентрация i -го ХВ, способного к быстрому разложению, масс. %; i составляет от 1 до $n_{бр}$ ($n_{бр}$ – количество ХВ в составе смеси способных к быстрому разложению); C_j – концентрация j -го ХВ, не способного к быстрому разложению, масс. %; j составляет от 1 до $n_{см}$ ($n_{см}$ – количество стойких в ОС химических веществ в составе смеси); $\text{ЭкМНД}_{см}$ – эквивалент максимальной недействующей дозы или EC_x смеси в целом или ее части, состоящей из компонентов, для которых имеются экспериментальные данные; МНД_i – максимальная недействующая доза или EC_x компонента i , способного к быстрому разложению; МНД_j – максимальная недействующая доза или EC_x компонента j , не способного к быстрому разложению.

Таким образом в случае одновременного присутствия в водоеме нескольких ХВ, их опасность суммируется, что автоматически подразумевает действие принципа аддитивности в отношении любых ХВ. В РФ аддитивный подход при ОВОС химических веществ применяется при классификации смешанной продукции [66,98]. Однако применительно к российскому законодательству такой подход, согласно [73], не всегда верен. В одних случаях допущение об аддитивности может приводить к переоценке токсичности смесей ХВ с отличающимися механизмами действия²⁸. В других случаях, когда наблюдается эффект синергизма (например, при одновременном присутствии бутилакрилата и метилакрилата в подсистеме атмосфера [73]), суммирование концентраций приводит к недооценке токсичности смеси ХВ. Однако если оценки проводятся для большого количества ХВ, часть из которых при совместном присутствии может обладать эффектом неполной суммации или ХВ могут действовать независимо друг от друга (или обладать эффектом потенцирования), применение

²⁸ Toxicity and Assessment of Chemical Mixtures; Scientific Committees on Consumer Safety, Health and Environmental Risks and Emerging and Newly Identified Health Risks, European Commission, 2012

принципа аддитивности и усреднение оценки может считаться приемлемым.

Необходимо отметить, что приведенная блок-схема (см. рис. 1.1) не достаточно описывает ситуации применения принципов интерполяции, что является ее существенным недостатком. Описанный выше метод позволяет только оценить потенциальную опасность смеси ХВ для биоты подсистемы гидросфера. Для ответа на вопрос: «Могут ли оказать ХВ, оказавшиеся в ОС, значимое воздействие на нее?» - необходимо использовать другие методы и технологии. Человечество периодически сталкивается с необходимостью вводить экологические ограничения как в локальном (региональном), так и в глобальных масштабах [99,100]. Подобная необходимость для ХВ обусловлена тем, что за последние десятилетия объемы антропогенного поступления веществ в ОС стали соизмеримы с природными составляющими глобальных биогеохимических циклов ХВ [101]. Одна из подобных технологий основана на установлении пределов содержания ХВ в ОС. Примером установленных ограничений на поступление ХВ в окружающую среду в РФ являются гигиенические нормативы [73]. Также появилась необходимость и в определении границ возможного изменения ОС вследствие антропогенного воздействия [102].

1.4. Краткая характеристика современных инструментов системного подхода к комплексной оценке воздействия на окружающую среду химических веществ

Прогнозирование ВОС антропогенных ХВ является важнейшей составляющей принятия решений при выборе ХВ для их дальнейшего применения в производстве и быту или при оценке потенциального риска при использовании новых веществ (оценка экологического риска) [29]. Для комплексной ОВОС часто используются многофакторные, интегральные показатели [103]. Необходимо отметить, что использование показателей для ОВОС [104] и показателей

устойчивого развития²⁹ является обычной практикой анализа состояния сложных систем [105].

Оценка пределов воздействия на ОС на глобальном уровне или на уровне стран и регионов - одна из задач, которой совместно стали заниматься группы ученых из самых различных областей. На глобальном уровне для оценки пределов техногенного воздействия на планету ученый из Стокгольмского университета Дж. Рокстрем с коллегами в 2009 г. ввели термин «планетарные границы» [106], под которым понималось безопасное функциональное пространство, необходимое для успешного развития человеческого общества [2]. Планетарные границы определяют через девятью параметрами: изменение климата, закисление Мирового океана, истощение озонового слоя, состояние глобальных биогеохимических циклов азота и фосфора (ключевых биогенных элементов), уровень использования мировых запасов пресной воды, изменение экосистем суши, уровень потери биоразнообразия, уровень выбросов аэрозолей в атмосферу и уровень химического загрязнения [106] (но существуют и другие способы оценки планетарных границ [107]).

Для семи из девяти параметров установлены граничные значения, выход за которые может привести к значительным пагубным последствиям для здоровья человека и ОС. Проведена соответствующая работа по определению планетарных границ для атмосферных аэрозолей. Однако для ХВ планетарные границы не установлены [2].

Изначально планетарные границы определялись через определенные пределы воздействия для каждого из параметров [106] и содержали только два типа зон: красная – когда планетарные границы нарушены, и зеленая, когда глобальная система еще сохраняет некоторый запас устойчивости. В 2014 г. Дж. Рокстрем с коллегами внес в предложенную в 2009 г. концепцию «планетарных границ» [106] некоторые изменения [2], в частности, помимо собственно границ была введена желтая зона – зона повышенного риска, обусловленная

²⁹ Декларация Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды.
http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/declarathenv.shtml

недостатком информации и/или противоречивостью и неопределенностью имеющихся данных (рис. 1.2) [2].

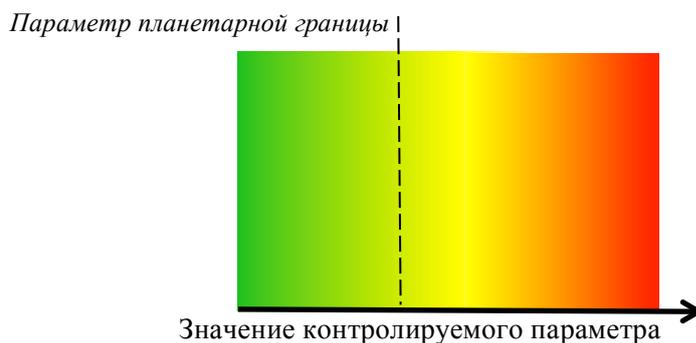


Рис. 1.2. Схема визуального определения изменения контролируемых параметров в рамках планетарных границ

Поскольку в настоящее время численные параметры, через которые определены планетарные границы, по своему физическому смыслу не являются эквивалентом глобальных предельно допустимых концентраций (уровней) или других критических для существования современных экосистем значений [2], это приводит к появлению промежутка (желтой зоны) между численным значением планетарной границы (граница зеленой зоны – зоны безопасного функционирования) и предельно допустимой концентрацией (уровнем) или другим критическим значением (начало красной зоны – зоны высокого риска), при превышении которого нормальное функционирование современной цивилизации на планете невозможно. С одной стороны, желтая зона обозначает, что антропогенная деятельность человека (деятельность по производству и применению ХВ) наносит значимый ущерб ОС, но этот ущерб не является критическим и в случае, если будут предприняты определенные усилия, уровень антропогенного воздействия может вернуться к допустимым значениям. С другой стороны, наличие желтой зоны позволяет работать в условиях неопределенности (что практически неизбежно в оценках химического загрязнения) и учитывать наличие возможных запаздываний в системе. Следует также отметить, что не все ключевые параметры концепции «планетарных границ» имеют однозначно установленные пороговые значения. Примерами таких параметров являются: уровень использования мировых запасов пресной воды, изменение экосистем

суши, уровень потери биоразнообразия. Также в эту группу может попасть изменение параметров глобальных циклов азота и фосфора (ключевых биогенных элементов), обусловленное глобальными климатическими изменениями [108].

Необходимо отметить, что в контексте планетарных границ понятие «пределы воздействия» означает не определенные значения параметров, при нарушении которых наступает неизбежный коллапс. Говоря о пределах воздействия, мы подразумеваем, что существует зеленая зона, в рамках которой деятельность человека не представляет угрозы для ОС. На представленной на рис. 1.3 левой диаграмме планетарные границы нарушены для параметров: изменение климата, потеря биоразнообразия, азотный цикл.

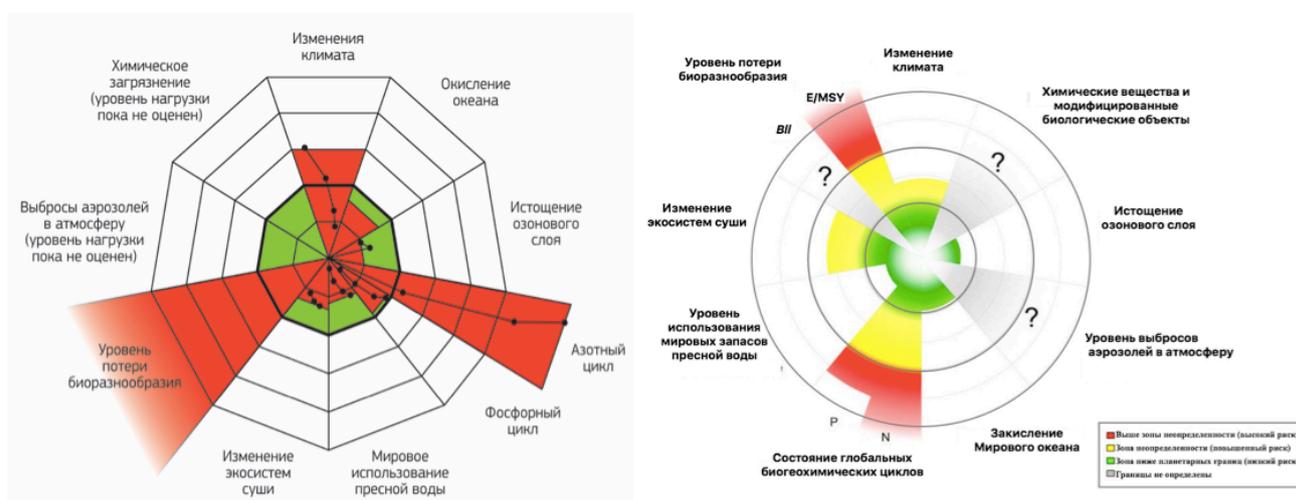


Рис. 1.3. Блок-схема диаграмм планетарных границ 2009 г. (а) [106] и 2014 (б) [2] г.

Из данных диаграммы (см. рис. 1.3б) следует, что по сравнению с 2009 г. в настоящее время значительно нарушены азотный и фосфорный цикл, и на катастрофическом уровне находится потеря биоразнообразия. Параметры изменений климата и экосистем суши находятся в зоне повышенного риска, которая свидетельствует о том, что по данным показателям человечество приблизилось к пределам вплотную.

Одна из девяти планетарных границ непосредственно связана с ВОС антропогенных ХВ [2,106], однако конкретные численные параметры для ее оценки пока не установлены. При этом необходимо отметить, что пять из девяти параметров планетарных границ имеют отношение к процессам обращения ХВ: истощение озонового слоя (озоноразрушающие вещества), изменение кли-

мата (CO_2 , CH_4 и другие парниковые газы), закисление Мирового океана (CO_2), нарушение биогенных (азотного и фосфорного) циклов и уровень химического загрязнения. В рамках химического загрязнения подразумевается, что ХВ, попадающие в ОС в ходе антропогенной деятельности человека, могут оказывать различные неблагоприятные воздействия на биосферу Земли [109].

Высказано предположение, что понятие «химическое загрязнение» в контексте планетарных границ, подразумевает целый комплекс сложных и взаимосвязанных воздействий ХВ на окружающую среду [110]. Опасные ХВ, попадающие в атмосферу, прежде чем выпадут с дождем и/или снегом, в соответствии с розой ветров могут совершать короткие и длинные, включая кругосветные, маршруты (такие вещества предложено называть «химическими спутниками Земли») [111]. Проведенный анализ с использованием моделей трансграничного переноса показал, что все основные типы ХВ (органические, неорганические и металлорганические) могут вести себя как химические спутники Земли. Авторы [112] предложили, что ХВ после выпадения без разложения может попасть обратно в атмосферу и может снова выпасть на поверхность Земли. Эта процедура может продолжаться до тех пор, пока ХВ не разложится («эффект кузнечика»). Исследователями [113] описан перенос веществ из теплых регионов в холодные за счет температурного градиента и других процессов, проходящих в атмосфере, результатом этого является накопление стойких в ОС химических веществ в полярных и высокогорных регионах [111]. Одни авторы предлагают называть этот эффект «полярной дистилляцией» [114], а другие исследователи [112] используют термин «холодная конденсация» [115].

Для разработки методологии выбора приоритетных загрязнителей проведен обзор существующих методик и результатов их практического применения в различных странах мира. Рассмотрены и проанализированы такие документы, как руководства по оценке риска для здоровья населения при ВОС загрязняющих ХВ, включая материалы проведения инвентаризации загрязняющих веществ в Канаде [116], практические руководства по инвентаризации выбросов ХВ в странах Европы и Северной Америки [117].

Одним из наиболее распространенных показателей экологической нагрузки, который используется в глобальных оценках антропогенного действия, является величина «экологического следа» [118] – важнейшая составляющая расчета границ антропогенного ВОС в самых различных сферах. В настоящее время существует ряд работ, посвященных разработке подхода к оценке данной границы [119], и, в частности, для оценки подобных планетарных границ предлагается использовать концепцию «экологического следа» [120].

Понятие и методология оценки «экологического следа» разработаны в 1990-х годах и широко применяются в качестве определения границ воздействия для различных аспектов человеческой деятельности [121]. «Экологический след» является одним из наиболее распространенных показателей оценки глобальной экологической нагрузки [122]. «Экологический след» измеряется в «глобальных зеленых гектарах». В соответствии с определением, данным Всемирным фондом дикой природы³⁰, *«Экологический след – это условное понятие, отражающее потребление человечеством ресурсов биосферы. Это площадь (в гектарах) биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства используемых нами ресурсов и поглощения и переработки наших отходов»* [123]. Способность к поглощению и переработки отходов отражена в таком показателе, как биологическая емкость, который также измеряется в глобальных гектарах [76,122].

Понятие «экологического следа» может использоваться для установления границ воздействия деятельности человека на ОС [124].

Для расчета «экологического следа» применяют компонентный подхода [125], при котором производится суммирование «экологических следов» всех значимых с точки зрения объемом ресурсопотребления и производства отходов объектов. При реализации компонентного подхода на первом этапе выявляются все значимые объекты и соответствующие им объемы потребления, а на втором оцениваются «экологические следы» каждого объекта на с использованием ме-

³⁰ Всемирный фонд дикой природы. Электронный ресурс «Экологический след». <http://new.wwf.ru/what-we-do/green-economy/ecological-footprint>

тодологии оценки ЖЦ. Общая точность окончательного результата в равной степени зависит от полноты перечня объектов и от точности оценки ЖЦ каждого из оцениваемых объектов. Результаты расчетов с применением компонентного подхода отличаются сильным разбросом, что связано: с наличием различных подходов к определению границ оценки при реализации методологии оценки ЖЦ; отсутствием точной и полной информации о ЖЦ объектов; двойным учетом в случае сложных цепей поставок ХП, включающих большое количество первичных и побочных продуктов [126].

На основе методики оценки «экологического следа» разработаны методики оценки «углеродного следа» и следа в области использования водных ресурсов, оценка которых основана на комплексном исследовании воздействия на протяжении всего ЖЦ, а также «экологический след» в области экономики и многие другие [27]. Например, «углеродный след» – это совокупность выбросов парниковых газов, произведенных прямо и косвенно человеком, организацией, регионом, связанных с осуществлением какой-либо деятельности, предоставлением услуги, производством продукции или даже ее ЖЦ в целом. Оценить «углеродный след» можно, рассчитав выбросы парниковых газов и прежде всего диоксида углерода, метана, закиси азота и ряда фторсодержащих соединений [127].

В настоящее время в ряде университетов ведутся исследования по разработке методики оценки «химического следа» (англ. chemical footprint, далее ChF) [27]. В работе Панько и Хичкока [128] предлагается рассчитывать ChF с учетом риска негативного ВОС химического вещества на протяжении всего его ЖЦ. В разработке компании Clean Production Action³¹ ChF предлагается определять как общую массу чрезвычайно опасных ХВ, содержащихся в составе производимой компанией продукции и/или используемых компанией в ходе осуществления производственной деятельности. Другие исследователи на практике определяют ChF как объем чистой воды, требующийся (теоретически)

³¹ Электронный ресурс компании Clean Production Action. «Chemical Footprint» <http://www.cleanproduction.org/>

для разбавления попадающих в водную среду ХВ до безопасных для пресноводных экосистем концентраций [129].

Для численной оценки ChF предложены различные методики и модели [31]. Рядом ученых [26] ChF предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$ChF = ES_{used} = \frac{PAF_{\Sigma S}}{PAF_{max}} \cdot ES_{total}, \quad (9)$$

где: ES_{used} – рассчитанное экологическое пространство (км^3), необходимое для разбавления рассчитанного воздействия до уровня ниже PAF_{max} ; $PAF_{\Sigma S}$ – химическая нагрузка на ОС, рассчитываемая по формуле (1); PAF_{max} (% видов) – максимальное допустимое воздействие (граница воздействия) на биоразнообразие, ES_{total} – общее экологическое пространство (км^3), в котором происходит воздействие (в соответствии с областью исследования).

Необходимо отметить, что ChF может быть также рассчитан и через индекс химического загрязнения путем деления требуемого объема для подсистем ОС на имеющийся в подсистемах ОС объем. При этом значение $ChF > 1$ будет указывать на превышение границы для химического загрязнения (если расчет проводился в планетарном масштабе, то планетарной границы). Однако изложенный выше метод расчета ChF достаточно сложен в применении и требует данных, которые не всегда имеются в наличии и могут быть получены при посредством моделирования процессов, происходящих в ОС.

Общепризнанным базовым методом решения задач, связанных с междисциплинарным описанием глобальных процессов в ОС, является математическое моделирование [130]. Модели, описывающие поведение (в том числе трансформацию) ХВ в различных подсистемах ОС, разрабатываются с 1978 г. [131]. Примерами таких моделей являются: широко используемая в Швеции модель E-PRTR - Европейский регистр выбросов и переноса загрязнителей (англ. European Pollutant Release and Transfer Register) [132], модель ReCePe [133], модель ИМПАКТ [134] и другие [135,136].

Рядом исследователей для оценки ChF используется модель USEtox [137], реализованная на практике в виде программного комплекса, которая позволяет оценить не только поведение ХВ в окружающей среде, но и его воздей-

ствие на ОС и здоровье человека [138]. Модель USEtox разработана при поддержке ЮНЕП-СЕТАК [129]. Одним из основных преимуществ модели USEtox является тот факт, что в основе моделирования процессов, происходящих в ОС, лежит оценка ЖЦ [139], что позволяет реализовать базовый принцип оценки ChF «от колыбели до могилы». Преимуществами этой модели являются [140]:

1) одними из рассчитываемых в модели USEtox показателей являются количества ХВ, присутствующих в подсистемах ОС;

2) модель USEtox разработана для проведения сравнительной оценки ХВ, и поэтому в ней отсутствует ряд консервативных допущений;

3) на сегодняшний день БД модели USEtox включает информацию по коэффициентам для более, чем 3000 органических ХВ и 25 неорганических элементов [141];

4) модель USEtox позволяет работать с большим количеством ХВ и учитывать результат их негативного воздействия при одновременном присутствии.

С использованием модели USEtox воздействие ХВ на экосистемы подсистемы гидросфера (с использованием такого показателя, как доля потенциально пораженных видов (PAF)) - I_{USEtox} ($PAF \cdot m^3/дeнь$) рассчитывается по [142]:

$$I_{USEtox} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M CF_{ij} \times E_{ij}, \quad (10)$$

где: CF_{ij} ($PAF \cdot m^3/(кг \cdot день)$) – характеристический фактор, учитывающий поведение и негативное воздействие i -го ХВ в j -й подсистеме ОС; E_{ij} ($кг$) – масса i -го ХВ, поступающая в j -ую подсистему ОС в сутки в результате антропогенной деятельности человека.

I_{USEtox} характеризует возможное воздействие ХВ на биоту, выраженное в количестве подвергшихся воздействию пресноводных видов за единицу времени. Фактор CF рассчитывается как произведение трех факторов:

$$CF_{ij} = FF_{ij} \cdot XF_i \cdot EF_i, \quad (11)$$

где: FF_{ij} ($кг/(кг \cdot день)$) – фактор, характеризующий изменения массы i -го ХВ в j -й подсистеме ОС; XF_i – (безразмерный) фактор, учитывающий долю i -го ХВ, растворенную в пресноводных объектах гидросфера (иногда фактор XF обозначают как BF – фактор биодоступности) [143]; EF_i ($PAF \cdot m^3/кг$) – фактор, характеризующий изменения потенциального воздействия на виды с увеличением мас-

сы i -го ХВ в пресноводном объекте гидросферы.

Для расчетов планетарных границ используют модифицированную модель USEtox. Изменения связаны с переходом в факторе EF от среднеэффективных доз по воздействию на окружающую среду $HC_{50}(EC_{50})$ к показателю $HC_5(NOEC)$ [144].

Для перехода от $EF_i^{USEtox} = \frac{0,5}{HC_{50}(EC_{50})_i}$ к $EF_i^{USEtox} = \frac{1}{HC_{50}(NOEC)_i}$ предложено использовать следующее соотношение [129,145]:

$$HC_5(NOEC)_i = \frac{HC_{50}(NOEC)_i}{10^{2.94 \cdot \beta}} = \frac{HC_{50}(EC_{50})_i}{\gamma \cdot 10^{2.94 \cdot \beta}}, \quad (12)$$

Для расчета коэффициента γ , который трудно оценить экспериментально для большинства ХВ, рядом ученых предложено использовать среднее геометрическое, рассчитанное по 11 известным ХВ [144], представляющим широкий диапазон механизмов токсического действия, равное 9,8 [129]. Коэффициенту β учеными предложено присвоить стандартное значение равное 0,4 [142].

Таким образом, учитывая взаимосвязь между факторами CF и EF , получаем:

$$CF_{ij}^{ChF} = 2 \cdot \gamma \cdot 10^{2.94 \cdot \beta} \cdot CF_{ij}^{USEtox} = 290 \cdot CF_{ij}^{USEtox}, \quad (13)$$

Поскольку в расчетах, проводимых с помощью модели USEtox, I_{USEtox} имеет размерность м³/день, а оценку ChF планируется проводить в км³/год, то необходимо провести дополнительную корректировку, в результате которой:

$$ChF = 8 \cdot 10^{-10} \cdot I_{USEtox}, \quad (14)$$

Результат расчета ChF по формуле (14) можно интерпретировать как объем чистой воды в единицу времени (км³/год), требующийся для разбавления поступающих в гидросферу ХВ до безопасного уровня. Этот показатель по смыслу сопоставим с показателем «экологического следа» (глобальных га/год) [146]. В тех случаях, когда ВОС осуществляется в течение известного промежутка времени, результаты могут быть получены в интегральной форме и выражены в единицах объема.

1.5. Системный анализ показателей уровня опасности ртути и ее соединений для окружающей среды и здоровья человека

Ртуть и ее соединения (Ch^{Hg}) являются одними из широко распространенных ХВ, для которых проводятся работы по оценке «химического следа» (ChF^{Hg}) [147]. Подобное внимание исследователей обусловлено тем, что сегодня Ch^{Hg} одни из приоритетных ХВ, вызывающих наибольшую опасность³². Поступление Ch^{Hg} в подсистемы ОС создают значительные риски как для ОС, так и для здоровья человека. Значимость проблем, связанных с использованием Ch^{Hg} , изучена, рассмотрена и получила всемирное признание, результатом которого стала Минаматская конвенция о ртути [148].

Металлическая ртуть образует сплавы (амальгамы) со многими металлами: золотом, серебром, цинком, свинцом, натрием, калием и др. [149]. Необходимо отметить, что аномально высокое давление насыщенных паров обуславливает легкость перехода элементарной ртути в газовую фазу и, как следствие, играет важную роль в атмосферной миграции ртути. Растворимые в воде соединения ртути обладают повышенной сорбируемостью. Опасным для биоты свойством Ch^{Hg} является способность накапливаться в живых организмах и переходить по цепям питания, вызывая различные заболевания и смерть [150].

Ртуть в природе – рассеянный элемент, концентрирующийся в сульфидных рудах преимущественно в виде киновари (HgS). Небольшие количества ртути встречаются в самородном виде. Кларк ртути в земной коре $8,3 \cdot 10^{-6} \%$, а в континентальном гранитном слое $3,3 \cdot 10^{-6} \%$. Осадочные породы содержат заметно более высокие уровни ртути, по сравнению с магматическими [149]. Гигиенические нормативы для Ch^{Hg} приведены в Приложении 2.

РФ рассматривает Минаматскую конвенцию по ртути в качестве одного из ключевых глобальных природоохранных соглашений, разработанных под эгидой ЮНЕП за последнее десятилетие³³. В соответствии с Распоряжением

³² Информационный бюллетень ВОЗ N°361 Январь 2016 г., «Ртуть и здоровье».

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/ru/>

³³ ООН 69-я сессия Генеральной ассамблеи. Выступление зам. Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации Р.Р. Гизатулина на церемонии подписания Минамат-

Правительства РФ от 7 июля 2014 г. № 1242-р «О подписании Минаматской конвенции о ртути» Россия подписала указанную Конвенцию. Интерес РФ к Конвенции обусловлен пониманием того факта, что загрязнения ртутью способны вызвать опасные экологические последствия не только локального, но и регионального характера [148].

1.6. Выводы

1. Необходимо отметить, что, хотя в настоящее время проводятся системные исследования антропогенного ВОС отдельных ХВ и учёными предложены методы ОВОС химических веществ, но большая часть исследований ориентирована на конкретные ХВ и на конкретные территории и трудно применима для других регионов.

2. Применение в РФ современных методов комплексной ОВОС химических веществ является необходимым условием устойчивого развития страны и ее перехода к «зеленой» экономике, особенно с учетом стратегической направленности на развитие химической промышленности, высокотехнологичной химии и получение инновационных ХВ.

3. Системный анализ состояния научных исследований в области ОВОС химических веществ показал, что для успешного решения этой проблемы, включающей задачу управления и обработки значительных объемов информации для большого числа объектов, целесообразно разрабатывать и применять методологию системного анализа, а также методы и алгоритмы, разработанные для идентификации проблемно-ориентированных систем, основанные на использовании системного подхода, теории искусственного интеллекта, современных методов математического моделирования, методов современных концепций оценки ЖЦ и интегрированной информационной среды.

4. Современные модели ОВОС химических веществ практически не учитывают комплексное воздействие большого количества ХВ, находящихся в

ской конвенции по ртути. 25 октября 2014 г. Штаб-квартира ООН, г. Нью-Йорк, 2014.
http://russiaun.ru/ru/news/cnv_gza

одновременном обращении на исследуемом географическом объекте.

5. Используемые зарубежными учеными модели основываются на данных, которые могут быть трудно доступны и/или требуют дорогостоящих испытаний для отдельных классов ХВ.

6. В большинстве моделей не учитывается пространственная дифференциация коэффициентов миграции и переноса, которая для такой большой страны, как РФ, может дать значительную погрешность.

7. Ch^{Hg} являются одними из приоритетных с точки зрения ВОС химических веществ и для минимизации его воздействия необходима приоритизация природно-техногенных источников поступления в подсистемы ОС, для чего необходимо проведение комплексной ОВОС в региональном и глобальном масштабе с использованием компьютерно-информационных инструментов.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ «ХИМИЧЕСКОГО СЛЕДА»

2.1. Основные этапы методологии оценки воздействия на окружающую среду химических веществ с применением концепции «экологического следа»

Для определения граничных значений ВОС химических веществ в глобальном и региональном масштабах автором использована концепция «планетарных границ», в соответствии с которой предположено, что существует некоторое предельное значение содержания ХВ, выше которого высока вероятность возникновения недопустимых последствий. Для расчета параметров этого граничного значения использован подход, изложенный в концепции «экологического следа», модифицированный в ChF с учетом специфики, обусловленной использованием и обращением ХВ. При этом предполагается, что ChF является одним из параметров, по которому проводится ОВОС и который должен быть в дальнейшем включен в семейство «следов» [120]. Это обусловлено тем, что сочетание «экологического следа», «углеродного следа» и «химического следа» может дать относительно полное понимание устойчивости по отношению к антропогенному ВОС [151].

В основу представленной в работе методологии оценки параметра ChF положено три принципа:

- принцип «От колыбели до могилы» (или, в случае, если химическое вещество подлежит повторному использованию – рециклингу, принцип «от колыбели до колыбели» подразумевает, что ОВОС химического вещества должна учитывать все стадии его ЖЦ;
- принцип «Анализ опасности и степени риска» подразумевает рассмот-

рение понятий опасности и риска. Опасность представляет собой совокупность неотъемлемых, врожденных свойств ХВ, смеси ХВ или ХТС с участием веществ, которые в условиях производства, использования или утилизации (ликвидации) могут привести к ВОС или на человека;

- принцип предосторожности провозглашен в Рио-де-Жанейрской декларации по окружающей среде и развитию (принцип 15)³⁴.

За основу разработанного автором численного метода расчета ChF взят метод, изложенный в [129], который был модифицирован, в результате чего зона его оценок расширена на атмосферу и почву. Автором предложено следующее определение ChF, основанное на теории экологического пространства: «Химический след – это численная мера наличия в подсистеме ОС таких значений количеств природных сред (воздуха $V_{a,sys}$ (м³), воды $V_{w,sys}$ (м³) и почвы $M_{s,sys}$ (кг)), которые достаточны для разбавления антропогенных ХВ до концентраций, ниже установленных пределов (предельно допустимых концентраций - ПДК, ориентировочно безопасных уровней воздействия – ОБУВ или ориентировочно допустимых уровней – ОДУ)». Поэтому в предлагаемой модели для определения граничных условий предлагается использовать гигиеническое нормирование вредных веществ в различных средах [73]. Значение ChF для i -го ХВ вычисляется по формуле:

$$\text{ChF}_i = \max \left\{ \frac{V_{a,i}}{V_{a,sys}}; \frac{V_{w,i}}{V_{w,sys}}; \frac{M_{s,i}}{M_{s,sys}} \right\}, \quad (15)$$

где: $V_{a,i}$ – объем воздуха, требующегося для разбавления до установленных нормативов выбрасываемого в атмосферу i -го ХВ; $V_{a,sys}$ – имеющийся в системе ОС объем воздуха; $V_{w,i}$ – объем воды, требующейся для разбавления сбрасываемого в водоем i -го ХВ до установленных нормативов (м³); $V_{w,sys}$ – объем воды, имеющийся в системе ОС; $M_{s,i}$ – требующееся количество почвы (кг) для распределения i -го ХВ до установленных нормативов; $M_{s,sys}$ – имеющееся в системе ОС количество почвы (кг).

Необходимо отметить, что в случае одновременного присутствия нескольких ХВ их ChF складываются, что автоматически подразумевает действие

³⁴ Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию. Конференция ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992

принципа аддитивности в отношении любых ХВ. Для множества I химических веществ с учетом принципа аддитивности суммарный «химический след» равен:

$$ChF_{\Sigma} = \max \left\{ \sum_{i=1}^I \frac{V_{a,i}}{V_{a,sys}}; \sum_{i=1}^I \frac{V_{w,i}}{V_{w,sys}}; \sum_{i=1}^I \frac{M_{s,i}}{M_{s,sys}} \right\}, \quad (16)$$

Границами исследуемой системы ОС являются определенные заранее пределы оцениваемого географического объекта, в рамках которых выделяются обладающие четко установленными размерами подсистемы ОС: атмосфера, гидросфера, почва и др.

Объем воздуха $V_{a,i}$ рассчитывается по формуле:

$$V_{a,i} = \frac{m_{a,i}}{Lim_{a,i}}, \quad (17)$$

где: $m_{a,i}$ – масса i -го ХВ, содержащаяся в атмосферном воздухе (кг); $Lim_{a,i}$ – ПДК (или ОБУВ при отсутствии ПДК) i -го ХВ в атмосферном воздухе населенных мест (mg/m^3).

Объем воды $V_{w,i}$ рассчитывается по формуле:

$$V_{w,i} = \frac{m_{w,i}}{Lim_{w,i}}, \quad (18)$$

где: $m_{w,i}$ – масса i -го ХВ, содержащаяся в пресноводных объектах гидросферы (кг); $Lim_{w,i}$ – ПДК (или ОБУВ при отсутствии ПДК) i -го ХВ в воде рыбохозяйственных водоемов (mg/m^3).

Количество почвы $M_{s,i}$ рассчитывается по формуле:

$$M_{s,i} = \frac{m_{s,i}}{Lim_{s,i}}, \quad (19)$$

где: $m_{s,i}$ – масса i -го ХВ, содержащегося в почве (кг); $Lim_{s,i}$ – ПДК (или ОДК при отсутствии ПДК) i -го ХВ в почве (mg/kg).

При проведении оценки ChF обязательно выполняются следующие действия: сбор информации, сопоставление и оценка входных потоков, выходных потоков, а также возможных ВОС на всем протяжении ЖЦ оцениваемого ХВ и/или продукции, содержащей это ХВ [152]. Системный подход к ОВОС химических веществ выражается в том, что в соответствии с принципом «от колыбе-

ли до могилы» оценка воздействия проводится на протяжении всего их ЖЦ [152,153]. При расчете массы i -го ХВ в n -й подсистеме ОС используется методология оценки ЖЦ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14040-2010 [152]. При применении системного подхода, в основе которого лежит методология оценки ЖЦ для оценки ChF, основными задачами являются: оценка количества ХВ, поступающих в различные подсистемы ОС (атмосферу, гидросферу, почву) и описание их дальнейшего поведения в подсистемах ОС, для чего обращение i -го ХВ схематично отображено на рис. 2.1.

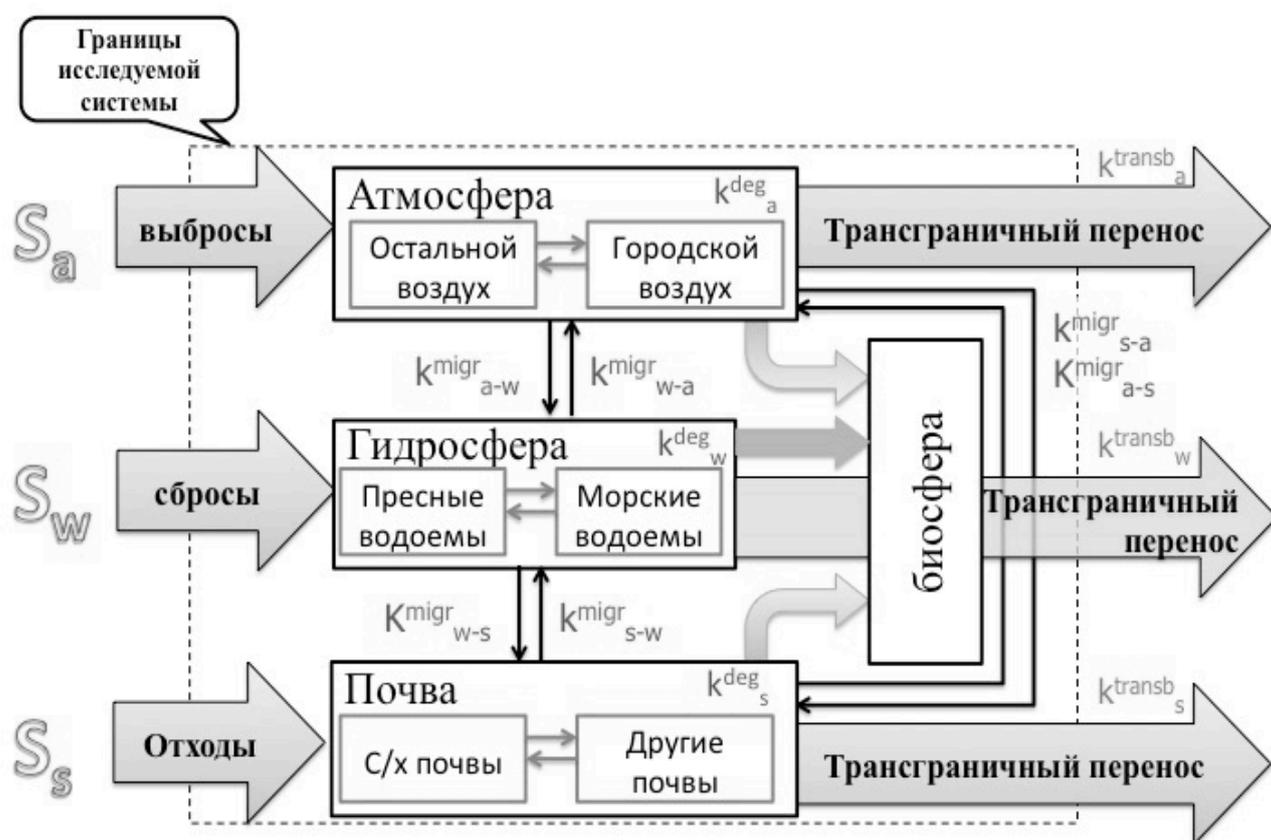


Рис. 2.1. Блок-схема обращения ХВ в окружающей среде

Границами исследуемой системы являются границы оцениваемого географического объекта.

Предполагается, что ХВ, поступающее в рассматриваемую подсистему ОС равномерно распределяется по всему объему подсистемы. В рамках моделируемой системы предполагается, что ХВ попадают в компоненты ОС из различных антропогенных источников вместе с выбросами, сбросами и в составе отходов. Кроме того, определенные классы ХВ (например, пестициды) могут

намеренно вноситься в подсистемы ОС или попадать туда в ходе их использования, например, в быту (моющие средства и другая бытовая химия). Количество i -го ХВ, поступающего в n -ю подсистему ОС от внешнего источника, обозначено как $m_{n,i}^S$ (кг), а скорость поступления i -го ХВ в единицу времени будет равна $\frac{dm_{n,i}^S}{dt}$. Если источник является стационарным, то скорость $\frac{dm_{n,i}^S}{dt}$ равна константе $S_{n,i}$ (кг/ч). При расчетах автором принято допущение, что поступление ХВ в подсистемы ОС, в первую очередь, обусловлено наличием стационарных техногенных источников.

После попадания в ОС количество ХВ может изменяться [154] по следующим причинам [140,155]:

1) миграция ХВ в другие подсистемы ОС. Скорость миграции ХВ из подсистемы n в подсистему $n' \in N$ пропорциональна массе i -го ХВ содержащегося n -й подсистеме:

$$\frac{dm_{n \rightarrow n',i}^{migr}}{dt} = -k_{n,i}^{migr} \times m_{n,i}, \quad (20)$$

Скорость миграции i -го ХВ из подсистемы n в $N-1$ подсистему ОС составляет:

$$\frac{dm_{n \rightarrow N-1,i}^{migr}}{dt} = - \sum_{n'=1}^{N-1} k_{n \rightarrow n',i}^{migr} \times m_{n,i}, \quad (21)$$

Одновременно i -е ХВ может мигрировать из $N-1$ других подсистем ОС в рассматриваемую подсистему n . Скорость миграции i -го ХВ из подсистемы $n' \in N$ окружающей среды в подсистему n пропорциональна массе i -го ХВ в подсистеме n' :

$$\frac{dm_{n' \rightarrow n,i}^{migr}}{dt} = k_{n',i}^{migr} \times m_{n',i}, \quad (22)$$

Скорость миграции i -го ХВ из $N-1$ подсистем ОС в подсистему n равна:

$$\frac{dm_{N-1 \rightarrow n, i}^{migr}}{dt} = \sum_{n'=1}^{N-1} k_{n' \rightarrow n, i}^{migr} \times m_{n', i}, \quad (23)$$

2) деградация ХВ, скорость которой для i -го ХВ в подсистеме n ОС равна:

$$\frac{dm_{n, i}^{deg}}{dt} = -k_{n, i}^{deg} \times m_{n, i}, \quad (24)$$

3) вынесение за пределы исследуемого объекта в результате трансграничного переноса (в свою очередь, трансграничный перенос также может быть источником дополнительного поступления ХВ в подсистемы ОС, но он может быть учтен (вычтен) при определении скорости выноса). Скорость переноса i -го ХВ за пределы рассматриваемой подсистемы n :

$$\frac{dm_{n, i}^{transb}}{dt} = -k_{n, i}^{transb} \times m_{n, i}, \quad (25)$$

В соответствии с законом сохранения массы:

$$\frac{dm_{n, i}}{dt} = S_{n, i} - \sum_{j=1}^{N-1} k_{n \rightarrow j, i}^{migr} m_{n, i} + \sum_{j=1}^{N-1} k_{j \rightarrow n, i}^{migr} m_{j, i} - k_{n, i}^{deg} m_{n, i} - k_{n, i}^{transb} m_{n, i}, \quad (26)$$

где: $\frac{dm_{n, i}}{dt}$ – скорость изменения содержания i -го ХВ в n -й подсистеме ОС.

При моделировании ВОС химических веществ, находящихся в обращении длительное время, предполагается, что в исследуемых системах устанавливается равновесие. Примером установления такого равновесия может являться процесс миграции ХВ из гидросферы в биоту в соответствии с ГОСТ 32538-2013 [156], в котором при тестировании переноса ХВ из гидросферы в биоту наступает стационарное состояние, когда кривая зависимости содержания тестируемого ХВ в рыбе от времени становится параллельной временной оси (состояние достигается менее чем за 28 дней, в исключительных случаях этот период составляет 60 дней). Приравняв $\frac{dm_{n, i}}{dt} = 0$ в (26) получим:

$$S_{n,i} = \sum_{n'=1}^{N-1} k_{n \rightarrow n',i}^{migr} \times m_{n,i} + k_{n,i}^{deg} \times m_{n,i} + k_{n,i}^{transb} \times m_{n,i} - \sum_{n'=1}^{N-1} k_{n' \rightarrow n,i}^{migr} \times m_{n',i}, \quad (27)$$

Обозначив:

$$\sum_{n'=1}^{N-1} k_{n \rightarrow n',i}^{migr} \times m_{n,i} + k_{n,i}^{deg} \times m_{n,i} + k_{n,i}^{transb} \times m_{n,i} = k_{n,i}^{total}, \quad (27)$$

Можно соотношение (27) свернуть в матричную форму:

$$\vec{S} = K \times \vec{m} \quad (28)$$

где: \vec{S} – вектор источников поступления ХВ в ОС (кг/ч); K – матрица коэффициентов, в которой по диагонали отложены $k_{n,i}^{total} (ч^{-1})$ для N подсистем ОС, вычисленные по соотношению (28), а другие элементы содержат константы скорости миграции ХВ из подсистемы $n' \in N$ в n -ю подсистему $k_{n' \rightarrow n,i}^{migr} (ч^{-1})$; \vec{m} – вектор содержания ХВ в подсистемах ОС (кг),

$$\vec{m} = -K^{-1} \times \vec{S} = FF \times \vec{S} \quad (29)$$

где: FF – матрица факторов, учитывающая миграцию, трансформацию и персистентность ХВ в ОС, в том числе способность ХВ к биоразложению и биодеградации.

2.2. Эвристическо-вычислительный алгоритм принятия решений по оценке «химического следа»

В целом алгоритм принятия решений по оценке «химического следа» (ChF) состоит из следующих этапов, в той или иной форме встречающихся у большинства исследователей, занимающихся этой проблематикой [26]. С другой стороны, предлагаемый автором подход впервые гармонизирован с алгоритмом определения «углеродного следа» [127]:

Этап 1. Формирование цели, области применения и определение перечня ХВ, представляющих интерес для исследования, определение временных и пространственных границ оценки ChF.

Этап 2. Инвентаризация, составление перечня всех ХВ, попадающих в ОС в составе выбросов, сбросов и отходов в рамках очерченных границ. При

инвентаризации рекомендуется: идентификация всех внесенных в перечень ХВ (с использованием наименования, номера CAS или других идентификаторов); поиск и анализ достоверности данных об опасных свойствах ХВ для ОС, внесенных в перечень; приоритизация ХВ и выбор ХВ, представляющих значимую опасность для ОС в рамках установленных границ и (при необходимости) в планетарном масштабе.

Этап 3. Количественная оценка поступления приоритетных ХВ в подсистемы ОС в виде выбросов, сбросов, твердых отходов (кг/день).

Этап 4. Количественная оценка содержания ХВ в различных подсистемах ОС (мг/л). В первую очередь, оценка проводится для пресноводных объектов гидросферы;

Этап 5. Количественная оценка негативного ВОС, вызванного химическим загрязнением с использованием показателей гигиенического нормирования (ПДК, ОБУВ и др.);

Этап 6. Представление результатов в виде отношения требуемого ресурса ОС к имеющемуся в наличии (безразмерная величина).

Этап 7. Верификация полученных оценок ChF.

Рассмотрим сущность шагов предложенного алгоритма.

На **первом этапе** определяются цели и области (территории) оценки ChF, устанавливаются границы для исследования (локальный, региональный или глобальный масштаб).

На **втором этапе** на основании выбранных целей и границ исследования формируется перечень ХВ, для которых в дальнейшем рассчитывается ChF.

В ряде случаев, для конкретизации задачи предлагается рассматривать только определенный набор ХВ, например, ХВ с большими объемами производства [26,157] или ХВ, характеризующиеся наиболее опасными свойствами [158]. На практике суммарное поступление химических веществ в ОС часто определяется с применением коэффициентов, учитывающих вид их использования или свойства [159], что объясняется различной доступностью данных натурных измерений [26]. При составлении перечня ХВ рекомендуется вклю-

чать в него следующую информацию [129]: наименование (ия) ХВ; идентификационный (ые) номер (а) (например, номер CAS); количество ХВ в выбросах, сбросах и в образующихся твердых отходах (кг/день); детальное описание (по возможности) того, в какую подсистему ОС поступает ХВ.

На **третьем этапе** оценивается количество ХВ в различных подсистемах ОС. При оценке ChF, с одной стороны, учитываются характеристики подсистемы ОС, в которой оценивается содержание ХВ, а, с другой стороны, характеристики самого ХВ.

На **четвертом этапе** на основании данных по поступлению ХВ в подсистемы ОС оценивается их содержание в ОС с учетом всего их ЖЦ, включающего в себя процессы трансформации, миграции и переноса ХВ.

На **пятом этапе** количественно оценивается граница допустимого загрязнения, которая определяется с использованием показателей гигиенического нормирования – ПДК, ОБУВ, ОДУ, ОДК [73]. Например:

1) предельное содержание i -го ХВ в атмосфере ($\text{мг}/\text{м}^3$) устанавливается в соответствии со среднесуточной ПДК для атмосферного воздуха населенных мест (ПДК_{с.с.}), при отсутствии ПДК_{с.с.} используется максимально разовая ПДК_{м.р.} или ОБУВ для атмосферного воздуха населенных мест, а при отсутствии таковых используется среднесменная или максимальна разовая ПДК_{р.з.} или ОБУВ для рабочей зоны;

2) предельное содержание i -го ХВ в гидросфере ($\text{мг}/\text{л}$) устанавливается в соответствии с ПДК_{рыб.хоз} для водоемов рыбохозяйственного водопользования, при отсутствии ПДК_{рыб.хоз} используется ОБУВ_{рыб.хоз} или ПДК_в или ОДУ_в для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования;

3) предельное содержание i -го ХВ в почве ($\text{мг}/\text{кг}$) устанавливается в соответствии с ПДК_п в почве или с ОДК в почве (при отсутствии ПДК_п).

На **шестом этапе** анализируется значение ChF, в общем виде предполагается что значение ChF больше 1 будет указывать на превышение границы допустимого риска для химического загрязнения (если расчет проводился в планетарном масштабе, то планетарной границы).

На **седьмом этапе** результаты расчетов проверяются с помощью данных натуральных измерений [26]. В том случае, если данные натуральных измерений оказываются недоступными, в соответствии с принятыми подходами к моделированию составляется отчет, в котором обосновывается выбор модели, приводятся сведения о входных и выходных параметрах, а также приводятся результаты анализа неопределенностей и чувствительности модели [160].

2.3. Методика применения универсального программного комплекса «USEtox» для расчета показателей дисперсии химических веществ в окружающей среде

Для оценки содержания ХВ в подсистемах ОС используются различные математические и компьютерные модели. Одной из них является модель USEtox, разработанная при поддержке ЮНЕП и реализованная в виде одноименного универсального программного комплекса «USEtox». Одним из основных преимуществ модели USEtox является тот факт, что в основе алгоритма расчета лежит методика оценки ЖЦ химических веществ [139], что позволяет реализовать базовый принцип оценки ChF – «от колыбели до могилы». Кроме того, рассчитываемые в модели USEtox показатели могут быть преобразованы в количества ХВ, присутствующих в оцениваемых подсистемах ОС. Среди ХВ, включенных в БД модели USEtox, присутствуют Hg^{2+} , расчеты для которых представлены ниже.

В стандартной модели USEtox окружающая среда представлена в виде двухуровневой системы: исследуемый локальный уровень 'С' и весь остальной мир – глобальный уровень 'G' (в ряде случаев система может быть трехуровневой, когда в качестве третьего уровня рассматривается среда внутри и вне помещения, однако в рассматриваемой автором модификации модели это не учитывается.) (см. рис. 2.2).

Каждый из уровней включает в себя несколько малых подсистем ОС: на локальном уровне в качестве отдельных подсистем ОС выделены городской

(airU) и атмосферный (airC) воздух, морская (sea.waterC) и пресная (fr.waterC) вода, сельскохозяйственная (agr.soilC) и другие типы почв, под которыми в первую очередь понимаются почвы не занятые деятельностью человека (nat.soilC). Подсистемами ОС глобального уровня являются: атмосферный воздух (airG), пресная вода (fr.waterG), океан (oceanG), сельскохозяйственная почва (agr.soilG) и другие типы почв (nat.soilG).

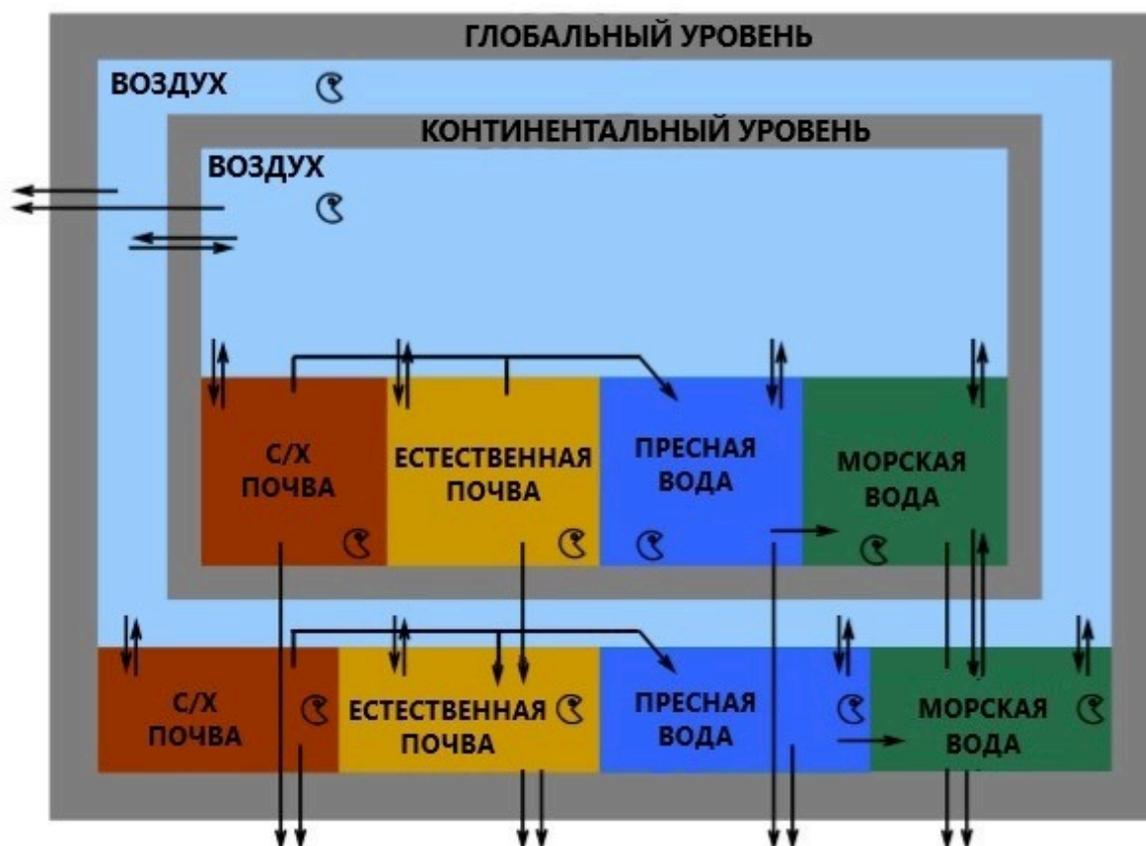


Рис. 2.2. Укрупненная исходная модель ОС в USEtox

Модель USEtox позволяет рассчитать ряд коэффициентов воздействия ХВ на объекты ОС: коэффициенты биоаккумуляции, трансформации, экотоксикологического воздействия и др. Но для проведения ОВОС химических веществ в рамках данного исследования модель USEtox использовалась только для расчёта усредненных концентраций ХВ в воде пресных и морских водоемов, в воздухе городских и не урбанизированных территорий, а также в природной и сельскохозяйственной почвах.

Модель в свободном доступе размещена в интернете³⁵.

Исходные данные, используемые при расчетах по Федеральным округам РФ, представлены в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1.

Исходные данные для расчета по Федеральным округам РФ [161]

Федеральные округа	Площадь, тыс. км ²	Средняя температура, °С	Скорость ветра, м/с	Количество осадков, мм	Плотность почв, г/см ³	Речной сток, км ³ /год	Водные ресурсы, км ³ /год
Южный	420,9	9,5	4	473	1,2	288,9	560,6
Центральный	649,2	4,6	4	607	1,4	126	328,2
Уральский	1818,5	-3,7	4	468	1,4	597,3	1206,1
Северо-Кавказский	170,4	8,8	3	547	1,2	28,0	61,4
Северо-Западный	1687,0	0,1	4	558	1,5	607,4	867,7
Приволжский	1036,9	3,1	4	527	1,3	271,3	1490,9
Дальневосточный	6169,3	-8,2	3	417	1,3	1848,1	2459,7
Сибирский	5145,0	-5,0	3	445	1,3	1975,7	1321,1

Таблица 2.2.

Распределение земель по Федеральным округам РФ [162]

Федеральные округа	Категории земель, км ² (доля)						
	Водного фонда	Сельскохозяйственного назначения	Особо охраняемых территорий	Населенных пунктов	Промышленности и пр.	Лесного фонда	Запаса
Южный	14318 (0,03)	331884 (0,79)	7782 (0,02)	15842 (0,04)	15395 (0,04)	27236 (0,06)	8419 (0,02)
Центральный	7961 (0,01)	351749 (0,54)	7025 (0,01)	49253 (0,07)	12763 (0,02)	209139 (0,32)	12315 (0,02)
Уральский	89512 (0,05)	494889 (0,27)	25768 (0,01)	26414 (0,01)	13069 (0,01)	1086656 (0,6)	82189 (0,05)
Северо-Кавказский	1070 (0,01)	135702 (0,8)	2770 (0,02)	7035 (0,04)	1813 (0,01)	17416 (0,1)	4633 (0,03)
Северо-Западный	46678 (0,03)	341379 (0,2)	66691 (0,04)	16526 (0,01)	66208 (0,04)	1069189 (0,63)	80301 (0,05)
Приволжский	17038 (0,02)	576238 (0,56)	12134 (0,01)	42874 (0,04)	13260 (0,01)	362801 (0,35)	12630 (0,01)
Дальневосточный	38628 (0,01)	656484 (0,11)	181504 (0,03)	15190 (0,001)	17193 (0,003)	4947640 (0,8)	312690 (0,05)
Сибирский	65146 (0,01)	967001 (0,19)	166078 (0,03)	27209 (0,01)	32054 (0,01)	3505402 (0,68)	382063 (0,07)

Представленная в табл. 2.1 и 2.2 информация вводится в модель USEtox на вкладку «Landscape & indoor data» (см. рис. 2.3). Необходимо отметить, что в модель напрямую вводятся данные о доле земель сельскохозяйственного назначения и водного фонда. Все остальные земли объединяются и вводятся как другие почвы (nat.soilC).

³⁵ Электронный ресурс на котором в свободном доступе размещена модель и сопровождающая документация. www.USEtox.org

The screenshot shows the USEtox software interface with a data entry table. The table has columns for ID, Name, and several parameters. The parameters are: Areafrac (for nat soil, agr soil, other soil), Temp (°C), Surface wind speed (m.s⁻¹), Wind speed over mixing height (m.s⁻¹), Rain rate (mm.yr⁻¹), Depth (fresh water m), and Fraction fresh water discharge (cont-global). The table lists various geographical regions such as W1, W2, W3, etc., and their corresponding parameter values.

Рис. 2.3. Пример ввода информации по географическим объектам в модель USEtox

Для расчетов FF необходимо знать следующую информацию, представленную в табл. 2.3 (для органических веществ) и табл. 2.4 (для неорганических элементов). Эта информация вводится во вкладке «Substance data» модели USEtox, причем для большого количества веществ, включая Hg^{2+} , эти данные уже подобраны и внесены в соответствующие БД.

Таблица 2.3.

Информация, требуемая для расчетов FF для органических веществ

Параметр	Единицы измерения
Молекулярный вес, M	г/моль
Коэффициент распределения октанол-вода, Kow	безразмерный
Давление пара (при 25°C), Pп	Па
Растворимость (при 25°C), S	мг/л
Скорость деградации в воздухе, $K_d^{\text{возд.}}$	с^{-1}
Скорость деградации в воде, $K_d^{\text{вода}}$	с^{-1}
Скорость деградации в осадочных отложениях, $K_d^{\text{ос.}}$	с^{-1}
Скорость деградации в почве, $K_d^{\text{п.}}$	с^{-1}

Таблица 2.4.

Информация, требуемая для расчетов ФГ для металлов

Параметр	Единицы измерения	Примечание
Молекулярный вес, М	г/моль	
Константа Генри (при 25 °С)	Па·м ³ /моль	Устанавливается как 1·10 ⁻²⁰
LogK _{ow}	безразмерный	
Коэффициент распределения растворенный органический углерод–вода, K _{DOC}	л/кг	При отсутствии экспериментальных данных можно рассчитать приблизительное значение по формуле: $K_{DOC} = 0.08 \cdot K_{OW}$
Коэффициент распределения взвесь–вода, K _{pSS}	л/кг	
Коэффициент распределения осадочные отложения – вода, K _{pSd}	л/кг	
Коэффициент распределения почва–вода,	л/кг	
Скорость деградации в воздухе, K _o ^{возд.}	с ⁻¹	Устанавливается как 1·10 ⁻²⁰
Скорость деградации в воде, K _o ^{вода}	с ⁻¹	Устанавливается как 1·10 ⁻²⁰
Скорость деградации в осадочных отложениях, K _o ^{ос.}	с ⁻¹	Устанавливается как 1·10 ⁻²⁰
Скорость деградации в почве, K _o ^{n.}	с ⁻¹	Устанавливается как 1·10 ⁻²⁰
Фактор биоаккумуляции в рыбе/биоте, BAF	л/кг	При отсутствии экспериментальных данных можно рассчитать приблизительное значение по формуле: $BAF = 0.05 \cdot K_{OW}$

Данные по веществам вводятся во вкладку «Substance data». На рис. 2.4 представлены данные, введенные в модель, по тяжелым металлам. В частности введена информация по Ch^{Hg}, которые являются основными объектами изложенного в работе исследования.

RowNr	CAS RN	Name	SoI25 mg.L ⁻¹	Koc L.kg ⁻¹	Kpss L.kg ⁻¹	Kpso L.kg ⁻¹	Kps L.kg ⁻¹	kdeg _a s ⁻¹	kdeg _w s ⁻¹	kdeg _{so} s ⁻¹	kdeg _{ss} s ⁻¹	kdiss _a s ⁻¹	kdiss _w s ⁻¹
3094	15158-11-9	Cu(II)	0.0E+00	2.5E+05	2.0E+05	7.9E+04	6.3E+03	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	0.0E+00	0.0E+00
3095	15438-31-0	Fe(II)	8.7E+07	2.6E+06	3.2E+03	5.3E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3096	20074-52-6	Fe(III)	2.0E+04	8.5E+02	1.6E+05	8.8E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3097	14302-87-5	Hg(II)	1.0E+08	3.2E+06	1.6E+05	8.8E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3098	16397-81-4	Mn(II)	2.5E+05	2.0E+05	7.9E+04	6.3E+03	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3099	16397-81-4	Mn(II)	1.9E+05	5.8E+03	2.8E+04	1.2E+03	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3099	16055-87-5	Mo(VI)	1.0E+02	2.5E+04	3.2E+02	4.0E+01	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3100	14701-22-5	Ni(II)	7.6E+04	2.4E+03	7.9E+03	2.8E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3101	14280-50-3	Pb(II)	4.8E+06	7.5E+06	4.0E+04	2.0E+03	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3102	23713-48-6	Sb(III)	1.0E+02	5.0E+03	4.0E+03	1.5E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3103	22537-51-5	Sb(V)	1.0E+02	5.0E+03	4.0E+03	6.2E+01	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3104	22541-55-5	Se(IV)	1.0E+02	2.5E+04	4.0E+03	6.2E+01	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3105	22541-90-8	Sn(II)	1.0E+02	7.9E+04	5.0E+03	1.6E+03	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3106	22537-39-9	Sr(II)	4.5E+03	1.5E+03	4.8E+02	5.2E+01	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3107	22537-56-0	Ti(II)	4.0E+01	1.3E+04	2.0E+01	3.2E+00	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20
3108	15121-26-3	V(V)	1.0E+02	5.0E+03	1.3E+02	3.0E+02	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20	1.0E-20

Рис. 2.4. Пример вводимых данных по ХВ во вкладку «Substance data» универсальной компьютерной модели USEtox

Результаты расчетов можно увидеть на вкладке «Run» модели USEtox, но предварительно необходимо ввести данные о поступлении ХВ в оцениваемые географические объекты. Данные вводятся отдельно по различным подсистемам ОС (атмосферы, включая городской воздух; гидросферы, включая как

морские, так и пресные водоемы; почву, включая сельскохозяйственные и другие типы почв) на вкладке «Run» ячейки W20-W30 (см. рис. 2.5). Если поступление оцениваемого ХВ в одну из рассматриваемых подсистем ОС отсутствует – то в соответствующих полях модели USEtox ставится ноль.

		user input				
Concentration calculation		emission	mass	rel mass	volume	concentration
		(kg/year)	(kg)	(-)	(m ³)	(kg m ⁻³)
Environmental compartments	home.airI	1	1,44E-04	0,00%	2,4E+02	6,12E-07
	occ.airI	2	1,90E-05	0,00%	3,5E+02	5,43E-08
	airU	3	2,34E-04	0,00%	5,3E+09	4,38E-14
	airC	2000	8,16E+00	0,00%	5,4E+15	1,52E-15
	fr.waterC	1000	2,89E+02	0,00%	1,3E+11	2,25E-09
	seawaterC	4	3,29E+03	0,01%	3,3E+13	1,01E-10
	nat.soilC	20000	2,55E+07	97,70%	4,0E+11	6,36E-05
	agr.soilC	5	2,15E+05	0,82%	9,8E+10	2,20E-06
	airG	6	7,10E+00	0,00%	4,9E+17	1,44E-17
	fr.waterG	7	1,14E+00	0,00%	1,0E+12	1,11E-12
oceanG	8	5,84E+03	0,02%	7,5E+16	7,79E-14	
nat.soilG	9	3,62E+05	1,39%	1,2E+13	3,13E-08	
agr.soilG	10	1,45E+04	0,06%	1,3E+10	1,08E-06	
Sum		23052	26116069,84	100,00%	5,7E+17	---

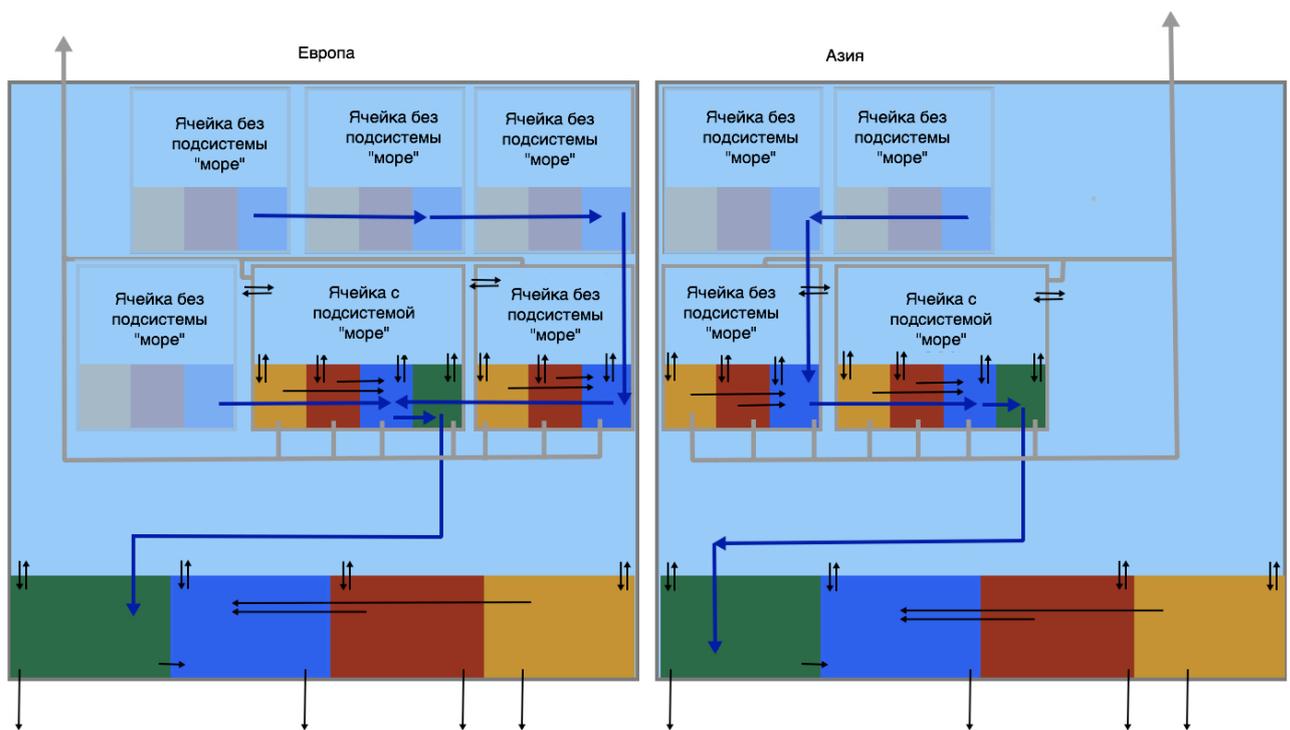
Рис. 2.5. Ввод данных о поступлении оцениваемого ХВ из различных источников

Результаты вычислений представляются на той же вкладке «Run»: масса в столбце «mass», ячейки X20-X30 (кг) и концентрация – в столбце «concentration», ячейки AA20-AA30 (кг/м³). Матрица с константами скоростей переноса также представлена на вкладке «Run», ячейки F25:P35 (см. рис. 2.6).

Loss processes - [day ⁻¹]		Emission compartment							
		home.airI	occ.airI	airU	airC	fr.waterC	sea.waterC	nat.soilC	agr.soilC
removal	degradation	0,00E+00	0,00E+00	5,12E-01	3,17E-05	1,39E-01	1,31E-04	4,01E-07	4,01E-07
		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,64E-16	8,64E-16	8,64E-16	8,64E-16
Mass balance rate constants - k [day ⁻¹]		Emission compartment							
		home.airI	occ.airI	airU	airC	fr.waterC	sea.waterC	nat.soilC	agr.soilC
Receiving compartment	home.airI	-1,90E+01	0	0	0	0	0	0	0
	occ.airI	0	-2,88E+02	0	0	0	0	0	0
	airU	9,48E+00	2,30E+02	-6,18E+01	6,08E-05	0	0	0	0
	airC	9,48E+00	5,76E+01	6,10E+01	-6,76E-01	2,27E-23	1,33E-24	9,52E-26	9,52E-26
	fr.waterC	0	0	2,56E-01	2,99E-03	-1,72E-01	0	1,82E-06	1,82E-06
	sea.waterC	0	0	0	1,90E-02	3,22E-02	-2,88E-03	0	0
	nat.soilC	0	0	0	2,33E-01	0	0	-2,22E-06	0
	agr.soilC	0	0	0	5,68E-02	6,98E-07	0	0	-2,22E-06
	airG	0	0	0	3,64E-01	0	0	0	0
	fr.waterG	0	0	0	0	0	0	0	0
oceanG	0	0	0	0	0	2,75E-03	0	0	
nat.soilG	0	0	0	0	0	0	0	0	
agr.soilG	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рис. 2.6. Пример, расчета матрицы коэффициентов миграции, деградации и переноса для Ch^{Hg}

Однако для учета пространственной дифференциации исходная модель USEtox была модифицирована и вместо двух уровневой системы рассматривалась многоуровневая система, объединяющая несколько глобальных и локальных уровней равных количеству частей света в которых расположены оцениваемые локальные уровни (см. рис. 2.7).



Подсистемы окружающей среды

- Сельскохозяйственные почвы Морские водоемы/океан Воздух
- Другие типы почв Пресные водоемы

Рис. 2.7. Предложенная автором модификация модели ОС в USEtox

Для того, чтобы выполнить подобную модификацию параметры глобального уровня определялись по отношению к площади всех входящих в него оцениваемых локальных уровней. Далее из всех локальных и глобальных уровней формировалась единая матрица коэффициентов (см. рис. 2.8).

Рис. 2.8. Схематичное изображение матрицы коэффициентов, включающей 8 локальных уровней (светло-зеленый цвет) и 2 глобальных (ярко- и темно-зеленый цвет)

В исходной модели USEtox не предусмотрен учет переноса оцениваемых ХВ между локальными уровнями ОС. В представленной автором модифицированной модели USEtox учтена возможность переноса ХВ с водными массами из пресных водоемов гидросферы одной локальной области в пресные водоемы другой и внесены следующие изменения:

- исключена площадь морских водоемов в областях из которых осуществляется перенос в другие рассматриваемые в системе локальные области;

- в тех областях, в которых перенос ХВ с водными массами осуществляется в глобальный уровень площади моря увеличены с учетом площадей предстоящих по направлению движения водных масс ячеек (т.е. площадь моря определяется по отношению к площади водосбора, а не оцениваемой географической области);

- в локальных областях (без моря) аннулированы константы скоростей переноса из атмосферы в море ($airC - sea.waterC$), из океана в море ($oceanG - sea.waterC$), из моря в атмосферный воздух ($sea.waterC - airC$), из моря в океан ($sea.waterC - oceanG$) и из пресной воды в море ($fr.waterC - sea.waterC$);

- константа переноса вещества из области j в область $j+1$ определена равной константе переноса для j -й области из пресной воды в море ($fr.waterC - sea.waterC$);

Для расчета констант переноса ХВ из области j в область $j+1$ автором разработан оригинальный алгоритм расчета констант скоростей переноса и миграции ХВ в водной среде с использованием ГИС.

2.4. Алгоритм расчета констант скоростей переноса и миграции химических веществ в водной среде с использованием геоинформационных систем

Большинством исследователей при оценках воздействия ХВ на подсистемы ОС, проводимых в масштабе страны или отдельного региона с использованием стандартной модели USEtox [129,163], не учитывается пространственная дифференциация времени пребывания ХВ в подсистемах ОС, которая наиболее значима для гидросферы, поскольку присутствует направленное перемещение ХВ с водными массами. Однако рядом авторов показано, что учет пространственной дифференциации позволяет повысить точность расчетов [154], а ее отсутствие зачастую приводит к снижению достоверности получен-

ных оценок [164,165], что обусловлено различием времени жизни оцениваемого ХВ на порядки в разных частях исследуемой географической области, что характерно, например, для случаев, когда расчеты проводятся для локальных систем, сопоставимых по размерам с территориями стран и/или регионов [166,167]. Модели, учитывающие пространственную дифференциацию поведения химических веществ в ОС, используются рядом исследователей при глобальных оценках химической нагрузки для биогенных элементов, таких как фосфор [168].

Автором предложен алгоритм расчета констант скоростей переноса ХВ в гидросфере с использованием ГИС (k^{transb}), который позволил учесть пространственную дифференциацию в этой подсистеме при расчетах химической нагрузки и ChF. Алгоритм расчета основан на использовании глобальных БД, содержащих необходимые данные для всего земного шара с шагом ячейки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$; в частности, такие данные по рекам собраны в БД бассейнов рек Simulated Topological Networks (STN-30p)³⁶. Структура данной речной сетки получена на основе цифровой модели рельефа и согласуется с независимыми данными маршрутизации реки (направления движения водных масс в ячейке). Данные по средним многолетним значениям массы перемещающейся воды из j -й ячейки за год ($\text{м}^3/\text{год}$), среднегодовое количество осадков ($\text{мм}/\text{год}$), ирригация в i -й ячейке ($\text{м}^3/\text{год}$) и численность сельского и городского населения для j -й ячейки, для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷; среднегодовая температура (К) и скорость ветра ($\text{м}/\text{с}$) j -й ячейки для i -й ячейки, для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ – с сайта центра ЕС среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦ-СПП)³⁸, а доли сельскохозяйственных почв взяты из ресурса EarthStat, созданного в результате сотрудничества между университетами Миннесоты и Британской Колумбии³⁹.

³⁶ Potential Simulated Topological Networks www.wsag.unh.edu/Stn-30/stn-30.html

³⁷ World Water Development Report II. Indicators for World Water Assessment Programme. wwdrii.sr.unh.edu

³⁸ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Public Datasets apps.ecmwf.int/datasets/

³⁹ EarthStat. www.earthstat.org/data-download/

Необходимо отметить, что предложенный алгоритм учитывает только движение пресноводных масс и не позволяет отразить в системе переносы ХВ, осуществляемые морскими или океаническими течениями, движениями воздушных масс и т.п.

Для учета пространственной дифференциации, обусловленной движением пресноводных масс, систему предлагается представить, как совокупность ячеек размером $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Блок-схема модели процессов, происходящих в j -й ячейке исследуемой географической области размером $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ с учетом движения пресноводных масс на некоторой территории (географической области) с определенными границами, представлены на рис. 2.9.

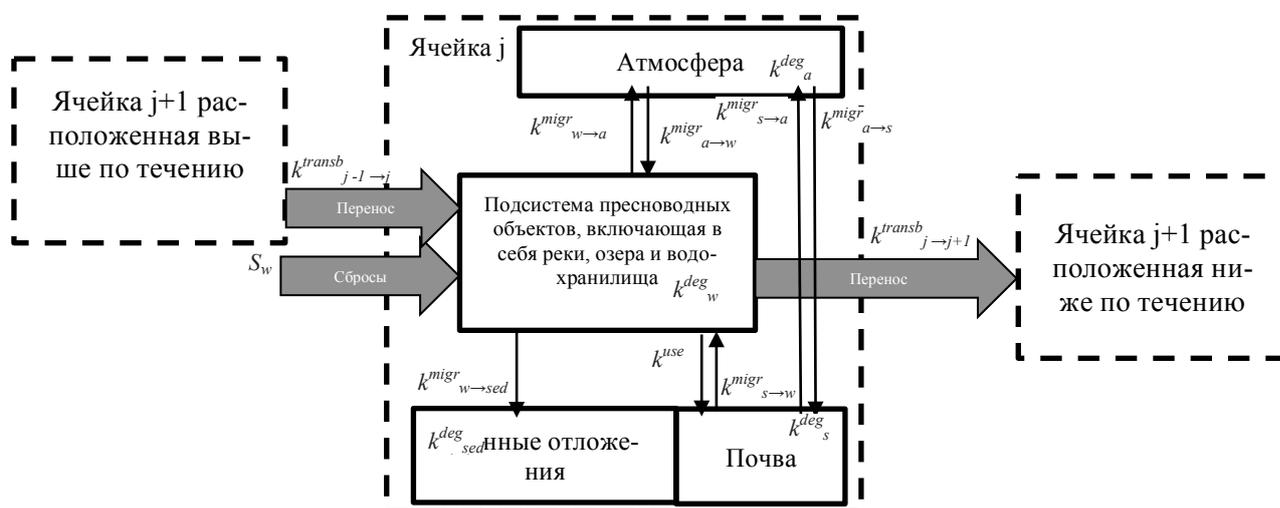


Рис. 2.9. Блок-схема логистической модели ЖЦ химического вещества в гидросфере

В представленной на рис. 2.9 блок-схеме в качестве отдельных подсистем ОС выделены: атмосфера, гидросфера (пресноводные объекты) и почва, в которой в качестве отдельной подсистемы (исполняющей роль стока - подсистемы в которой происходит накопление ХВ и фактически вывод их из обращения) рассматриваются донные отложения. ЖЦ химического вещества в гидросфере в границах оцениваемой ячейки учитывает процессы трансформации или дегградации (характеризуется константой скорости k^{deg}), миграции (характеризуется константой скорости k^{migr}) и переноса за пределы ячейки (характеризуется константой скорости k^{transb}) ХВ с учетом движения пресноводных масс. Общее уравнение содержания i -го ХВ в подсистеме пресноводных объектов j -й

ячейки представлено в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dm_{w,i,j}}{dt} = & \frac{dm_{w,i,j}^s}{dt} + \frac{dm_{a \rightarrow w,i,j}^{migr}}{dt} + \frac{dm_{s \rightarrow w,i,j}^{migr}}{dt} + \frac{dm_{w \rightarrow a,i,j}^{migr}}{dt} + \frac{dm_{w \rightarrow sed,i,j}^{migr}}{dt} + \frac{dm_{w \rightarrow s,i,j}^{migr}}{dt} + \\ & + \frac{dm_{w,i,j-1 \rightarrow j}^{transb}}{dt} + \frac{dm_{w,i,j \rightarrow j+1}^{transb}}{dt} + \frac{dm_{w,i,j}^{deg}}{dt}, \end{aligned} \quad (30)$$

Уравнение (30) с учетом формул (20) – (25) для i -го ХВ, находящегося в обращении в j -й ячейке, приобретает вид:

$$\begin{aligned} 0 = & S_{w,i,j} + k_{a \rightarrow w,i,j}^{migr} \times m_{a,i,j} + k_{s \rightarrow w,i,j}^{migr} \times m_{s,i,j} - k_{w \rightarrow a,i,j}^{migr} \times m_{w,i,j} - k_{w \rightarrow sed,i,j}^{migr} \times m_{w,i,j} - \\ & - k_{w,j}^{use} \times m_{w,i,j} - k_{w,i,j}^{deg} \times m_{w,i,j} - k_{w,i,j \rightarrow j+1}^{transb} \times m_{w,i,j} + k_{w,i,j-1 \rightarrow j}^{transb} \times m_{w,i,j-1} - k_{w,i,j}^{deg} \times m_{w,i,j}, \end{aligned} \quad (31)$$

где при оценке миграции ХВ необходимо учитывать два процесса. Первый - перенос ХВ из одной подсистемы ОС в другую за счет диффузии. В этом случае ХВ может перераспределяться между подсистемами ОС и перемещаться в обоих направлениях. Оценка этого процесса происходит с использованием коэффициентов распределения. Второй процесс - перенос ХВ за счет адвекции. В результате этого явления ХВ также может мигрировать из одной подсистемы ОС в другую (например, дождь способствует миграции ХВ из атмосферы в гидросферу).

Для удобства представления алгоритм расчета констант скоростей переноса и миграции ХВ в водной среде с использованием ГИС был условно разделен на три этапа:

- **на первом этапе** рассчитываются: коэффициенты распределения газ-жидкость, жидкость/твердое, взвешенная фаза/вода и органический углерод/вода;

- **на втором этапе** рассчитываются: коэффициенты распределения ХВ между атмосферой и гидросферой, почвой и гидросферой и донными отложениями и гидросферой; скорости переноса ХВ из атмосферы в гидросферу и из гидросферу в атмосферу за счет адвекции; скорость абсорбции и адсорбции ХВ; скорость связывания ХВ в донных отложениях; скорость накопления ХВ в дон-

ных отложениях и скорость десорбции ХВ из донных осадений;

- на третьем этапе рассчитывают: коэффициенты миграции ХВ из атмосферы в гидросферу, гидросферы в атмосферу, из почвы в воду, из гидросферы в донные отложения, а также коэффициент, характеризующей поступление ХВ из объектов гидросферы в почву за счет водопотребления, и скорость переноса ХВ из j -й ячейки в $j+1$ -ю ячейку.

В расчетах коэффициентов миграции ХВ между гидросферой и другими подсистемами ОС для учета процессов, обусловленных диффузией, используются безразмерные коэффициенты распределения ХВ: в системах атмосфера–гидросфера и гидросфера–почва, которые, в свою очередь, оцениваются с использованием безразмерных коэффициентов распределения ХВ газ–жидкость, жидкость–твердое, взвешенная фаза–вода и органический углерод–вода. Коэффициент распределения i -го ХВ в системе газ–жидкость $k_{g/l,i}$ равен [169]:

$$k_{g/l,i} = \frac{Kh_{25^{\circ}C,i}}{8.31 \times 298} \quad (32)$$

где: $Kh_{25^{\circ}C,i}$ константа Генри для i -го химического вещества моль/(Па·л).

Коэффициент распределения в системе жидкость–твердое для недиссоциированной $k_{d,i}$ и диссоциированной $k_{dd,i}$ форм i -го ХВ определяется по приведенным ниже формулам, полученным после подстановки значений, определенных как константы, в уравнения представленные в [169]:

$$k_{d,i} = \begin{cases} 0,05 \times k_{ow,i}^{0,81} & \text{для недиссоциированных форм ХВ} \\ 0,04 \times 10^{0,54 \times \log(k_{ow,i}) + 1,11} & \text{для кислот} \\ 0,04 \times 10^{0,37 \times \log(k_{ow,i}) + 1,7} & \text{для оснований} \\ 0,45 \times k_{ow,i}^{0,52} & \text{для амфотерных ХВ} \end{cases} \quad (33)$$

$$k_{dd,i} = \begin{cases} 0,05 \times k_{ow,i}^{0,81} \text{ для недиссоциированных форм ХВ} \\ 0,04 \times 10^{0,11 \times \log(k_{ow,i}) + 1,54} \text{ для кислот} \\ 1 \text{ для оснований при } pK_{disII,i} \leq 0 \\ 0,04 \times 10^{(pK_{disII,i})^{0,65} \times \left(\frac{k_{ow,i}}{1+k_{ow,i}}\right)^{0,14}} \text{ для оснований и амфотерных ХВ при } pK_{disII,j} > 0 \\ 0,04 \times 10^{0,11 \times \log(k_{ow,i}) + 1,54} \text{ для амфотерных ХВ при } \frac{pK_{disI,i} + pK_{disII,i}}{2} < 7 \\ 1 \text{ для амфотерных ХВ при } \frac{pK_{disI,i} + pK_{disII,i}}{2} \geq 7 \text{ и } pK_{disII,i} \leq 0 \\ 0,04 \times 10^{(pK_{disII,i})^{0,65} \times \left(\frac{k_{ow,i}}{1+k_{ow,i}}\right)^{0,14}} \text{ для амфотерных ХВ при } pK_{disII,i} > 0 \end{cases} \quad (34)$$

где: $k_{ow,i}$ – $\log K_{ow}$ для i -го ХВ; $pK_{disI,i}$ логарифм константы диссоциации для i -го ХВ по первой ступени (по умолчанию принимается равным 14); $pK_{disII,i}$ логарифм константы диссоциации для i -го ХВ по второй ступени (по умолчанию принимается равным 0).

Дополнительно при проведении ряда расчетов требуется безразмерный $\log K_{ow}$ для i -го ХВ при нейтральном рН - $k_{ow_pH7,i}$:

$$k_{ow_pH7,i} = \begin{cases} \left(\frac{k_{ow,i}}{1 + 10^{pK_{disI,i}-7} + 10^{7-pK_{disII,i}}} \right) \times \left(\frac{10^{\log(k_{ow,i})-3,5}}{1 + 10^{7-pK_{disI,i}} + 10^{pK_{disII,i}-7}} \right) \text{ при } pK_{disI,i} \leq pK_{disII,i} \\ \left(\frac{k_{ow}}{1 + 10^{pK_{disII,i}-7} + 10^{7-pK_{disII,i}}} \right) \times \left(\frac{10^{\log(k_{ow,i})-3,5}}{1 + 10^{7-pK_{disII,i}} + 10^{pK_{disII,i}-7}} \right) \text{ при } pK_{disII,i} > pK_{disI,i} \end{cases} \quad (35)$$

Доля i -го ХВ в исходном состоянии, находящегося в воде $fr_{w,j}$, принимается равной его долям в почве $fr_{s,j}$ и в донных отложениях $fr_{sed,j}$ (и при допущении, что рН гидросферы в оцениваемых ячейках по умолчанию принят равным 7), равна:

$$fr_{w,i} = fr_{s,i} = fr_{sed,i} = \begin{cases} \left(\frac{1}{1 + 10^{pK_{disI,i}-7} + 10^{7-pK_{disII,i}}} \right) \text{ при } pK_{disI,i} \leq pK_{disII,i} \\ \left(\frac{1}{1 + 10^{pK_{disII,i}-7} + 10^{7-pK_{disII,i}}} \right) \text{ при } pK_{disII,i} > pK_{disI,i} \end{cases}, \quad (36)$$

Массовая доля i -го ХВ в воде, содержащейся в облаках, $fr_{cldw,i}$ (при условии, что рН аэрозольной воды содержащейся в облаках по умолчанию принимается 5,6) равна:

$$fr_{cldw,i} = \begin{cases} \left(\frac{1}{1 + 10^{pK_{disI,i}-5,6} + 10^{5,6-pK_{disII,i}}} \right) \text{ при } pK_{disI,i} \leq pK_{disII,i} \\ \left(\frac{1}{1 + 10^{pK_{disII,i}-5,6} + 10^{5,6-pK_{disII,i}}} \right) \text{ при } pK_{disII,i} > pK_{disI,i} \end{cases}, \quad (37)$$

Коэффициенты распределения взвешенная фаза/вода $k_{susp/w,i}$ (m^3/kg) и ор-

ганический углерод/вода $k_{DOC,i}$ ($\text{м}^3/\text{кг}$) i -го ХВ при условии, что массовая доля органического углерода присутствующего в виде взвеси в воде в расчетах принимается равной 0,1; массовая доля органического углерода в донных осадка и почве, – равной 0,02; плотность минеральной составляющей почвы и донных отложений, – равной 2166,3 $\text{кг}/\text{м}^3$, равны:

$$k_{susp/w,i} = 2,3 \times (fr_{w,i} \times k_{d,i} + (1 - fr_{w,i}) \times k_{dd,i}), \quad (38)$$

$$k_{DOC,i} = 0,08 \times k_{ow_{pH7,i}}, \quad (39)$$

Доля i -го ХВ, находящегося в воде в диссоциированной $fr_{dis,i}$ форме, при условии, что концентрация суспензии в воде для пресных водоемов принимается 0,015 $\text{кг}/\text{м}^3$ [170], концентрация ХВ в биоте – 0,001 $\text{кг}/\text{м}^3$, а концентрация органического углерода в воде – 0,05 $\text{кг}/\text{м}^3$ [169,171], равна:

$$fr_{dis,i} = \frac{1}{1 + k_{susp/w,i} \times 0,5 \times 10^{-5} + k_{DOC,i} \times 5 \times 10^{-6} + BCF_i \times 10^{-6}}, \quad (40)$$

где: BCF_i коэффициент биоконцентрации для i -го ХВ ($\text{м}^3/\text{кг}$).

Таким образом, на первом этапе алгоритма (рис. 2.10) рассчитываются параметры, зависящие исключительно от свойств самих ХВ и не требующие использования географических информационных систем (ГИС) и соответствующих БД.

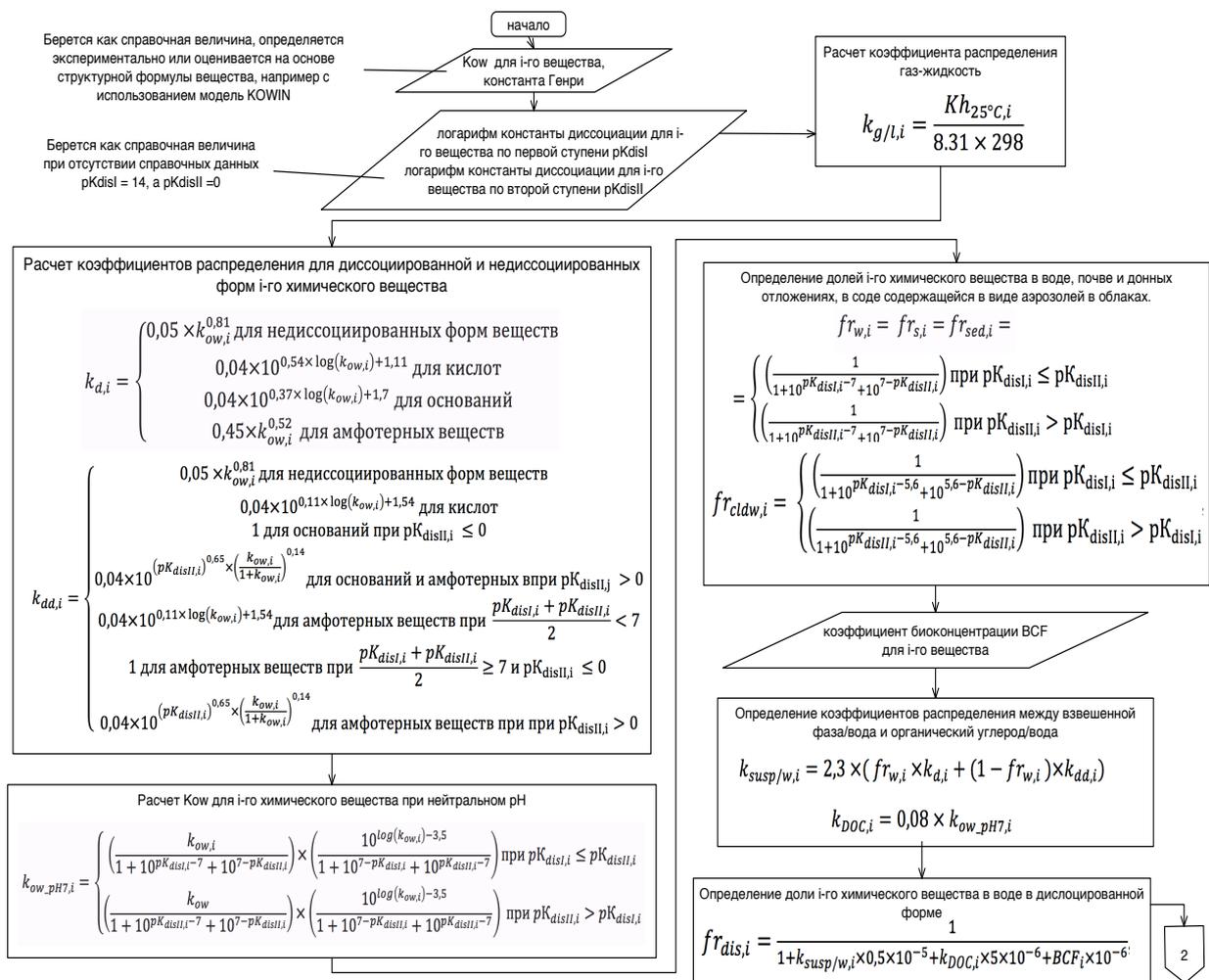


Рис. 2.10. Блок-схема алгоритма расчета параметров, зависящих только от свойств исследуемого i-го ХВ

На втором этапе рассчитываются параметры зависящие от свойств выбранной географической области или ячейки. Общий объем воды в j -й ячейке V_j^{total} определяется из суммы объемов речной воды V_j^{riv} (m^3), озерной V_j^{lake} (m^3) и воды, содержащейся в водохранилищах V_j^{res} (m^3). Данные по объемам воды, содержащейся в озерах в j -й ячейке, и данные по объемам воды, содержащейся в водохранилищах для сетки с ячейками $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷.

Определение содержания в i -й ячейке речной воды требует дополнительных расчетов. Ряд ученых в подобных расчетах предлагает вычислять объем речной воды как произведение неких условных параметров: длины L_j (км), ширины W_j (км) и глубины D_j (км) гипотетической реки, присутствующей в j -й ячейке. В самом простом случае длину условной реки (если предположить, что

она протекает от одной стороны j -й ячейки до другой) можно вычислить как $\sqrt{A_j}$ (A_j – площадь ячейки, км²), однако, поскольку большинство рек обладают некоторой извилистостью, в расчеты вводится безразмерный поправочный коэффициент извилистости $S_{b,j}$ и длина условной реки определяется по соотношению:

$$L_j = S_{b,j} \sqrt{A_j}, \quad (41)$$

где: A_j – площадь ячейки, вычисляемая для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ по ее местоположению (км²).

Коэффициент извилистости для j -й ячейки $S_{b,j}$ рассчитан и определяется в зависимости от порядка реки по соответствующим таблицам составленным для разных материков [172]. Сведения о порядке реки для сетки с ячейками $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте³⁶ в качестве одного из параметров БД бассейнов рек Simulated Topological Networks (STN-30p) [173]. Ширина и глубина условной реки в j -й ячейке вычисляется по следующим эмпирическим соотношениям [168,174]:

$$W_j = K_{w1} \times (Q_j)^{K_{w2}}, \quad (42)$$

$$D_j = K_{d1} \times (Q_j)^{K_{d2}}, \quad (43)$$

где: $K_{w1}, K_{w2}, K_{d1}, K_{d2}$ – эмпирические константы, которые для глобальных расчетов равны: $K_{w1} = 5,01 \cdot 10^{-2}$; $K_{w2} = 0,52$; $K_{d1} = 1,04 \cdot 10^{-3}$; $K_{d2} = 0,37$ [175].

$$W_j = 5,01 \times 10^{-2} \times (Q_j)^{0,52},$$

$$D_j = 1,04 \times 10^{-3} \times (Q_j)^{0,37},$$

Доля площади исследуемой j -й ячейки, занятой водой $fr_{w,j}^A$ равна:

$$fr_{w,j}^A = \frac{L_j \times W_j + fr_j^{A, lake+res} \times A_j}{A_j}, \quad (44)$$

где: $fr_j^{A, lake+res}$ – доля площади занятая озерами и водохранилищами, для j -й ячейки, данные для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷.

Общая глубина водоемов в j -й ячейке D_j^{total} равна:

$$D_j^{total} = \frac{V_j^{total}}{fr_{w,j}^A \times A_j}, \quad (45)$$

Коэффициент распределения i -го ХВ между атмосферой и гидросферой для j -й ячейки $k_{a/w,i,j}$ равен:

$$k_{a/w,i,j} = k_{g/l,i} \times e^{\left(\left(\frac{H_i^{vap}}{8,314}\right) \times \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T_j}\right)\right)} \times e^{\left(-\left(\frac{H_i^{dis}}{8,314}\right) \times \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T_j}\right)\right)} \times \left(\frac{298}{T_j}\right), \quad (46)$$

где: H_i^{vap} и H_i^{dis} – энтальпии испарения и растворения i -го ХВ (Дж/моль); T_j – среднегодовая температура (К) для i -й ячейки, для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, доступна на сайте³⁸.

Доля i -го ХВ, находящегося в газовой фазе в атмосфере j -й ячейки $fr_{gas,i,j}$ (при условии, что объемная доля воды в воздухе по умолчанию принимается $2,46 \cdot 10^{-13}$) равна:

$$fr_{gas,i,j} = \frac{1}{1 + 2,46 \times 10^{-13} \times \left(\frac{k_{ow_pH7,i}}{k_{a/w,i,j} \times fr_{cdlw,i}}\right)}, \quad (47)$$

Для расчетов переноса за счет адвекции определяются скорости массо-переноса через границу раздела фаз i -го ХВ из атмосферы в гидросферу в j -й ячейке $v_{a \rightarrow w,i,j}$ и из гидросферы в атмосферу $v_{w \rightarrow a,i,j}$:

$$v_{a \rightarrow w,i,j} = (0,003 + 0,002 \times WS_j) \times \frac{0,018^{0,035}}{MW_i}, \quad (48)$$

$$v_{w \rightarrow a,i,j} = (4 \times 10^{-6} + 4 \times 10^{-7} \times WS_j^2) \times \frac{0,032^{0,25}}{MW_i}, \quad (49)$$

где: WS_j – скорость ветра (м/с) j -й ячейки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, доступна на сайте³⁸; MW_i – молярная масса i -го ХВ.

Скорость абсорбции i -го ХВ в j -й ячейке $v_{a \rightarrow w,i,j}^{abs}$ равна:

$$v_{a \rightarrow w,i,j}^{abs} = fr_{gas,i,j} \left(\frac{v_{a \rightarrow w,i,j} \times v_{w \rightarrow a,i,j}}{v_{a \rightarrow w,i,j} \times k_{a/w,i,j} \times fr_{w,i} + v_{w \rightarrow a,i,j}} \right), \quad (50)$$

Скорость удаления i -го ХВ из гидросферы в атмосферу в j -й ячейке

$v_{w \rightarrow a, i, j}^{volat}$ (м/с) равна:

$$v_{w \rightarrow a, i, j}^{volat} = fr_{w, i} \times fr_{dis, i} \left(\frac{v_{a \rightarrow w, i, j} \times v_{w \rightarrow a, i, j}}{v_{a \rightarrow w, i, j} \times k_{a/w, i, j} \times fr_{w, i} + v_{w \rightarrow a, i, j}} \right), \quad (51)$$

Коэффициенты распределения i -го ХВ между почвой и гидросферой $k_{s/w, i}$ и между донными отложениями и гидросферой $k_{sed/w, i}$ (при условии, что массовая доля органического углерода присутствующего в виде взвеси в воде в расчетах принимается равной 0,1, а массовая доля органического углерода в донных осадка и почве равной 0,02) равны:

$$k_{s/w, i} = 0,46 \times [fr_{s, i} \times k_{d, i} + (1 - fr_{s, i}) \times k_{dd, i}], \quad (52)$$

$$k_{sed/w, i} = 0,8 + 0,43 \times k_{s/w, i} \quad (53)$$

Скорость связывания ХВ в донных отложениях j -й ячейки $v_{sed, j}^{burial}$ (м/с) в данных расчетах принимается равной скорости образования осадка на дне водоемов $v_{sed, j}^{acc}$ (м/с) в j -й ячейке [169], которая в свою очередь, при условии, что скорость эрозии сельскохозяйственных и природных почв принимается равной 3 мм/год или $9,51 \times 10^{-13}$ м/с, объемные доли твердых частиц в этих почвах – равной 0,6 [169]; скорость образования автохтонных взвешенных ХВ в пресной воде – равной 85,74 кг/с [176], концентрация суспензии в воде – равной 0,015 кг/м³, объемная доля твердых частиц в данных отложениях – 0,2 [170], равна:

$$v_{sed, j}^{burial} = v_{sed, j}^{acc} = \frac{2,86 \times 10^{-12} \times (fr_{ns, j}^A + fr_{as, j}^A) \times A_j + 0,2 - 2,3 \times 10^{-3} \times Q_j}{A_j \times fr_{w, j}^A}, \quad (54)$$

где: $fr_{ns, j}^A$ – доля природных почв в j -й ячейке (в данной модели берется равной доле сельскохозяйственных почв в соответствующем регионе); $fr_{as, j}^A$ – доля сельскохозяйственных почв в j -й ячейке берется из EarthStat³⁹; Q_j – масса перемещающейся из j -й ячейки воды за год (м³/год) (данные по средним многолетним значениям Q_j для j -й ячейки сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷).

Скорость образования донных отложений в j -й ячейке $v_{sed, j}$ (м/с) равна:

$$v_{sed,j} = \begin{cases} 2,89 \times 10^{-5} \text{ м/с} & \text{при } v_{sed,j}^{acc} < 2 \times 10^{-10} \text{ м/с} \\ v_{sed,j}^{acc} & \text{при } v_{sed,j}^{acc} \geq 2 \times 10^{-10} \text{ м/с} \end{cases}, \quad (55)$$

Скорость адсорбции i -го ХВ в донных отложениях $v_{w \rightarrow sed,i}^{ads}$ (при условии, что скорость массопереноса через границу раздела фаз донные отложения/вода из донных отложений составляет $2,778 \cdot 10^{-8}$ м/с, а из воды составляет $2,778 \cdot 10^{-6}$ м/с) равна:

$$v_{w \rightarrow sed,i}^{ads} = fr_{dis,i} \times 2,75 \times 10^{-8}, \quad (56)$$

Скорость накопления i -го ХВ в донных отложениях $v_{w \rightarrow sed,i}^{sed}$ (при условии, что объемная доля твердой фракции в отложениях составляет 0,2, концентрация суспензии в воде – равной $0,015 \text{ кг/м}^3$) равна:

$$v_{w \rightarrow sed,i}^{sed} = 8,463 \times 10^{-7} \times fr_{dis,i} \times k_{susp/w,i}, \quad (57)$$

Скорость перехода i -го ХВ из донных осадений в воду за счет десорбции $v_{sed \rightarrow w,i}^{des}$ (м/с) равна:

$$v_{sed \rightarrow w,i}^{des} = \frac{2,56 \times 10^{-8}}{0,8 + k_{sed/w,i}}, \quad (58)$$

Скорость осаждения твердых частиц i -го ХВ в воде за счет ресуспензии в j -й ячейке равна $v_{sed \rightarrow w,j}^{res}$ (при условии, что объемная доля твердой фракции в отложениях составляет 0,2) равна:

$$v_{sed \rightarrow w,j}^{res} = v_{sed,j} - v_{sed,j}^{acc} \quad (59)$$

На рис. 2.11 представлена блок-схема второго этапа алгоритма, при выполнении которой расчет параметров производится в основном с использованием БД, содержащихся в различных типах карт и соответственно для проведения этого блока расчетов, необходимо использовать ГИС и соответствующие БД, в качестве которой в работе предполагается использовать ГИС с открытым кодом QGIS⁴⁰.

⁴⁰ Свободная географическая информационная система с открытым кодом. Электронный ресурс <http://qgis.org/>

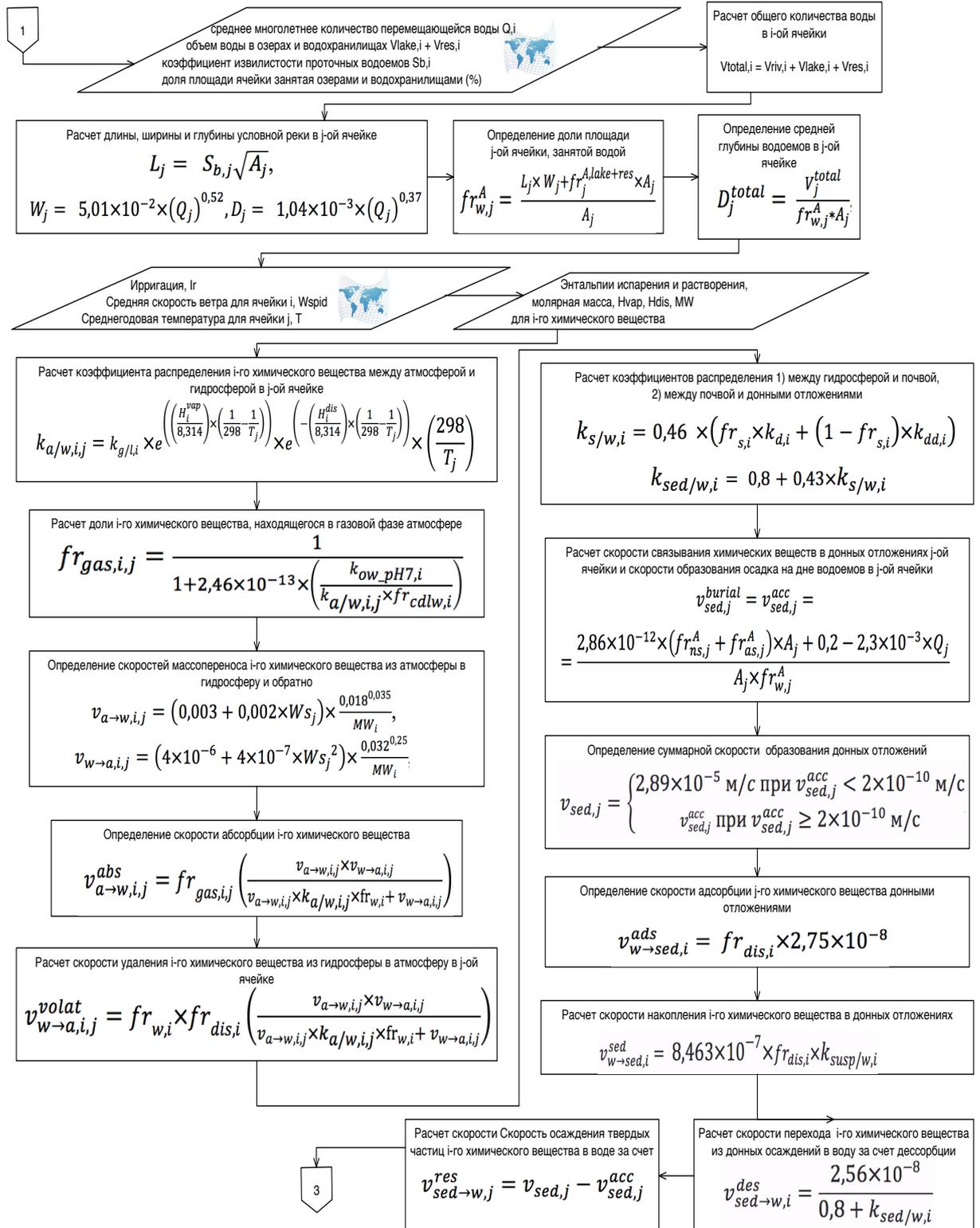


Рис. 2.11. Блок-схема второго этапа алгоритма, при выполнении которой расчет параметров производится в основном с использованием БД, содержащихся в различных типах карт

На блок-схеме (см. рис. 2.11), рассчитываемые параметры, зависящие только от свойств ХВ, имеют только индекс i , параметры, зависящие только от свойств ОС (параметров ячейки) – индекс j , если около параметра

присутствуют оба индекса (i и j), то расчеты этого параметра производятся с использованием как данных карт и БД, так и данных о свойствах ХВ. Подобное деление может быть оправдано, так как параметры, зависящие только от свойств ХВ, могут рассчитываться без использования ГИС, параметры, зависящие исключительно от свойств ОС, могут быть рассчитаны только один раз и сохранены в виде соответствующих карт для дальнейших расчетов.

Далее, на третьем этапе (рис. 2.12) определяются коэффициент миграции i -го ХВ из атмосферы в гидросферу в i -й ячейке $k_{a \rightarrow w, i, j}^{migr}$ (при условии, что высота атмосферы в расчетах принимается равной 1 км [169]) определяется по уравнению:

$$k_{a \rightarrow w, i, j}^{migr} = \left(k_i^{dep} + \frac{v_{a \rightarrow w, i, j}^{abs}}{1000} \right) \times fr_{w, j}^A, \quad (60)$$

где: k_i^{dep} – средняя скорость осаждения i -го ХВ в атмосферном воздухе (1/с),

При проведении подобных расчетов скорость осаждения зависит только от свойств самого ХВ и берется как стандартная справочная величина или считается с использованием модифицированной автором модели USEtox.

Коэффициент миграции i -го ХВ из почвы в гидросферу в i -й ячейке $k_{s \rightarrow w, i, j}^{migr}$ (при условии, что глубина почвы принимается равной 0,1 м, а скорость эрозии сельскохозяйственных и прочих почв - 0,3 мм/год или $9,51 \cdot 10^{-13}$ м/с [171]) равен:

$$k_{s \rightarrow w, i, j}^{migr} = 8,64 \times 10^5 \times \left(\frac{0,25 \times Rain_j + k_{s/w, i} \times 9,51 \times 10^{-13}}{k_{s/w, i}} \right), \quad (61)$$

где: $Rain_j$ – среднегодовое количество осадков (мм/год) для j -й ячейки.

Информация о среднегодовом количестве осадков для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷. Коэффициент миграции i -го ХВ из гидросферы в атмосферу в j -й ячейке $k_{w \rightarrow a, i, j}^{migr}$ равен [169]:

$$k_{w \rightarrow a, i, j}^{migr} = \frac{v_{w \rightarrow a, i, j}^{volat}}{fr_{w, j}^A \times A_j}, \quad (62)$$

Коэффициент миграции j -го ХВ из гидросферы в донные отложения $k_{w \rightarrow sed, i, j}^{migr}$ (при условии, что содержание воды и твердых ХВ в донных осадках по умолчанию принимается равным 0,8 и 0,2, соответственно [177], а толщина донных отложений принимается равной 3 см) равен [169]:

$$k_{w \rightarrow sed, i, j}^{migr} = \left(\frac{v_{w \rightarrow sed, i}^{ads} + v_{w \rightarrow sed, i}^{sed}}{D_j^{total}} \right) - \frac{\left(\frac{v_{w \rightarrow sed, i}^{ads} + v_{w \rightarrow sed, i}^{sed}}{D_j^{total}} \right) \left(\frac{v_{sed \rightarrow w, j}^{res} + v_{sed \rightarrow w, i}^{des}}{0,03} \right)}{\left(\frac{v_{sed \rightarrow w, j}^{res} + v_{sed \rightarrow w, i}^{des} + v_{sed, j}^{burial}}{0,03} + k_{sed, i}^{deg} \right)}, \quad (63)$$

где: $k_{sed, i}^{deg}$ – константа скорости деградации i -го ХВ.

Константа скорости деградации i -го ХВ k_i^{deg} при проведении подобных расчетов зависит только от свойств самого ХВ и берется как стандартная справочная величина или считается по модифицированной модели USEtox.

Коэффициент, характеризующий поступление ХВ из объектов гидросферы в почву за счет водопотребления в j -й ячейке $k_{w, j}^{use}$ (при условии, что глубина почвенного слоя принимается равной 0,1 м) равен:

$$k_{w, j}^{use} = 0,8 \times \left(\frac{Ir_j}{V_j^{total} \times A_j} \right), \quad (64)$$

где: Ir_j – ирригация в j -й ячейке ($\text{м}^3/\text{год}$), для j -й ячейки.

Данные по значениям ирригации для сетки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ доступны на сайте Университета Нью-Гемпшира³⁷.

Учет коэффициента переноса ХВ из j -й ячейки в $j+1$ -ю ячейку $k_{i, j \rightarrow j+1}^{transb}$ оценивается как отношение перемещающейся из j -й ячейки объема воды Q_j ($\text{м}^3/\text{год}$) к общему объему воды, имеющемуся в ячейке V_j^{total} (м^3). Процессы осаждения ХВ не учитываются в данном коэффициенте, так как они учитываются в коэффициентах описывающих миграцию ХВ из гидросферы в донные отложения. Таким образом, $k_{i, j \rightarrow j+1}^{transb}$ равен:

$$k_{i, j \rightarrow j+1}^{transb} = Q_j / V_j^{total} = Q_j / (V_j^{lake} + V_j^{res} + V_j^{riv}), \quad (65)$$

Блок-схема третьего этапа алгоритма представлена на рис. 2.12.

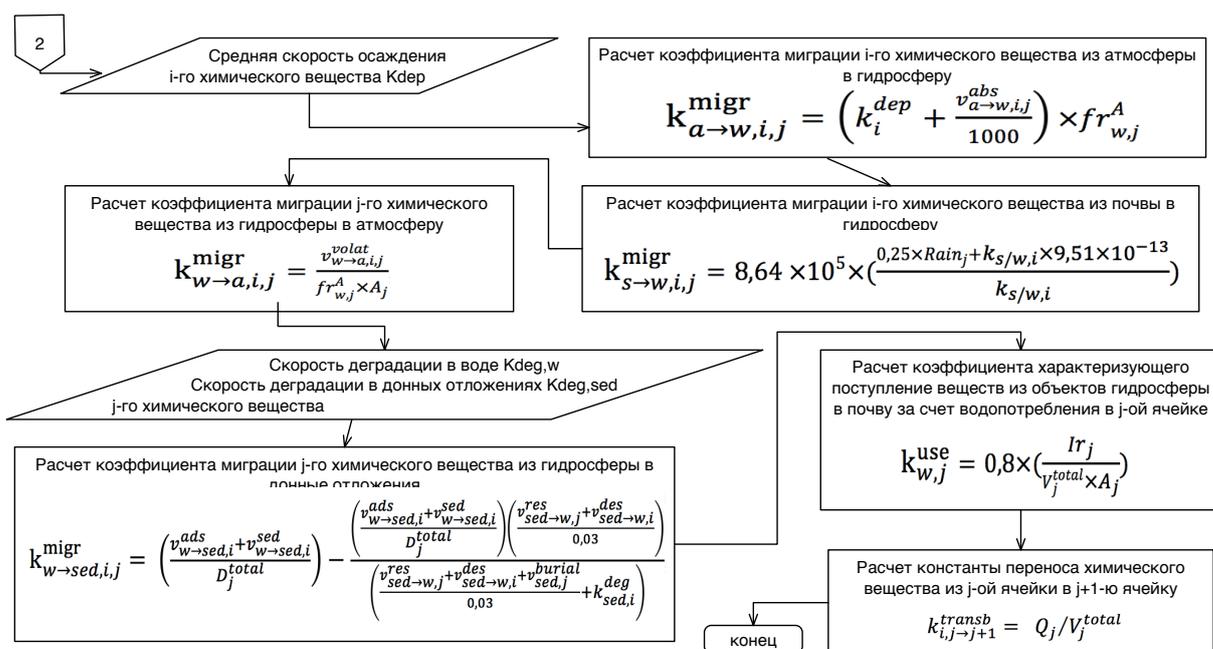


Рис. 2.12. Блок-схема третьего этапа алгоритма расчета констант скоростей переноса ХВ в гидросфере

2.5. Выводы

1. Разработан алгоритм расчета концентраций ХВ в объектах ОС с учетом их ЖЦ в подсистемах ОС, в основе которого лежит модифицированная модель USEtox, позволяющая при ОВОС химических веществ в глобальном или региональном масштабе учесть направленный перенос водных масс и пространственную дифференциацию времени пребывания ХВ в подсистемах ОС с учетом переноса ХВ с водными массами.

2. В соответствии с предложенным алгоритмом значимым является риск негативного воздействия ХВ на ОС, если значение ChF больше 1.

3. Для обоснования деятельности по снижению недопустимого риска воздействия ХВ на ОС необходим системный анализ социоэколого-экономических индикаторов воздействия ХВ. При этом, необходимо отметить, что часто планетарные границы рассматривают в совокупности с социально-экономическими границами [2,32,178,187].

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

3.1. Методические основы и эвристическо-вычислительные алгоритмы классификации уровня опасности химических веществ по воздействию на окружающую среду

Как показали результаты системного анализа (глава 1 диссертации), классификация уровня опасности ХВ является базовым этапом ОВОС химических веществ. Разработанные автором эвристическо-вычислительные алгоритмы классификации уровня опасности для ОС химических веществ и их смесей разработаны в соответствии с Рекомендациями ООН – СГС [49] и межгосударственными стандартами [62,97,98]. Термин «классификация опасности» используется автором, чтобы подчеркнуть тот факт, что в данном случае принимаются во внимание только опасные свойства того или иного ХВ или смеси ХВ. В соответствии со стандартами к ХВ и/или их смесям, представляющим опасность для ОС, относятся: ХВ и смеси ХВ, разрушающие озоновый слой; ХВ и смеси ХВ, обладающие острой токсичностью для биоты гидросферы; ХВ и смеси ХВ, обладающие хронической токсичностью для биоты гидросферы.

Процедура классификации опасности ХВ состоит из трех этапов: 1) определение опасных свойств ХВ; 2) анализ полноты и достоверности имеющихся данных для проведения классификации опасности ХВ; 3) принятие решения об отнесении классифицируемого ХВ к определенным видам опасных ХВ и установление, в соответствующих случаях, класса опасности путем сопоставления имеющихся данных с установленными критериями классификации.

При оценке достоверности имеющихся данных для проведения классификации опасности ХВ в соответствии с указаниями ОЭСР для определения качества имеющихся данных следует учитывать три аспекта – адекватность,

надежность и релевантность доступной информации [179].

Требуется знать хотя бы минимальное количество информации с учетом надежности (достоверности) данного исследования, прежде чем переходить к определению его релевантности и адекватности в целях оценки и разработки точного описания исследования. Таким образом, надежность данных является основным исходным предметом рассмотрения, необходимым для того, чтобы отсеять ненадежные исследования⁴¹. Проведение оценки надежности информации происходит легче при наличии не только результатов, но и методологии анализа проводимого эксперимента. Тесты, проведенные в соответствии с международными методиками (ЕС, ОЭСР) и с соблюдением принципов надлежащей лабораторной практики, должны иметь высокий класс надежности и должны использоваться в качестве эталона при оценке надежности тестов [16].

Для оценки достоверности информации об опасных свойствах вещества разработана методика, в качестве прототипа при разработке которой использован подход к оценке информации, применяемый в странах ЕС Климиш-код [51]. Данный подход основан на ранжировании информации из источников по надежности представленной информации, её актуальности и воспроизводимости и является полезным инструментом для организации исследований по достоверности полученной информации и носит характер предварительного оценивания данных для их дальнейшего использования на этапах принятия решений по выбору вариантов эквивалентной замены. В [51] предложены следующие категории надежности информационных источников и БД (см. табл. 3.1):

Таблица 3.1.

Категории надежности

Код	Категория
1	Надежно без ограничений
2	Надежно с ограничениями
3	Не надежно
4	Не может быть использовано

⁴¹ OECD. Manual for investigation of HPV chemicals. SIDS dossier on the HPV chemical. <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/36045066.pdf>

Однако непосредственное использование Климиш-кода при оценке данных и информации используемой при классификации уровня опасности ХВ по ВОС представлялось автору нецелесообразным, так как индивидуальная оценка каждого представленного в источниках информации эксперимента является чрезвычайно трудоёмкой. Поэтому автором принято решение разработать упрощенную методику системного подхода к оценке качества данных.

В качестве инструмента оценки достоверности предоставляемой информации и выявления приоритетных источников информации, выбран экспертный опрос, в ходе которого специалисты оценивают степень доверия к используемым источникам информации. При оценке источника информации эксперт дает ответ на вопросы: «знает ли он данный источник» и «использует ли он его в своей работе», дополнительно эксперт должен выбрать один из предложенных ответов: «да», «нет», «трудно сказать» на вопрос о доверии источнику информации. Ответам экспертов присваивается балльная оценка следующим образом:

$$A = \begin{cases} 0, & \text{при ответе эксперта "нет"} \\ 0,5, & \text{при ответе эксперта "трудно сказать"} \\ 1, & \text{при ответе эксперта "да"} \end{cases} \quad (66)$$

Процент набранных голосов $Vote\%$ (%) для каждой из БД равен:

$$Vote\% = \frac{\sum_1^n A}{n} \times 100 \%, \quad (67)$$

где: n – количество экспертов.

Оценка выбранных источников информации проводится по следующим эвристическим правилам типа продукционных правил (ПП):

- ПП-1: Если {источник информации набирает от 70 до 100 % голосов} то {он относится к БД с высокой степенью достоверности (класс «В»)};
- ПП-2: Если {источник информации набирает от 30 до 69 % голосов} то {он относится к БД со средней степенью достоверности (класс «С»)};
- ПП-3: Если {источник информации набирает от 0 до 29 % голосов} то {он относится к БД с низкой степенью достоверности (класс «Н»)}.

Блок-схема эвристическо-вычислительного алгоритма присваивания класса достоверности источникам информации представлена на рис. 3.1.

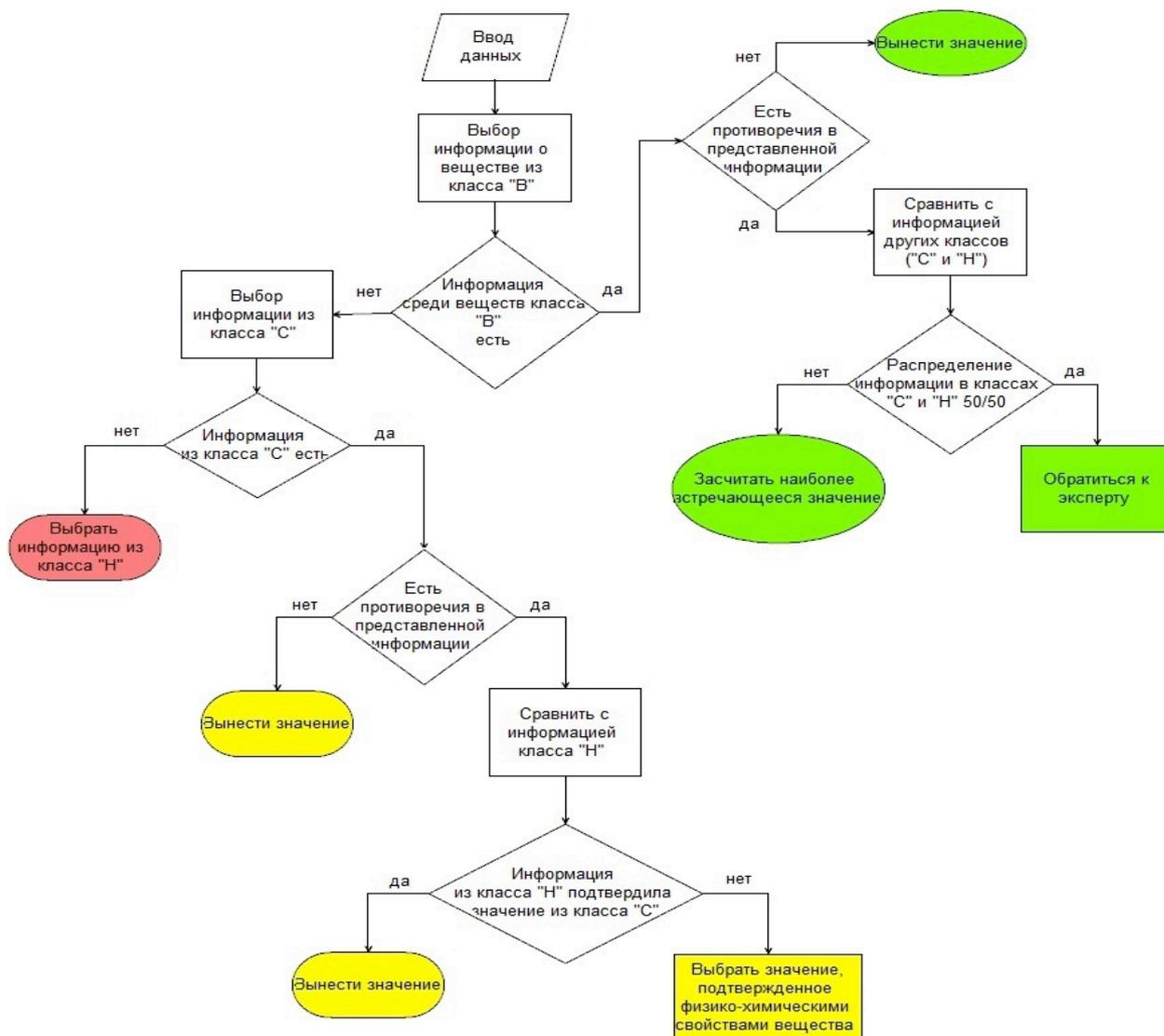


Рис. 3.1. Блок-схема эвристическо-вычислительному алгоритму присваивания класса достоверности источнику информации

Для ранжирования предлагаемых источников информации по степени доверия к ним экспертов, необходимой для дальнейшей сортировки исследуемых веществ, в декабря 2013 г. проведен опрос. Для проведения оценки выбирали экспертов, имеющих определенный стаж работы в отраслях химической промышленности, кроме того учитывался стаж работы в занимаемой должности, и ориентирована ли работа эксперта преимущественно на российских или на иностранных партнеров/коллег. В опросе участвовало 10 специалистов, пятеро из которых имеют стаж работы более десяти лет, один – от пяти до десяти лет, двое – от года до трёх лет. Необходимо отметить, что специалисты работа-

ют в крупной государственной организации и имеют доступ к закрытым БД.

Объектом оценки стали 49 источников информации – БД, существующих в РФ и других странах мира из которых:

– 19 БД были причислены к источникам с высокой степенью достоверности, в этот список попали следующие широко известные БД: «АРИПС «Опасные вещества», «EnviChem», «IUCLID», «OECD», «ESIS», «HSDB» и «ExPub»;

– 13 – к источникам со средней степенью достоверности, в данный перечень попали такие источники как «Controls for approved hazardous substances», «HPVIS», «ICSC», «OSHA», «CCR»;

– 17 – к источникам с низкой степенью достоверности, в данный список занесены БД «J-CHECK», «JECDB», «MSDS базы данных» и другие.

Полный перечень оцененных экспертами источников информации приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Список источников информации, классифицированный по степени доверия к ним опрошенных экспертов

Источники информации с высокой степенью достоверности (класс «В»)	АРИПС «Опасные вещества», ChemIDplus, CHEMINFO, CHEMLIST, ECHA CHEM, EnviChem, ESIS, GENE-TOX, Haz-Map, HSDB, HSNO CCID, INCHEM, IUCLID, NCI, OECD Existing Chemicals Database, OESD SIDS IUCLID, RTECS, SIDS UNEP, TOXNET.
Источники информации со средней степенью достоверности (класс «С»)	ACToR, CCR, CHEMpendium, Controls for approved hazardous substances, EPI Suite™, GHS-J, HPVIS, ICSC, OSHA Occupational Chemical Database, SPIN, OSH Reference, TOX-TOWN, US EPA SRS.
Источники информации с низкой степенью достоверности (класс «Н»)	AGRITOX, ATSDR Toxic Substances Portal, Chemical Abstract Service, CHEMINDEX, CPDB, CTD, Household Products Database, J-CHECK, JECDB, LactMed, MSDS базы данных, NICNAS Other, NICNAS PEC, NIOSH Pocket Guide, TOXLINE, TRI TOX-MAP.

Таким образом, с использованием результатов экспертного опроса

сформирована система источников информации, по которым далее будут классифицированы исследуемые ХВ.

При поиске информации о свойствах ХВ необходимо проверить БД, причисленные к классу «В» (высокая степень достоверности). Если существуют противоречия в информации, представленной в этих источниках, необходимо сравнить её с информацией из классов «С» (средняя степень достоверности) и «Н» (низкая степень информации) и выявить наиболее встречающееся значение, которое и будет зачтено. Если же информация противоречива и в других классах, то необходимо при выборе значения или свойства исходить из физико-химических свойств ХВ, либо обратиться к эксперту.

В том случае, если в источниках сведений класса «В» нет упоминаний об исследуемом веществе, то искать таковую необходимо в источниках информации класса «С». Если информация о веществе найдена среди источников сведений класса «С» и она не является противоречивой, то засчитывается найденная информация.

В том случае, если существуют противоречия в информации, содержащейся в источниках, отнесенных к одному классу, необходимо проверить её среди источников класса «Н». Если найдены источники, подтверждающие значения из «С», то информацию по значениям или свойствам ХВ можно зачесть. При наличии дальнейших противоречий необходимо проанализировать физико-химические свойства искомого ХВ, и, исходя из этих сведений, засчитать информацию по ХВ, либо обратиться к эксперту.

В том случае, если информация не найдена среди классов «В» и «С», засчитать найденные значения и свойства искомого вещества из класса «Н».

Принятие решения об отнесении классифицируемой продукции к определенным видам опасных ХВ и определение, в соответствующих случаях, класса опасности путем сопоставления имеющихся данных с установленными критериями классификации осуществляется в соответствии с алгоритмами, представленными на рис. 3.2 (индивидуальные ХВ) и 3.3 (смеси ХВ).

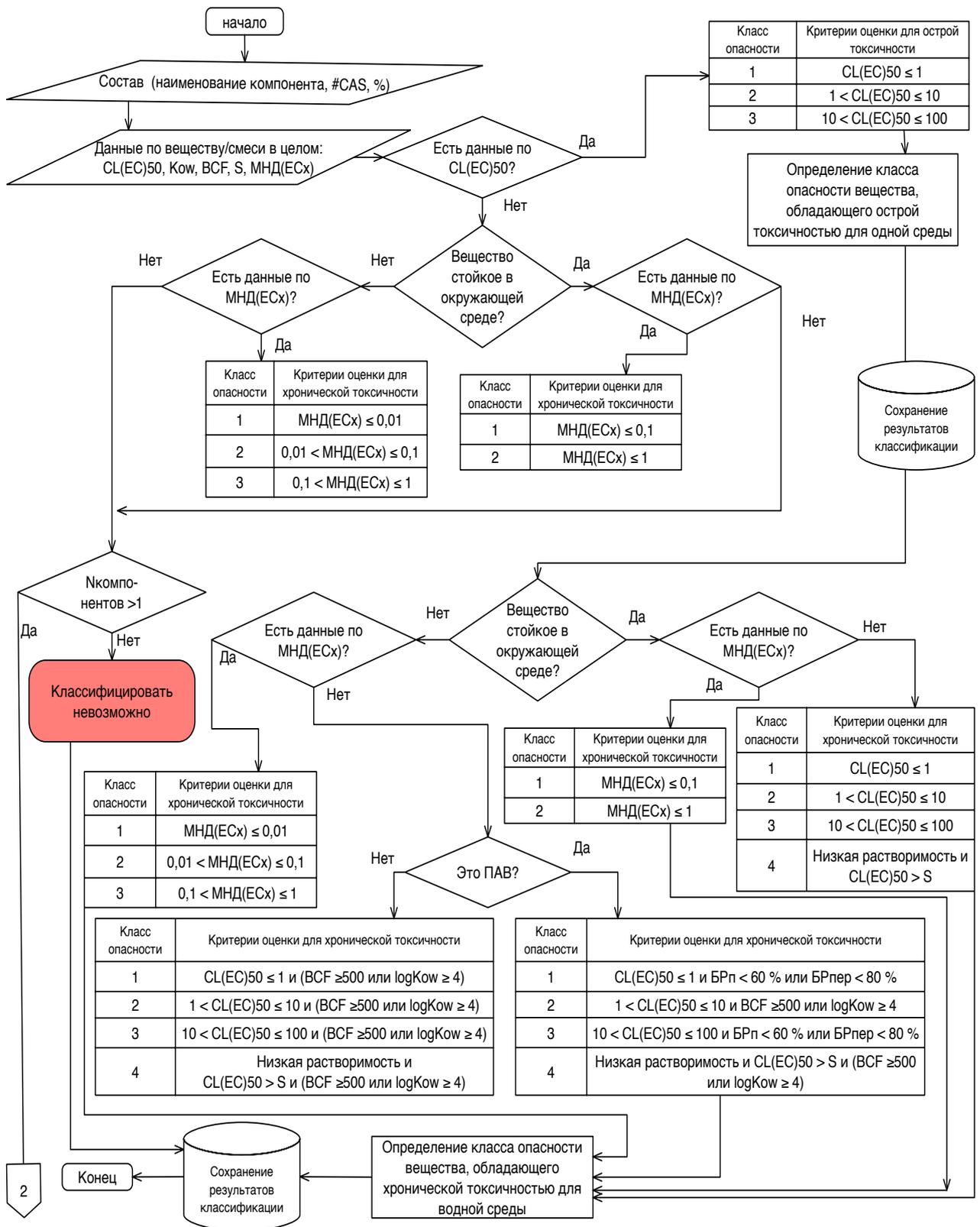


Рис. 3.2. Блок-схема эвристически-вычислительного алгоритма классификации по уровню опасности для ОС индивидуальных ХВ

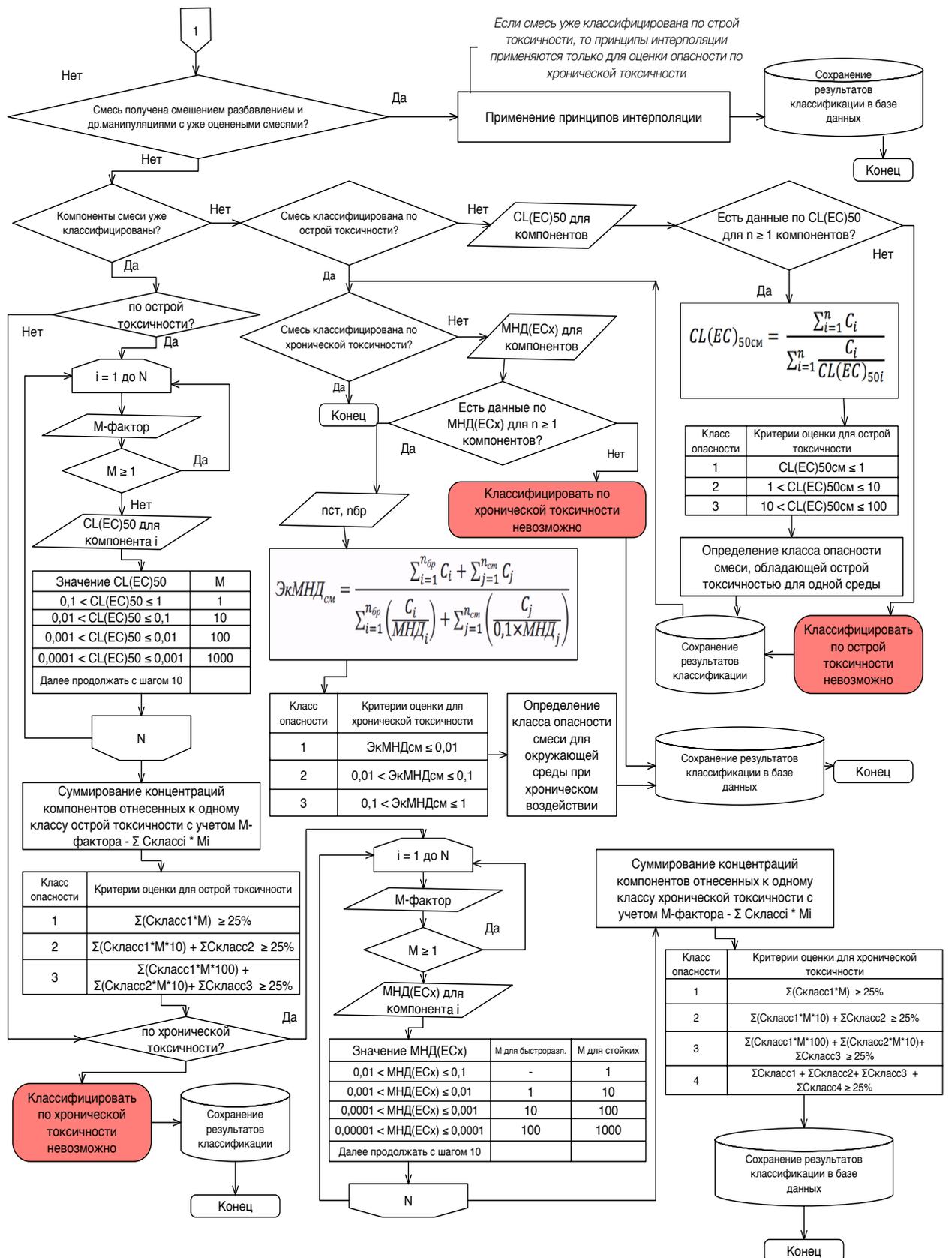


Рис. 3.3. Блок-схема эвристически-вычислительного алгоритма классификации по уровню опасности для ОС смеси ХВ

3.2. Методика системного анализа взаимосвязей между экологическими, экономическими и социальными показателями обращения химических веществ в РФ

Для определения основных характеристик существующей в РФ системы обращения ХВ использована системная динамика – научное направление, в области анализа динамического поведения сложных систем во времени [180]. Использование имитационного моделирования для описания обращения ХВ является обоснованным, поскольку, с одной стороны, система обращения ХВ является слабо формализованной (для таких систем применение аналитических методов моделирования является неэффективным). С другой стороны, существует необходимость оценки поведения системы в ситуациях, которые ранее не встречались, а также прогнозирования ее поведения на длительные промежутки времени [181]. Следует отметить, что задачи синтеза и рационального отбора стратегий регионального развития относятся к классу задач принятия решений при многих критериях и в ситуации, когда несколько требований и часть информации, необходимой для полного и однозначного определения требований к решению, отсутствуют [182].

Одним из эффективных направлений поиска решений для подобных задач является использование инструментов и методов стратегии устойчивого развития для различных объединений и организаций. В настоящее время таких методов предложено достаточно большое количество. Автором предложено использовать метод «Пирамида» [183]. Одной из причин, по которой выбран этот метод, является его успешное применение для решения задач планирования устойчивого развития химической отрасли РФ, как на примере отдельного холдинга (метод использовался в ООО «СИБУР»⁴²), так и на примере химической отрасли в целом (метод использовался для построения стратегии устойчивого развития химической отрасли в рамках планирования основных мероприятий

⁴² Электронный ресурс клуба инвесторов фармацевтической и медицинской промышленности. Новость клуба от 24.07.2014. <http://medinvestclub.ru/otvetstvennaya-zabota/>

по реализации программы РС, курируемой Российским Союзом химиков⁴³).

Метод «Пирамида» полезен для объединений и организаций, которые хотят перейти к устойчивому развитию, используя принцип последовательного улучшения. Основной задачей деятельности любых организации или объединения, следующей этому принципу, является постоянное и измеряемое повышение результативности, в частности, устойчивости объединения и/или организации [184]. Метод «Пирамида» применим для решения различных задач, от анализа до инновационной деятельности и практических действий. При его применении используются процессы профессиональной подготовки, планирования и поддержки принятия решения [183]. Метод «Пирамида» включает четыре основных этапа:

Этап 1. Анализ данных, выяснение тенденций и поиск индикаторов системы. Выделение положительных и отрицательных тенденций и трендов.

Этап 2. Поиск взаимосвязей и причинно-следственных связей. Построение системы. Поиск точек наиболее эффективного приложения усилий.

Этап 3. Выбор наилучших практик и инструментов минимизации воздействия химических веществ на ОС.

Этап 4. Построение стратегии внедрения выбранных практик

Для анализа существующих в РФ экологических проблем, обусловленных производством и применением ХВ разработан семантический граф [185] – интеллект-карта понятия «химическое вещество» (см. рис. 3.4).

При составлении интеллект-карты рассмотрены четыре вида отношений:

1. Кто основные заинтересованные лица, принимающие участие в процессах минимизации воздействия химических веществ на ОС? На интеллект-карте выделены государство, бизнес и общество (российское и международное).

2. На какие объекты могут воздействовать находящиеся в обращении ХВ? На интеллект-карте это подсистемы ОС (атмосфера, гидросфера, почва и

⁴³ Электронный ресурс Российского Союза химиков. Новость «Совет в Нижнекамске». http://www.ruschemunion.ru/news/lastest_news/id756.html

биота) и человек (персонал и население).

3. Когда ХВ могут оказывать воздействие? В соответствии с международным принципом воздействия в ЖЦ «От колыбели до могилы», мониторинг опасности должен осуществляться на протяжении всего ЖЦ химических веществ: исследование, производство, хранение, транспортирование, реализация, использование (в том числе в быту) и утилизация отходов.

4. Какие уровень и степень ВОС химических веществ? ХВ могут оказывать ВОС как в масштабе страны в целом, так и в масштабе отдельного региона или города, причем значение может иметь как суммарное ВОС всех находящихся в обращении ХВ, так и ВОС отдельных ХВ или групп ХВ (например, таких как озоноразрушающие вещества, парниковые газы или тяжелые металлы).



Рис. 3.4. Семантический граф понятия «химическое вещество»

Для системного анализа процессов обращения ХВ, обладающих бесконечным набором свойств различной природы, использовался теоретико-множественный подход, предполагающий анализ множеств информационных сообщений, объектов и т.п. с точки зрения их количественных признаков [186]. В рамках системного анализа ВОС и на человека ХВ проведен на основе индикаторов, опираясь на которые можно делать выводы об опасном для человека и

ОС воздействии ХВ на территории РФ.

Различают технологическую, экономическую и социальную эффективность производства, которые соответствуют основным группам индикаторам устойчивого развития (экономические, экологические и социальные) [32,187], поэтому индикаторы выбирались для: факторов ОС; экономических факторов; социальных факторов; факторов, связанных с благополучием граждан.

Источниками информации для получения исходных данных при определении основных характеристик существующей в РФ системы обращения ХВ являлись: Федеральная служба государственной статистики (Росстат), Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС), отчеты Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета), отчеты о деятельности Министерства промышленности и торговли РФ и др.

Из-за большого количества разнообразной информации, содержащейся в этих источниках, в качестве предварительного шага для указанных выше четырех факторов определены имеющиеся преимущества (положительные тенденции), выделены основные проблемы, с которыми сталкиваются в настоящее время или можно столкнуться в будущем, и основные цели или тенденции, которые желательно достичь (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Преимущества, проблемы и основные цели при использовании ХВ

Факторы	Преимущества от использования ХВ	Проблемы от воздействия ХВ	Основные цели
ОС	Сокращение количеств опасных сбросов и выбросов ХВ, а также образования отходов	Большое количество загрязненных городов, проблем загрязнения гидросферы	Состояние атмосферы, гидросферы и почвы соответствует нормам
Экономика	Увеличение объемов производства и номенклатуры химической продукции	Сырьевая экономика, экспорт значительного числа ХВ, в том числе опасных	Все ХВ производятся и потребляются только экологически безопасными способами
Социум	Повышение заработной платы сотрудников ХП. Снижение профессиональных заболеваний	Увеличение заболеваемости населения	Отсутствует негативное воздействие ХВ на людей
Благополучие граждан	Использование ХВ для удовлетворения существующих потребностей	ХВ оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека и ОС	ХВ используются исключительно безопасным способом для ОС и здоровья человека

Основываясь на имеющихся преимуществах, существующих проблемах, обусловленных воздействием ХВ на ОС, и целях, приведенных в табл. 3.3, на основе статистических данных, автором сформированы индикаторы и найдена информация об изменении этих индикаторов (тенденции) с течением времени (тренды):

- для **экологических факторов**: объемы выбросов загрязняющих ХВ в атмосферу, сбросов загрязненных сточных вод, количество образующихся/утилизируемых отходов, уровни загрязнения мест проживания (городов), степень загрязнения поверхностных вод, выбросы парниковых газов;

- для **экономических факторов**: объем производимых ХВ, который в рамках рассматриваемой системы выражается (в том числе) в доходах от их реализации, динамика экспорта/импорта, количество средств, затрачиваемых производителями ХВ на природоохранные мероприятия, средства идущие на экологические платежи и штрафы, затраты на модернизацию производства и охрану труда;

- для **социальных факторов**: количество людей, работающих на ХП, средняя зарплата работающих, численность пострадавших при несчастных случаях, количество профессиональных заболеваний;

- для **факторов, связанных с благополучием граждан**: уровни потребления продукции населением, средняя продолжительность жизни.

Примеры индикаторов и трендов приведены в Приложении 3.

При системном анализе трендов получены следующие выводы:

1. В целом в РФ наблюдается снижение выбросов и сбросов ХВ. Причем положительная динамика наблюдается как для страны в целом, так и для отдельных отраслей (химическое производство, производство кокса и нефтепродуктов, металлургическое производство). Снижаются также и объемы образования отходов производства и потребления в таких отраслях экономики[^] как химическое производство, производство кокса и нефтепродуктов.

2. Несмотря на наличие выраженной положительной динамики по сбросу и выбросам ХВ, количество городов в Приоритетном списке «грязных горо-

дов» и городов, в которых уровень загрязнения атмосферы высокий (ИЗА > 7), частота регистрации на территории РФ случаев высокого загрязнения и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод остаются практически неизменными в течение 10 последних лет.

3. На процесс производства ХВ сильное влияние оказывают экономические кризисы (например, кризис 2008 г. нашел свое отражение на графиках характеризующих выбросы и сбросы ХВ, образование отходов производства и потребления, среднемесячная зарплата работников отрасли).

4. Существует взаимосвязь объемов производства с объемами вредных/опасных ХВ, выбрасываемых в атмосферу, сбросов, отходов, количеством травматизма и профзаболеваний (например, почти на всех графиках (см. Приложение 3) подъем производства 2010-2011 г. сопровождается одновременным увеличением негативного ВОС и на человека). Однако в дальнейшем снова происходило снижение негативного ВОС, которое обусловлено увеличением затрат на охрану ОС;

5. Связь объемов производства с негативным воздействием не линейная, поскольку часть прибыли идет на осуществление природоохранных мероприятий, которые также увеличиваются линейно. Кроме того, линейно возрастают платежи за загрязнение ОС.

6. Размер платы за допустимые и сверх - нормативные выбросы (сбросы) загрязняющих ХВ (размещение отходов производства и потребления), хотя и носит в последние годы нелинейные и скачкообразно изменяющийся характер, все же имеет выраженную тенденцию к увеличению.

7. Остается практически неизменным количество «грязных» городов РФ (изменения в лучшую сторону наблюдаются только в течение последних двух лет и обусловлены увеличением нормативов по ПДК для фенола и формальдегида). Количество «грязных» городов является очень важным показателем, поскольку в настоящее время более 50 % городского населения (или около 60 млн. человек) в РФ дышит загрязненным воздухом;

8. Увеличивается заболеваемость населения, в первую очередь число за-

регистрированных больных с впервые в жизни установленным диагнозом злокачественного новообразования.

На втором этапе «Пирамиды» строилась модель причинно-следственных, взаимосвязанных отношений между основными индикаторами устойчивости обращения ХВ на территории РФ (рис. 3.5). В качестве базового индикатора при построении системы выбран «Объем производства и потребления ХВ», выбор данного индикатора в качестве базового обусловлен наличием в РФ стратегий развития, целью которых является развитие производства ХВ и увеличение их объемов^{2,44}.



Рис. 3.5. Блок-схема взаимосвязи экологических, экономических, социальных факторов и благополучия граждан при производстве и потреблении ХВ

Очевидно, что объемы потребления и производства ХВ должны быть связаны с объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (включая выбросы парниковых газов), сбросов в гидросферу, образованием отходов производства и потребления (см. рис. 3.5). При этом необходимо отметить, что хо-

⁴⁴ Отчет о деятельности Министерства промышленности и торговли РФ. 2004-2011.

тя в целом объемы выбросов загрязняющих ХВ в РФ по химическим и нефтехимическим производствам уменьшаются, объемы выбросов парниковых газов растут. Также необходимо отметить отсутствие значимого изменения в количестве «грязных городов» с высоким уровнем загрязнения, число которых также связано с выбросами промышленных предприятий. С другой стороны, необходимо отметить, что несмотря на снижение сбросов сточных вод, количество случаев высокого и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод существенно не изменяется (до 2011 г. даже наблюдалось их возрастание). Также необходимо отметить увеличение заболеваемости граждан (в том числе и возрастание случаев регистрации злокачественных новообразований) одной из причин которого, могут быть загрязненные вода и воздух, а также увеличение потребления химической продукции на душу населения.

При этом необходимо отметить, что химическое загрязнение приводит не только к отрицательным последствиям для биоты и здоровья населения. Оно также оказывает влияние на «социальное здоровье» общества и приводит к ухудшению благополучия людей, поскольку состояние психологического комфорта сменяется эмоциональной дезадаптацией [188]. Результатом являются депрессия, повышенная тревожность, снижение производительности труда, увеличение вероятности возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций, обусловленных человеческим фактором. Все это, в свою очередь, приводит к экономическим потерям.

Особое внимание необходимо обратить на увеличение затрат на охрану ОС и платы за допустимые и сверхнормативные выбросы (сбросы) загрязняющих ХВ (размещение отходов производства и потребления), эти меры приводят к отмеченному выше снижению выбросов, сбросов, образованию отходов. Однако вызывает опасения чувствительность системы обращения ХВ в РФ к кризисам. На большинстве графиков (см. Приложение 3) кризис 2008 г. нашел негативное отражение с точки зрения охраны ОС: снизилась плата на выбросы, сбросы и размещение отходов, снизились затраты на охрану ОС, начали повышаться объемы выбросов, сбросов и образования отходов. И все это происхо-

дило на фоне не слишком значимого изменения ежегодного роста объемов производимых ХВ. Данный фактор (чувствительность к экономическим кризисам) является особенно важным поскольку развитие российских ХП (так же как и мировой промышленности) время от времени сталкивается с разнообразными кризисами.

В конце этапа 2 метода «Пирамида» осуществлялся выбор критических точек, где приложенные регулирующие воздействия дадут наибольший эффект. Управляющее воздействие на процесс обращения ХВ в критических точках позволяет при минимальных затратах получать максимальный эффект. На рис. 3.5 видно, что имеется цикл с положительными обратными связями между производством и потреблением ХВ: увеличение потребления ХВ приводит к увеличению их производства, в свою очередь, рост производства способствует увеличению рабочих мест и повышению зарплаты, что положительно сказывается на потреблении. Увеличение производства приводит к увеличению поступления ХВ в подсистемы ОС, негативному ВОС и, как следствие, ухудшению здоровья людей. Таким образом, в системе обращения ХВ и РФ существует несколько циклов (см. рис. 3.5):

1) *усиливающий цикл причинно-следственных связей*: «увеличение потребления ХВ и содержащей их продукции» → «увеличение объемов производства ХВ» → «увеличение средней зарплаты персонала» → «увеличение покупательской способности и потребления ХВ и содержащей их продукции».

Данный цикл оказывает положительное влияние на развитие РФ, поскольку на всех этапах способствует выполнению стратегических целей.

2) *балансирующий цикл причинно-следственных связей*: «увеличение потребления ХВ и содержащей их продукции» → «увеличение уровня заболеваемости населения» → «увеличение профзаболеваний» → «снижение объемов выпуска ХВ и содержащей их продукции» → «снижение зарплат» → «снижение потребления ХВ и содержащей их продукции».

Данный цикл оказывает отрицательное влияние на развитие РФ, поскольку тормозит развитие ХП, и не приводит к снижению заболеваемости.

При этом необходимо отметить, что количество профзаболеваний уменьшается на фоне увеличения заболеваемости населения.

3) Уменьшение профзаболеваний на фоне увеличения заболеваемости населения может быть обусловлено наличием еще одного *усиливающего цикла*, в котором существуют следующие причинно-следственные связи: «увеличение объемов выпуска ХВ и содержащей их продукции» → «увеличение затрат на охрану ОС» → «снижение профзаболеваний» → «увеличение объемов выпуска ХВ и содержащей их продукции».

И в ситуации пока этот цикл оказывает более значимое влияние, чем описанный в п.2) балансирующий цикл, возможно развитие химической отрасли, не смотря на увеличивающееся количество заболеваемости среди населения.

4) *балансирующий цикл причинно-следственных связей*: «увеличение потребления ХВ и содержащей их продукции» → «увеличение количества «грязных городов», загрязнения водоемов и выбросов парниковых газов» → «увеличение заболеваемости населения» → «увеличение профзаболеваний» → «снижение объемов выпускаемой продукции» → «снижение зарплат» → «снижение потребления ХВ и содержащей их продукции».

Данный цикл также оказывает отрицательное влияние на развитие РФ, поскольку тормозит развитие ХП и не приводит к снижению загрязнения ОС и заболеваемости.

5) *балансирующий цикл причинно-следственных связей*: «увеличение затрат на охрану ОС» → «снижение выбросов, сбросов и образования отходов» → «снижение платы за выбросы, сбросы и размещение отходов» → «увеличение затрат на охрану ОС».

Этот цикл оказывающий положительное влияние на развитие РФ, поскольку способствует сохранению ОС и снижению заболеваемости населения.

Ключевой параметр 1 – объемы производства ХВ (см. рис 3.5). Очевидно, что положительное ВОС окажет снижение объемов производства ХВ, но

это противоречит стратегическим целям развития РФ^{2,44}. В данном случае можно сделать упор на минимизацию использования ХВ чрезвычайно опасных для ОС или на создание более безопасных для ОС, «зеленых» ХП.

Ключевой параметр 2 – потребление ХВ и содержащей их продукции. Тут также существует противоречие стратегическим целям развития РФ, которые направлены на повышение химизации. Однако как и в описанном выше случае, можно оказать не количественное, а качественное воздействие на потребление ХВ, например, поощряя сознательный выбор потребителями продукции, содержащей ХВ, которые в процессе производства и/или потребления характеризуются низким уровнем ВОС.

Критическая точка 3 – затраты на природоохранные мероприятия. Воздействие на качественные и количественные затраты ХП на природоохранные мероприятия. Приложение усилий в этой точке позволяет нам при возрастании производства и использовании ХВ снижать ВОС. Качественное и количественное изменения природоохранных мероприятий приведут к экономической выгоде за счет снижения потребления энергии, воды и сырья. С другой стороны, за счет снижения выбросов, сбросов и отходов будут уменьшены платежи и штрафы. Все это в совокупности повысит доходы ХП и, соответственно, позволит больше средств вкладывать в развитие природоохранной деятельности.

Таким образом, результаты применения для РФ предложенной автором методологии системного анализа социоэколого-экономических индикаторов ОВОС доказывают, что уменьшение значения ChF возможно в результате проведения следующих организационно-технологических мероприятий: **снижения объемов производства ХВ** (но для выполнения одной из важных стратегических целей РФ по увеличению уровня химизации экономики, усилия нужно сосредоточить на минимизации использования опасных ХВ и на создании энерго-ресурсоэффективных (или «зеленых») ХП и цепей поставок); **снижения потребления ХВ**, в том числе и в быту. Потребление ХВ может быть изменено за счет выбора потребителями эквивалентной продукции, не содержащей опасных

ХВ; повышения окупаемости мероприятий по охране ОС и ввода в эксплуатацию энергоресурсоэффективных экологически безопасных ХТС, что позволит увеличить экологическую безопасность и энергоэффективность ХП и цепей поставок.

3.3. Системный анализ актуальности активного использования российскими химическими предприятиями «зеленых» технологий для снижения объемов производства и потребления опасных химических веществ

Примером использования принципов «зелёной» химии в производстве одежды может являться деятельность таких компаний, как Adidas, H&M, Nike, Puma, Levi Strauss&Co, обязавшихся привести отрасль к 2020 г. к нулевому выделению опасных ХВ⁴⁵. В ВТО и ОЭСР определённое внимание уделяется вопросам минимизации ВОС и создания зелёных ХТС и зелёной продукции: министрами стран членов ОЭСР подписана декларация «зелёного роста»⁴⁶, на сайте ОЭСР создан информационный ресурс – платформа по «зелёной» химии⁴⁷.

«Зеленый» рост и «зеленая» экономика поддержаны РФ как основные инструменты перехода общества к устойчивому развитию⁴⁸. В Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2030 г. результаты ОВОС химических веществ используются в качестве индикаторов достижения целей зеленого роста (табл. 3.4) [189].

Кроме того, в настоящее время в части создания условий по расширению производства и приобретению экологически подготовленной («зеленой»)

⁴⁵ Roadmap to zero discharge of hazardous chemicals. www.roadmaptozero.com

⁴⁶ Declaration on Green Growth adopted at the Meeting of the Council (MCM) at Ministerial Level on 25 June 2009

⁴⁷ OECD Sustainable Chemistry Platform. www.oecd.org/env_sustainablechemistry_platform/

⁴⁸ Стенограмма выступления Председателя правительства России Д. А. Медведева на третьей сессии пленарного заседания Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+20». <http://premier.gov.ru/transcripts/item/101/>

продукции⁴⁹, как государство так и отдельные российские ХП начинают рассматривать «зеленую» химию как конкурентное преимущество российской продукции на внутренних и внешних рынках.

Таблица 3.4.

Основные цели «зеленого» роста РФ

Наименование показателей	2013 г.	2020 г.	2030 г.
Объем выбросов загрязняющих ХВ от стационарных источников на единицу ВВП, т/млн. рублей ВВП	0,38	0,3	0,22
Количество «грязных городов», ед.	126	50	34
Объем образованных отходов на единицу ВВП, т/млн. рублей ВВП	90	73,4	33,8
Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану ОС и рациональное использование природных ресурсов, в % к уровню 2007 г.	108	150	203
Объем выбросов парниковых газов, в % к уровню 1990 г.	70	75	70

Для оценки готовности российских ХП осуществлять деятельность по минимизации использования (и, соответственно, производства) ХВ, обладающих высоким риском ВОС, или по созданию более безопасных для ОС производств проведено социологическое исследование, в ходе которого оценивалось отношение ХП к применению и развитию в РФ «зеленой» химии, которая в соответствии с определением ИЮПАК [37] представляет собой «открытие, разработку и применение химических продуктов и процессов, уменьшающих или исключающих использование и образование опасных ХВ» [35,37] и напрямую связана со снижением производства и потребления опасных ХВ.

Исследование проводилось методом анкетирования среди руководителей ХП. Выборка репрезентировала их по размеру и направлениям/отраслям производства. В неё включены ХП, занимающиеся добычей и обогащением химического минерального сырья (фосфоритов, апатитов, калийных солей), производством минеральных солей, щелочей, неорганических кислот, хлора, аммиака, минеральных удобрений, химических средств защиты растений и химических кормовых средств, синтетических красителей (выработка органических красителей, полупродуктов, синтетических дубителей) и получением белил, красок, лаков, эмалей, нитроэмалей и т.п., синтетических смол и пластических

⁴⁹ Поручения по итогам совещания о мерах по развитию химического и нефтехимического комплекса Российской Федерации/Правительство Российской Федерации.
<http://government.ru/orders/3168>

масс, искусственных и синтетических волокон и нитей, пластмассовых изделий, стекловолоконистых материалов, стеклопластиков и изделий из них, синтетического каучука, химических реактивов, особо чистых веществ и катализаторов, фотокиноплёнки, магнитных лент и других фотоматериалов, лекарственных веществ и препаратов, товаров бытовой химии, продуктов основного органического синтеза (включая нефтепродукты и технический углерод), резинотехнических и асбестовых изделий, взрывчатых веществ, боеприпасов и спецхимии, целлюлозно-бумажным производством, цветной и чёрной металлургией, средствами индивидуальной защиты.

В опросе участвовали руководители 104 ХП, представляющих практически весь химический комплекс и смежные с ним отрасли, что позволяет достоверно оценить ситуацию в целом. Поскольку характер ХП обуславливает его оптимальный объём, то в основном в него входят крупные (61 %) и средние (32 %) ХП, и только небольшая их часть относится к малому бизнесу (7 %). Значительная часть представленных в выборке ХП работает как на отечественном, так и на внешнем рынках. Российская доля производства составляет 3/4, на внешние рынки приходится 1/4. Не смотря на то что большая часть ХП в основном ориентирована на российский рынок, пятая часть ХП экспортирует более половины своей продукции, основное назначение которой – дальнейшее промышленное использование (82 % от общего объёма производства). Конечный продукт для реализации населению составляет 18 % производства.

Поскольку «зелёная» химия как научная парадигма достаточно молода и пока ещё редко практикуется, то в качестве предположений была выдвинута гипотеза о невысокой осведомлённости о ней российских ХП. И действительно, опрос показал, что с понятием «зелёная химия» в своей практической или научной деятельности сталкивались только 43 % ХП, остальные предприятия либо не знали об этой парадигме (29 %), либо затруднились ответить на вопрос (28 %), что, скорее всего, можно интерпретировать как отрицательный ответ.

Тем не менее всего за 20 лет принципы «зелёной» химии нашли отклик почти в половине опрошенных ХП. Редко какое научное направление оказалось

востребованным за такой короткий срок и практически без информационной поддержки. Однако в целом промышленность пока очень слабо знакома с концепцией и понятием «зелёной» химии. Ряд ХП, применивших или планирующих применить те или иные её принципы [35], сделали или намереваются это сделать не потому, что разделяют их. Например, из 41 руководителя, применившего в производственную деятельность своего ХП принцип упреждения, только 49 % знали, что они используют принципы «зелёной» химии, 22 % считали, что ведущаяся на их ХП деятельность не имеет к ней отношения, 29 % затруднились с ответом (рис. 3.6). Похожая картина наблюдается и в отношении остальных принципов «зелёной» химии.

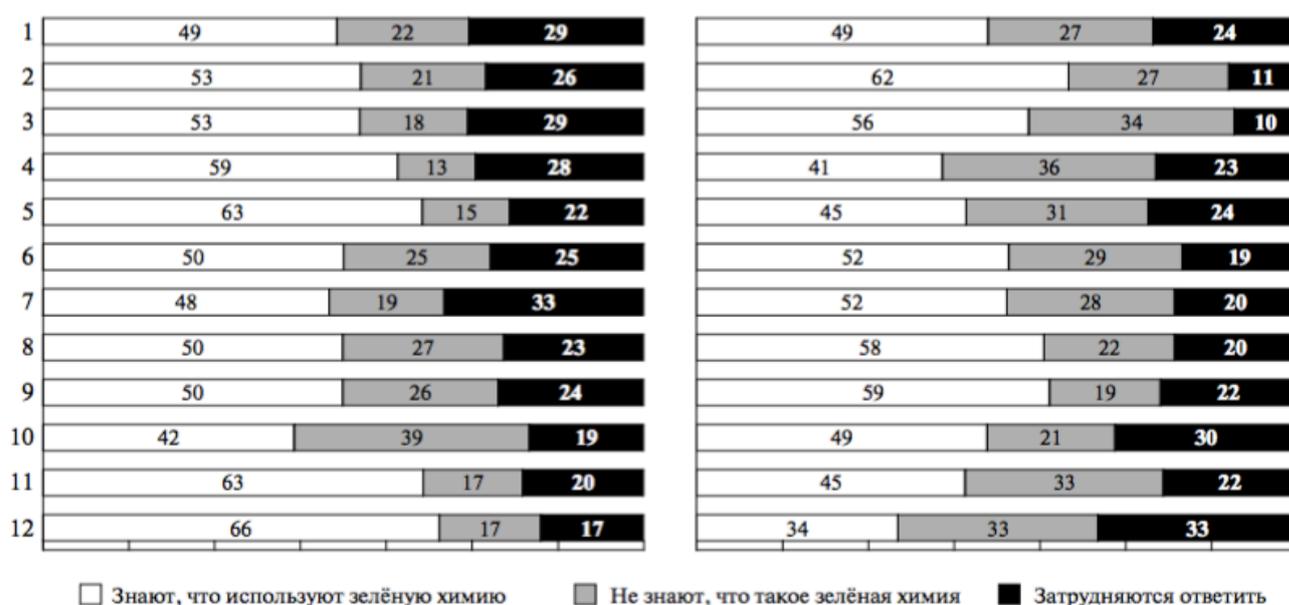


Рис. 3.6. Осведомлённость российских ХП о принципах «зелёной» химии, %, внедривших принципы «зелёной» химии (левый) и считающих целесообразным внедрить их (правый) в химико-технологические системы: 1 – упреждение; 2 – экономия атомов; 3 – снижение опасности процессов и продуктов синтеза; 4 – конструирование «зелёных» материалов; 5 – использование менее опасных вспомогательных ХВ; 6 – энергосбережение; 7 – использование возобновляемого сырья; 8 – уменьшение числа промежуточных стадий; 9 – использование каталитических процессов; 10 – биоразлагаемость; 11 – обеспечение аналитического контроля в реальном времени; 12 – предотвращение возможности аварий

Результаты опроса показали, что даже если российские ХП мало знакомы с понятием «зелёная химия», в практической производственной деятельности её принципы начинают использоваться. На 74 % ХП на практике применяется хотя бы один принцип, 14 % считают целесообразным применить их в будущем и только 12 % не видят в этом необходимости ни сейчас, ни в перспективе.

тиве. Результаты опроса позволяют констатировать, что применение принципов «зелёной» химии на ряде ХП происходило вне зависимости от осведомлённости руководства об этом новом научном направлении. Вероятно, необходимость развития производства и конкуренция на рынке вынудили их обратить внимание на возможности, позволяющие усовершенствовать производственные процессы. Для сравнения: в исследовании “Green Chemistry and Design Survey”, проведённом Агентством по контролю за загрязнением штата Миннесота (США) в 2010 г., среди 113 опрошенных руководителей ХП 27 % применили «зелёную» химию, 16 % начали процесс применения и 61 % ответили отрицательно [190]. В табл. 3.5 представлены данные об применении и перспективах применения отдельных принципов «зеленой» химии на российских ХП.

Таблица 3.5.

Активность практического применения ХП принципов «зеленой» химии

Принципы «зеленой» химии	% ХП, внедривших принцип на производстве	% ХП, считающих целесообразным внедрить принцип на производстве
П1. Упреждение (предотвращение образования отходов)	40 %	40 %
П2. Экономия атомов	41 %	33 %
П3. Снижение опасности процессов и продуктов синтеза	33 %	39 %
П4. Конструирование «зеленых» материалов	31 %	45 %
П5. Использование менее опасных вспомогательных реагентов	26 %	49 %
П6. Энергосбережение	19 %	50 %
П7. Использование возобновляемого сырья	20 %	49 %
П8. Уменьшение числа промежуточных стадий	21 %	47 %
П9. Использование каталитических процессов	37 %	31 %
П10. Биоразлагаемость	25 %	55 %
П11. Обеспечение аналитического контроля в реальном масштабе времени	29 %	49 %
П12. Предотвращение возможности аварий	44 %	35 %

Прежде всего востребованными оказались принципы, связанные с безопасностью производства и его экономичностью: П12 «Предотвращение возможности аварий» реализовали 44 % ХП, П2 «Экономия атомов» – 41 %, а П1 «Упреждение (предотвращение образования отходов)» – 40 %. Перспективны же, по мнению бизнеса, те принципы, которые связаны с экологичностью, а именно: наиболее целесообразными для применения российскими ХП считаются П10 «Биоразлагаемость» (55 % ХП), П6 «Энергосбережение» (50 %), П11 «Обеспечение аналитического контроля в реальном масштабе времени», П5

«Использование менее опасных вспомогательных реагентов» и П7 «Использование возобновляемого сырья» (49 %) (табл. 3.5). Заметим, что только 12 % респондентов затруднились ответить на вопрос о необходимости использования хотя бы одного из 12 принципов «зеленой» химии в производственной деятельности.

Отдельно стоит обратить внимание на принцип «биоразлагаемость» - П10 в контексте изменения современного понимания его важности. Разработка биоразлагаемых материалов была основным трендом 2000-х годов. Но этот тренд не стал новой отраслью промышленности, поскольку, во-первых, разработка и вывод на рынок новых ХВ оказались очень дорогим и нерентабельным мероприятием; во-вторых, технические характеристики биоразлагаемых материалов были хуже, чем у их стойких аналогов (например, характеристики, связанные с процессом формования, термостойкость биополимеров были хуже, чем у нефтепластиков); в-третьих, создание материалов, которые возможно использовать вторично, оказалось более важным направлением, чем создание биоразлагаемой продукции [191]. Современный тренд в основном связан с заменой исходного углеводородного сырья на биосырье при получении того же самого конечного продукта. Преимущество этого подхода заключается в том, что производится продукция, в состав которой входят уже известные ХВ, и потому вывести такую продукцию на рынок гораздо проще и дешевле, нежели продукцию, содержащую новые молекулы.

Российским ХП в ходе исследования было предложено оценить, какие именно экологические проблемы могут быть решены путем активного применения «зеленой» химии в деятельности ХП (рис. 3.7).

У части ХП данный вопрос вызвал сложности: 21 % не смогли высказать какую-либо позицию. Объяснение можно найти в том, что в основном эти ХП относятся к малому бизнесу. При таком масштабе производства часто сложно оценить картину отрасли в целом, увидеть векторы и возможности развития. Оценки даны прежде всего ХП крупного и среднего бизнеса.

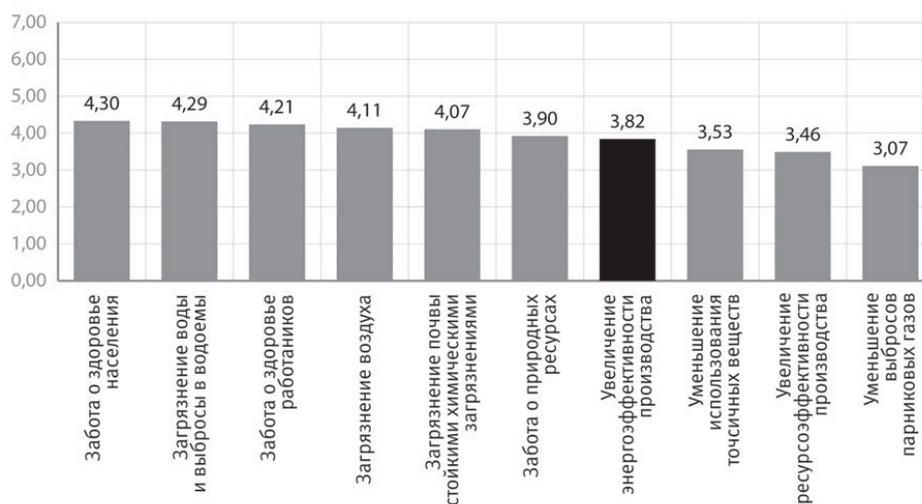


Рис. 3.7. Оценка российскими ХП перспектив и возможностей применения принципов «зеленой» химии как инструмента решения проблем, связанных с экологической безопасностью, в баллах (1 балл – минимальный шанс для применения, 7 баллов – максимальный шанс)

Из представленных на рис. 3.7 данных видно, что российские ХП достаточно сдержанны в оценках ближайших перспектив применения «зеленой» химии для решения экологических и социальных проблем. Ответы опрошенных варьируются в диапазоне от 3,07 до 4,30 баллов по 7-ми балльной шкале (где 1 балл – минимальный шанс для применения, а 7 баллов – максимальный). Казалось бы, такая значимая и для государства, и для отдельного человека проблема как здоровье населения, набрала всего 4,30 балла, что стало максимальной оценкой среди всех остальных. Очевидно, что такое ранжирование никак не соответствует уровню, необходимому для осознания социально значимой проблемы. Таким образом, ответ российских ХП на перспективы решения с помощью «зеленой» химии стоящих перед обществом проблем нельзя считать удовлетворительным.

ХП оценивают возможности применения «зеленой» химии как инструмента, который, в первую очередь, может уменьшить загрязнение гидросферы (4,29 балла), поможет решить часть вопросов, связанных с охраной труда и заботой о здоровье работников (4,21 балла). Показательным является то, что один из самых низких баллов был присвоен вероятности применения принципов «зеленой» химии как инструмента для уменьшения использования опасных ХВ (3,53 балла). Представляется, что это говорит, скорее всего, о непонимании работниками ХП того, что именно представляет собой «зеленая» химия. В мире

«зеленая» химия, в первую очередь, воспринимается как инструмент, необходимый для снижения ВОС и здоровье человека опасных ХВ [35]. Следует особо подчеркнуть, что обязательность деятельности по уменьшению использования опасных ХВ как для государства, так и для бизнеса вытекает, в том числе, из международных обязательств, принятых РФ⁵⁰.

Для сравнения, опрошенные в 2010 г. в штате Миннесота американские ХП уже применили или планируют использовать «зеленую» химию для сокращения использования опасных продуктов в производственных процессах (50 %); для изменения технологий и оборудования (36 %); изменения упаковки (34 %); создания менее энергоемкой продукции (30 %); изменения производства вспомогательных реагентов, таких как пигменты, отдушки и т.д. (25 %) [190].

По результатам опроса, с точки зрения ХП, применение принципов «зеленой» химии может обеспечить следующие преимущества: улучшение репутации ХП и продукции на рынке – 63 %; приближение к международным стандартам – 55 %; снижение издержек производства за счет уменьшения затрат на экологические платежи и штрафы – 46 %. Основные причины побуждающие американских ХП (возможных конкурентов) использовать «зеленую» химию: запросы потребителей (50 %, данная причина одинаково важна как для крупного, так и для малого и среднего бизнеса); личные или корпоративные ценности (48 %, причина чаще отмечается представителями крупного бизнеса); получение конкурентного преимущества (43 %, одинаково важна как для крупного, так и для среднего и малого бизнеса); стандарты ЕС или стандарты других стран (36 %); уменьшение воздействия опасных ХВ на персонал (36 %) [190].

Возможность коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии положительно оценили 8 % ХП, 35 % ответили «скорее да», 23 % «скорее нет», 3 % оценили эффективность отрицательно и 31 % затруднились ответить.

При этом наиболее коммерчески эффективными направлениями, по ре-

⁵⁰ Стратегический подход к международному регулированию веществ. ЮНЕП.
http://www.saicm.org/images/saicm_documents/saicm%20texts/SAICM_publication_RU.pdf.

зультатам опроса, могут быть: глубокая переработка сырья, энергоэффективность и использование отходов (рис. 3.8).

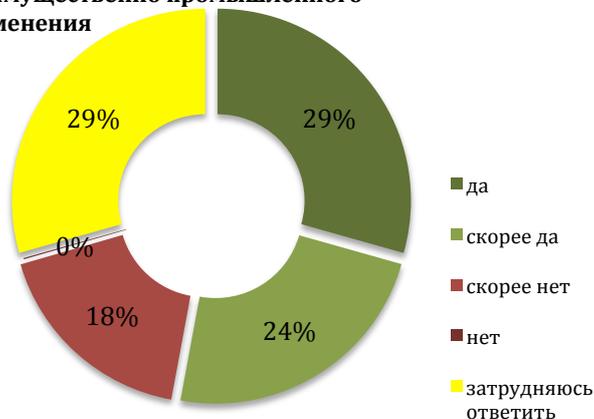
Выше коммерческую эффективность применения «зеленой» химии оценивают российские ХП, производящие химическую продукцию для дальнейшего использования на других ХП (53 %), нежели ХП производящие бытовую химию и другую химическую продукцию (рис. 3.9), предназначенную для использования населением (40 %), причем среди последних твердую уверенность в возможности «зеленой» химии давать прибыль высказали только 4 %.



Рис. 3.8. Коммерческая эффективность применения принципов «зеленой» химии

Подобное положение дел говорит о том, что российские ХП достаточно низко оценивают население РФ в качестве потенциального потребителя «зеленой» химии.

ХП, производящие продукцию преимущественно промышленного применения



ХП, производящие продукцию преимущественно для населения

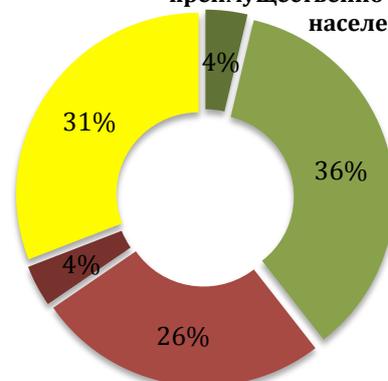


Рис. 3.9. Отношение ХП, ориентирующихся (более 50 % производимой продукции) в основном на российский или зарубежный рынок, к возможности коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии

Также больше оптимизма в вопросе коммерческой эффективности применения принципов «зеленой» химии зафиксировано среди ХП, которые в основном производят продукцию для российского рынка (см. рис. 3.10). 19 % ХП, работающих для российского рынка, уверены, что вступление в ВТО позволит коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии (ответ «да»), и еще 29 % (ответ «скорее да») считают, что это возможно. Среди ХП, производящих продукцию для экспорта, ответили «да» всего 5 %, а «скорее да» 37 %, что говорит о большей сдержанности в оценках.

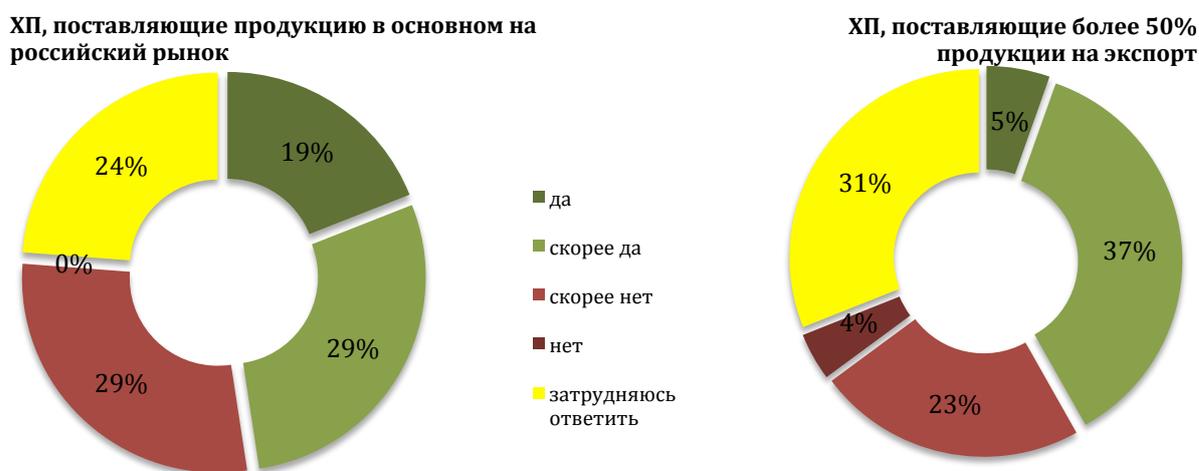


Рис. 3.10. Отношение ХП по производству промышленной и бытовой химии к возможности коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии

При ответе на вопрос, для решения каких проблем «зеленая» химия может быть применена в ближайшей перспективе в деятельность ХП, ответы ХП существенно отличались в зависимости от того, ориентируется ли ХП в основном на российский или на зарубежный рынок, производит ли оно продукцию в основном для промышленного использования или для населения (см. рис. 3.11). При опросе ХП давали свою оценку значимости тем или иным факторам по 7 балльной шкале (где 1 балл – минимальный шанс для применения, а 7 баллов – максимальный).

Из рис. 3.11 видно, что вопросы загрязнения подсистем ОС – почвы, гидросферы и атмосферы – востребованы среди ХП, работающих на российском рынке (ХП данного типа поставили оценки: загрязнение почвы стойкими ХВ – 5.22 балла, загрязнение гидросферы – 5.47 балла, загрязнение атмосферы

– 5.14 балла), и/или реализующих свою продукцию населению (ХП данного типа поставили оценки: загрязнение почвы стойкими ХВ – 5.20 балла, загрязнение гидросферы – 5.45 балла, загрязнение атмосферы - 5.19 балла). Это свидетельствует о том, что именно население и его мнение может быть одной из движущих сил при применении «зеленой» химии в России.



Рис. 3.11. Лепестковая диаграмма основных проблем, для решения которых «зеленая» химия может быть успешно применена в ближайшей перспективе в деятельность ХП, производящих продукцию промышленного или бытового назначения, предназначенную как для реализации в РФ, так и для экспорта

Существенно меньше эти вопросы волнуют ХП, ориентированные на зарубежные рынки. Оценки таких ХП: загрязнение почвы стойкими ХВ – 4.47 балла, загрязнение гидросферы – 4.75 балла, загрязнение атмосферы – 4.95 балла и совсем они не интересны тем предприятиям, которые производят продукцию для дальнейшего использования в промышленности. Их оценки: загрязнение почвы стойкими ХВ – 4.07 балла, загрязнение гидросферы – 4.21 балла, загрязнение атмосферы – 4.36 балла.

Таким образом, результаты опроса показывают, что ХП при выборе поставщиков сырья не достаточно заботятся о вопросах экологии и о том, как с экологической точки зрения, произведена покупаемая ими для дальнейшего использования продукция. Подобное отношение является одной из причин того, что в РФ в настоящее время ввозится большое количество некачественного, а иногда и представляющего опасность, но дешевого сырья из Китая, Индии и некоторых других стран.

По той же причине ХП, производящие продукцию для населения и/или реализации на рынке РФ, больше озабочены здоровьем населения (5.29 балла – оценка ХП, производящих продукцию для населения и 5.34 балла – оценка ХП работающих в основном для российского рынка) и собственных работников (5.26 балла оценка ХП, производящих продукцию для населения и 5.38 балла оценка ХП работающих в основном для рынка), чем компании ориентированные в основном на экспорт своей продукции за рубеж (забота о здоровье населения – 5.11 балла, забота о здоровье работников – 4.78 балла) или на производство продукции для промышленного использования (забота о здоровье населения - 4.93 балла, забота о здоровье работников – 4.77 балла). Отдельного внимания заслуживает низкий (по сравнению с ХП других категорий) уровень заботы о природных ресурсах ХП, ориентированных на зарубежные рынки (4.39 балла против 5.14 баллов поставленных ХП, ориентированными на рынок РФ).

Для оценки коммерческой эффективности от применения различных принципов «зеленой» химии ХП был задан вопрос о том, какие именно направления «зеленой» химии будут коммерчески эффективны (см. рис. 3.12).

Наиболее коммерчески востребованными, по мнению ХП, одобряющих вступление России в ВТО, являются энергоэффективность (отметили 64 % опрошенных ХП, относящихся к данной категории) и глубокая переработка сырья (60 %). Большинство из отрицательно относящихся к вступлению в ВТО ХП также считают коммерчески эффективными использование отходов производства в качестве сырья (отметили 63 % опрошенных ХП, относящихся к дан-

ной категории) и ресурсоэффективность (47 %).



Рис. 3.12. Лепестковая диаграмма характеризующая отношение ХП к вступлению в ВТО и коммерческой эффективности «зеленой» химии

Однако среди тех, кто положительно отнесся к вступлению в ВТО, существенно больше поклонников «зеленых» нанотехнологий (21 % ХП, относящихся к данной категории против 11 % среди ХП, отрицательно относящихся к вступлению в ВТО); биоразлагаемой продукции (19 % против 11 %) и биоразлагаемых отходов (14 % против 11 %).

При ответе на вопрос, «Какие преимущества, на Ваш взгляд, может обеспечить применение принципов «зеленой» химии Вашему ХП в условиях вступления РФ в ВТО?» мнения представителей крупного, среднего и малого бизнеса оказались существенно различны (см. рис. 3.13), но в одном все представители бизнеса были единогласны: применение «зеленой» химии позволит улучшить репутацию ХП на рынке.

Для малого бизнеса более значимыми (по сравнению с тем значением, которое придали этим факторам крупный и средний бизнес) оказались снижение стоимости ввозимого сырья и оборудования и доступ к передовым знаниям

в данной области. Для крупного и среднего бизнеса более важным являются расширение рынков сбыта за счет увеличения экспорта и приближение к международным стандартам.

Достаточно низко российским бизнесом в целом были оценены такие преимущества, как снижение дискриминации на внешних рынках, вхождение в промышленные ассоциации и участие в глобальной кооперации. Подобная низкая оценка может быть обусловлена следующими факторами: данные преимущества в настоящее время не являются приоритетными для российского бизнеса или тем, что российские ХП планируют решить вышеупомянутые вопросы при помощи других инструментов, не имеющих отношение к «зеленой» химии.

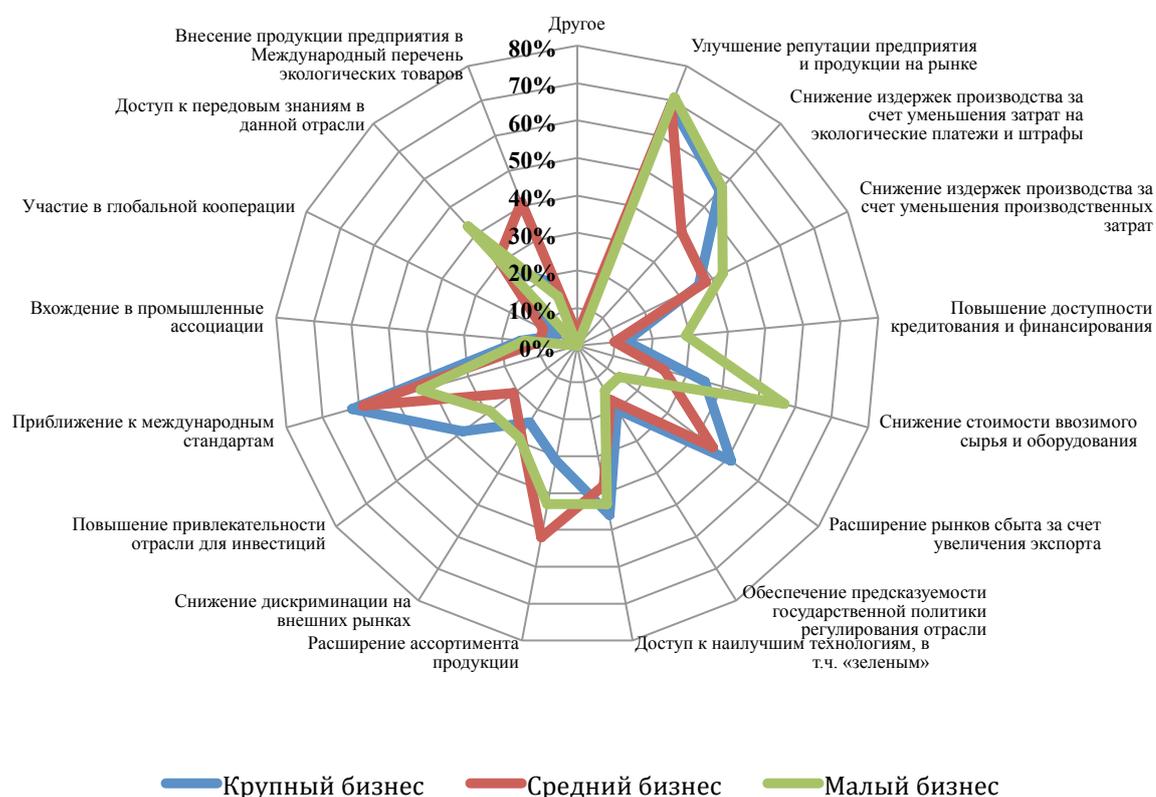


Рис. 3.13. Лепестковая диаграмма преимуществ, которые может обеспечить применение принципов «зеленой» химии ХП крупного, среднего и малого бизнеса в условиях вступления РФ в ВТО

Для анализа инновационной политики ХП были заданы следующие вопросы:

- В каких направлениях были применены инновации на Вашем ХП за последние 5 лет?

- Какие конкретно инновации применяются в этом году на Вашем ХП?
 - Какие конкретно инновации планируются к применению на Вашем ХП в ближайшие 3–5 лет?

- Какие инновации, на Ваш взгляд, наиболее целесообразны к применению на Вашем ХП?

В результате анализа ответов на данные вопросы (см. рис. 3.14) очевидно, что крупный бизнес наиболее заинтересован в инновациях в части выпуска новых видов продукции: 35 % опрошенных ХП уже применили инновации в данной области, 24 % находятся в процессе применения, 43 % планируют применить и 41 % считают целесообразным применение инноваций в данной области. Помимо выпуска новых видов продукции, для крупного бизнеса также представляют интерес инновации в области применяемых ХТС. На третьем месте у данной группы ХП по значимости стоит разработка новых ХТС.

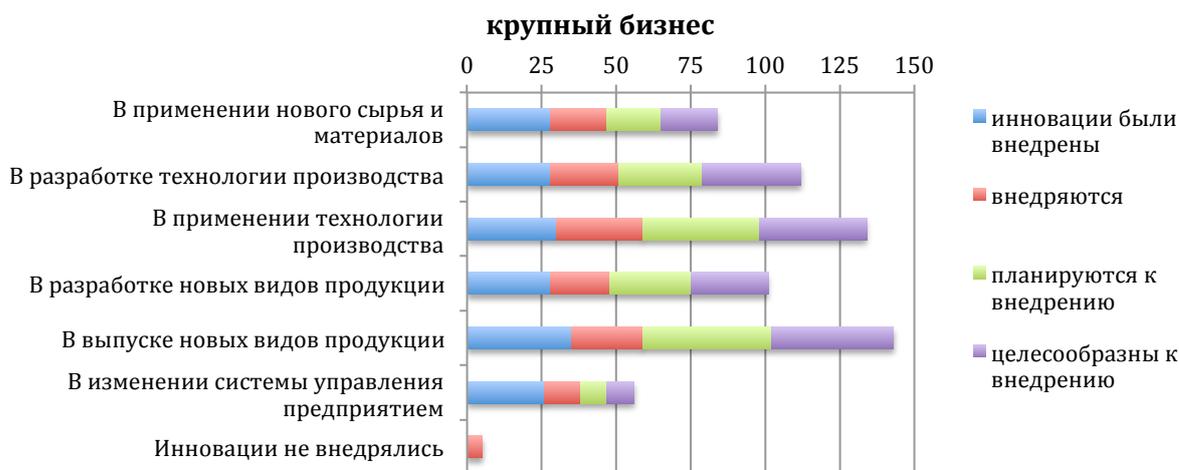


Рис. 3.14. Направления, в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП, относящихся к крупному бизнесу

Средний бизнес (см. рис. 3.15) также как и крупный заинтересован в выпуске новых видов продукции.

Среди опрошенных представителей среднего бизнеса - 25 % опрошенных ХП уже применили инновации в данной области, 19 % находятся в процессе применения, 23 % планируют применить и 22 % считают целесообразным применение инноваций в данной области.

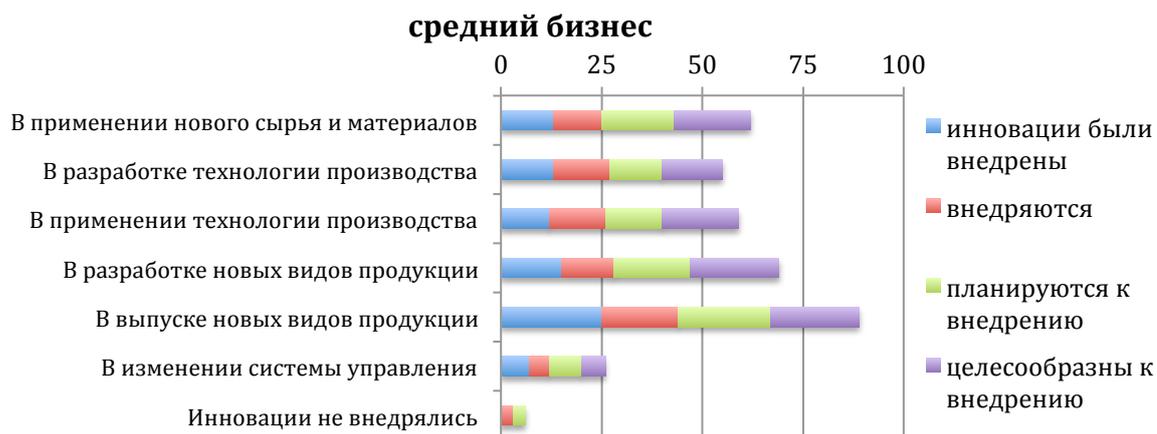


Рис. 3.15. Направления в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП относящихся к среднему бизнесу

На втором месте у ХП среднего бизнеса находится деятельность непосредственно связанная с инновационными разработками – разработками новых видов продукции. На третьем месте находится применение новых ХВ, сырья и материалов.

Для малого бизнеса (рис. 3.16) наиболее интересны выпуск и разработка новых видов продукции, а также применение новых ХТС.



Рис. 3.16. Направления в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП относящихся к малому бизнесу

В части исследования рисков были получены данные, свидетельствующие о том, что в основном ХП оценивают как научно-исследовательские, так и

коммерческие риски от применения «зеленой» химии как средние (табл. 3.6).

Таблица 3.6.

Оценка научно-исследовательского и коммерческого рисков, связанных с применением «зеленой» химии на ХП

	Научно-исследовательский риск	Коммерческий риск
Высокий риск	6 %	18 %
Средний риск	45 %	47 %
Низкий риск	32 %	19 %
Затруднились ответить	17 %	16 %

При сопоставлении данных по восприятию риска, связанного с применением «зеленых» инноваций российскими ХП, с данными, полученными в ходе исследования, проведенного среди стран-членов ОЭСР⁵¹, выявляется, что российские ХП в целом оценивают риск ниже, чем ХП стран-членов ОЭСР (рис. 3.17). В первую очередь, это относится к научно-исследовательским рискам, что позволяет сделать вывод об отсутствии опыта применения подобных ХТС, так как обычно последнее и есть основная причина недооценки упомянутых рисков.

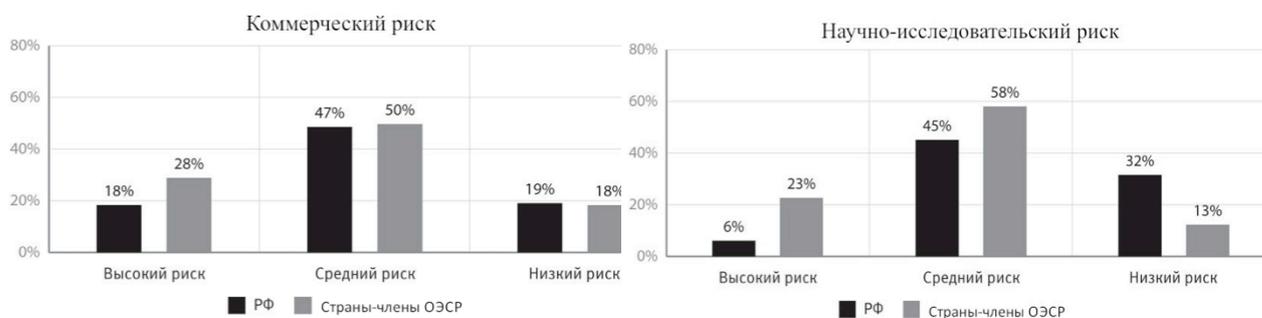


Рис. 3.17. Сравнение восприятия рисков, связанных с «зеленой» химией российскими ХП и ХП стран-членов ОЭСР

Американские производители [190] при применении «зеленой» химии наибольшие барьеры и риски, как финансовые, так и коммерческие, видят в: стоимости альтернативных материалов (61 %); низкой или неопределенной отдаче от инвестиций (59 %) отсутствии кадрового потенциала для исследования альтернатив (44 %); больших затратах на замену оборудования или инструмен-

⁵¹ The Role of Government Policy in Supporting the Adoption of Green/Sustainable Chemistry Innovations. OECD. ENV/JM/MONO(2012)3.

тария (41 %).

Зарубежный опыт показывает, что «зеленая» химия в соответствии с ее принципами является востребованным инструментом совершенствования деятельности ХП и смежных с ними предприятий в части снижения ВОС, энерго- и ресурсосбережения [191]. Однако, как свидетельствуют результаты проведенного исследования, в России отсутствует однозначное восприятие промышленностью концепции «зеленой» химии как инструмента практического решения проблем. «Зеленая» химия узко воспринимается российскими ХП как инструмент, позволяющий снизить загрязнение ОС и, тем самым, содействующий улучшению здоровья как персонала, так и проживающего рядом с ХП населения. Наиболее коммерчески выгодными инструментами российская ХП считает: ресурсоэффективность, включая глубокую переработку сырья и использование отходов производства в качестве сырья, и энергоэффективность.

Является неоднозначным восприятие российскими ХП вопросов, связанных с биоразлагаемостью производимой продукции. С одной стороны, биоразлагаемость стоит на первом месте среди тех принципов, которые ХП считают целесообразным применить, с другой стороны, это направление «зеленой» химии сильно проигрывает в оценках коммерческой эффективности. Подобные оценки могут быть результатом пристального внимания государства к вопросам биоразлагаемости и, как следствие, расчета ХП на получение поддержки от государства. Несмотря на то, что химический комплекс является высоко приватизированной отраслью, в которой доля частной собственности составляет около 80 %², ХП при применении инноваций нуждаются в поддержке государства. В качестве позитивных решений государства, которые будут содействовать применению «зеленой» химии, ХП отметили: государственное финансирование проектов, разработку законодательства с учетом экологических норм, налоговые льготы и субсидирование.

Для сравнения, американские ХП в качестве возможных позитивных шагов государства назвали: налоговые льготы для бизнеса, компенсирующие затраты на применение менее токсичных ХВ (65 %), льготные ставки на разре-

шения и лицензии, снижение платы за выбросы, сбросы, размещение отходов (40 %), предоставление ссуд или субсидий (32 %), денежное поощрение лидеров отрасли в области применения «зеленой» химии (25 %) и т.д. [190].

Опрос зафиксировал наличие интереса и востребованности «зеленой» химии среди российских ХП. Этот инструмент рассматривается российскими ХП как один из возможных путей повышения конкурентоспособности российской продукции. Однако необходимо познакомить с данной идеей население, поскольку востребованность «зеленой» продукции и понимание что это такое среди населения достаточно низкая, что, в свою очередь, приводит к низкому спросу «зеленой» бытовой химии и отсутствию у ХП мотивации для производства такой продукции, особенно для реализации на внутреннем рынке. Положительное заключение о возможности повышения востребованности «зеленой» химии среди населения можно сделать, основываясь на результатах представленного на сайте Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации всероссийского репрезентативного опроса ВЦИОМ, проведенного 20-30 ноября 2013 г. (объем выборки: 1600 респондентов. Метод - телефонный опрос)⁵². В ходе данного опроса 59 % опрошенных отметили наличие в стране экологических проблем, а 26 % оценили экологическую ситуацию в РФ как близкую к катастрофической. 43 % опрошенных назвали промышленные предприятия в числе объектов, представляющих опасность для ОС. 88 % опрошенного населения уверены, что экологичные (зеленые) технологии на производстве могут способствовать улучшению экологической ситуации в стране, а 56 % опрошенных считают, что применение «зеленых» технологий и сокращение промышленных выбросов должны стать одним из приоритетов экологической политики России.

Для оценки инструментов, которые позволят повысить востребованность ХП «зеленой» химии, при исследовании был задан соответствующий вопрос, который показал, что наиболее востребованными являются интернет-

⁵² Опрос ВЦИОМ «Экологическая ситуация в России: вызовы и приоритеты». <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=132085>

источники (23 %), электронная рассылка информации (17 %), тематические конференции (16 %), публикации в научных и научно-популярных изданиях были отмечены 15 % ХП, а семинарам отдали предпочтение 11 %. Наименее востребованными источниками информации оказались курсы повышения квалификации, всего 10 % отметили этот способ получения информации, и публикации в специальных изданиях и брошюрах (7 %). Также необходимо отметить, что всего для 1 % опрошенных ХП информация о «зеленой» химии не требуется.

3.4. Методика сбора и обработки больших массивов информации от населения о воздействии химических веществ

В 2014 г. на согласование с представителями ХП был представлен разработанный Министерством промышленности и торговли РФ проект концепции системы государственного регулирования обращения ХВ и химической продукции в промышленности и торговле в РФ [192] в которой отдельным пунктом прописано повышение осведомленности населения РФ в области обеспечения безопасного обращения ХВ [192]. Кроме того, как было отмечено в разделе 3.3, население России заинтересованно в «зеленых» ХП и готово использовать безопасные для ОС химические вещества и содержащую их продукцию. Однако, ключевым моментом становится информированность населения и понимание какие именно ХВ представляют опасность для ОС.

Для оценки возможности снижения потребления опасных для ОС химических веществ автором предложена на основе методологии системного подхода методика сбора и обработки больших массивов неоднородных данных по анкетированию населения о воздействии ХВ.

Основным источником информации для населения является предупредительная маркировка ХВ и химической продукции [193]. Однако, количественные данные, полученные при участии автора в результате пилотажного исследования среди студентов РХТУ им. Д.И. Менделеева (май 2014 г.) свиде-

тельствуют о том, что 28 % респондентов не имеют представления о том, что такое потребительская маркировка ХВ и не знают как она выглядит; 25 % респондентов не понимают, какой потенциальной опасностью могут обладать ХВ и не знают правил безопасного обращения с ними.

Проведенное пилотное исследование послужило причиной для разработки методики сбора и обработки информации от населения о воздействии ХВ и проведения детального исследования. Методика основана на мониторинге простоты восприятия населением информации об опасных свойствах ХВ и мерах по безопасному обращению из Рекомендаций ООН – СГС [49], а также на методике, разработанной ЮНИТАР — учебным и научно-исследовательским институтом ООН⁵³.

3.4.1. Сравнительный анализ эффективности различных систем информирования населения об опасном воздействии химических веществ

Необходимо отметить, что оценка эффективности систем информирования населения об опасном воздействии ХВ проводилась в различных странах, таких как: Сенегал, Индонезия, Нигерия⁵⁴, Малайзия [194], ЮАР [195] и Япония [196] и др.

Сенегал⁵⁴. В опросе, проводимом по методике ЮНИТАР, приняли участие 88 % мужчин и 12 % женщин. Средний возраст респондентов – 42 года. Самому молодому из опрошенных – 22 года, самому взрослому – 70 лет. Среди принявших в опросе людей 73,6 % закончили школу, 26,3 % никогда не были в школе.

Результаты опроса показали, что половина опрошенных хотя бы раз встречали этикетку (маркировку) в своей профессиональной деятельности; 12 % совсем ничего не знали о маркировке. 53 % понадобилось для изучения маркировки менее минуты, в то время как 47 % потратили больше времени. Ре-

⁵³ UNITAR. Manual for comprehensibility testing of the Global Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS).

http://www2.unitar.org/cwm/publications/cw/ghs/ghs_partnership_CT/CT_Manual.pdf

⁵⁴ UNITAR. GHS Comprehensibility Testing. CT Questionnaire.

http://www2.unitar.org/cwm/publications/cw/ghs/ghs_partnership_CT/CT_Questionnaire.pdf

спондентам было легче идентифицировать символы, нежели фразы.

Различные символы респондентами распознаются по-разному (см. табл. 3.7). Около 42,1 % респондентов при обращении с ХВ не соблюдают указанные на этикетке меры предосторожности. По мнению опрошенных предупредительная маркировка нужна следующим лицам: сталкивающимся с ХВ (26,3 %) на работе; химикам (7 %); ответственным за безопасность (7,7 %); продавцам (2,1 %) и занятым в сельскохозяйственном секторе (2,1 %).

Таблица 3.7.

Знание символов опасности (в % от числа опрошенных)

Символ	Название	Правильно	Частично правильно	Неправильно	Запутанно	Не знаю
	Жидкости, выливающиеся из двух пробирок и поражающие металл и руку	12,63 %	17,89 %	8,42 %	5,26 %	55,79 %
	Взрывающаяся бомба	1,42 %	31,58 %	4,21 %	4,21 %	58,95 %
	Пламя над окружностью	3,16 %	38,95 %	2,11 %	1,05 %	54,74 %
	Восклицательный знак	3,16 %	5,26 %	0 %	1,05 %	90,53 %
	Опасность для здоровья человека (воздействие на функцию воспроизводства)	30,53 %	10,53 %	0 %	6,32 %	52,63 %
	Опасность для здоровья человека (канцероген)	52,63 %	0 %	1,05 %	1,05 %	45,26 %
	Баллон для газа	1,05 %	14,74 %	0 %	8,42 %	75,79 %

Индонезия⁵⁴. В Индонезии исследование проводилось отдельно для:

- представителей ХП (руководство, среднее управляющее звено и рядовые рабочие); возраст опрошенных: от 26 до 55 лет (при этом 24 % опрошенных респондентов были в возрасте 41-45 лет, а 20 % - 36-40лет);

- лиц, занимающихся перевозками опасных ХВ, а также погрузочно-разгрузочными работами, и осуществляющих контроль в области перевозок

(руководство, среднее управляющее звено и рядовые рабочие); возраст опрошенных: от 20 до 54 лет (при этом 26 % в возрасте 31-35 лет, 18 % - 26-30 лет и также 18 % 36 – 40 лет);

- лиц, работающих в сельскохозяйственном секторе (районы рядом с Джакартой), включая работу на полях и плантациях, продажу агрохимикатов и обучение сельхозработников. Возраст: от 18 до 58 лет, включая: 21 – 30 лет 24 %, 31-40 лет 16 %, 41 – 50 лет 30 %, выше 50 лет 26 % и менее чем 20 лет 4 %;

- потребителей химической продукции, в том числе продавцы в магазине бытовой химии, лаборанты, рабочие прачечных и парикмахерских; возраст: 20 лет 8 %, 21 - 30 лет 48 %, 31 – 40 лет 36 %, 41 – 50 лет 2 % и выше 50 лет 6 %.

От каждого сектора было обследовано по 50 человек. Данные по опрошенным респондентам представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8.

Общие сведения о респондентах

Опрошенные	Демографическая ситуация		Образование					
	Мужчины	Женщины	Неполное среднее	Средняя школа	Среднее профессиональное образование	Неполное высшее	Полное высшее	Ученая степень, звание
Промышленность	96 %	4 %	-	6 %	42 %	8 %	42 %	2 %
Транспорт	98 %	2 %	2 %	4 %	32 %	10 %	48 %	4 %
с/х	78 %	22 %	13 %	7 %	18 %	25 %	25 %	2 %
Потребители	48 %	52 %	4 %	10 %	44 %	4 %	30 %	8 %

В промышленном секторе: 28 % респондентов могут определить опасность ХВ по его маркировке и 72 % опрошенных регулярно используют информацию из маркировки/этикетки. Самая запоминающаяся и простая для понимания часть маркировки символ опасности.

В транспортном секторе: 34 % постоянно сталкиваются с ХВ в ходе своей работы, 26 % иногда используют и 40 % не используют ХВ в ходе своей профессиональной деятельности, 16 % опрошенных часто подвергались воздействию ХВ. 44 % опрошенных регулярно используют информацию из маркировки/этикетки и 34 % знают, что есть другие информационные источники:

обучение, транспортные инструкции, документы или средства массовой информации и т.п.

В сельскохозяйственном секторе информацию об опасности ХВ из этикеток получают 30 %, а 56 % используют другие источники информации: работодатель, обучение и магазин, где были куплены агрохимикаты.

Среди потребителей химической продукции информацию об опасности ХВ из этикетки получают 30 % респондентов, а 40 % используют для этого информацию от производителя, цвет и запах ХВ, состав химической продукции, средства массовой информации. Постоянно используют ХВ 48 % респондентов, время от времени – 28 %, никогда не используют ХВ – 24 %.

Понимание населением символов опасности представлено в табл. 3.9.

Таблица 3.9.

Понимание населением - представителями различных секторов символов опасности

Символ	Словесное описание	Сектора	Правильно	Частично правильно	Неправильно	Не понятно	Не знаю
	Жидкости, выливающиеся из двух пробирок и поражающие металл и руку	Промышленность	52 %	12 %	20 %	2 %	14 %
		Транспорт	36 %	2 %	34 %	2 %	26 %
		с/х	4 %	8 %	68 %	2 %	18 %
		Потребители	26 %	14 %	22 %	22 %	16 %
	Взрывающаяся бомба	Промышленность	48 %	2 %	22 %	0 %	28 %
		Транспорт	50 %	10 %	22 %	4 %	14 %
		с/х	14 %	2 %	50 %	2 %	32 %
		Потребители	10 %	12 %	64 %	0 %	14 %
	Пламя над окружностью	Промышленность	22 %	14 %	58 %	0 %	6 %
		Транспорт	22 %	8 %	68 %	0 %	2 %
		с/х	0 %	22 %	70 %	2 %	6 %
		Потребители	8 %	12 %	66 %	0 %	14 %
	Восклицательный знак	Промышленность	12 %	6 %	62 %	2 %	18 %
		Транспорт	14 %	8 %	52 %	0 %	26 %
		с/х	28 %	6 %	22 %	0 %	44 %
		Потребители	6 %	8 %	50 %	0 %	36 %
	Опасность для здоровья человека	Промышленность	66 %	4 %	24 %	0 %	6 %
		Транспорт	56 %	2 %	30 %	0 %	12 %
		с/х	30 %	2 %	52 %	0 %	16 %
		Потребители	56 %	2 %	28 %	0 %	14 %
	Баллон для газа	Промышленность	22 %	6 %	22 %	4 %	46 %
		Транспорт	30 %	14 %	22 %	0 %	34 %
		с/х	2 %	10 %	32 %	10 %	46 %
		Потребители	4 %	10 %	20 %	12 %	54 %

В следующем вопросе респондентам дали некоторые описания символов опасности и затем их попросили выбрать правильный знак опасности. В этом

случае ответы респондентов были значительно лучше (см. табл. 3.10).

Таблица 3.10.

Идентификация знака опасности на символе респондентами из различных секторов

Описание символа	Промышленность	Процент правильно ответивших		
		Транспорт	с/х	Потребители
Символ, обозначающий окисляющиеся ХВ	58 %	50 %	24 %	38 %
Символ, обозначающий легковоспламеняющиеся ХВ	76 %	82 %	48 %	62 %
Символ, обозначающий ХВ коррозионные для металлов	60 %	62 %	16 %	46 %
Символ, обозначающий ХВ опасные для ОС	92 %	96 %	60 %	80 %
Символ, обозначающий взрывчатые ХВ	48 %	48 %	26 %	36 %
Символ, обозначающий канцерогены	94 %	78 %	58 %	84 %
Символ, обозначающий ХВ раздражающие слизистую оболочку глаз	64 %	60 %	20 %	48 %
Символ, обозначающий ХВ опасные для функции воспроизводства	88 %	80 %	54 %	82 %
Символ, обозначающий сжатый газ	58 %	60 %	18 %	46 %

Нигерия⁵⁴. Объем выборки составил 190 человек. Характеристики выборки представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11.

Характеристика выборки респондентов из Нигерии

Возраст	Количество человек	Мужчины	Женщины
16-25	27	17	10
26-35	72	57	15
36-45	42	34	8
46-55	42	33	9
56-65	5	5	0
66-75	2	2	0

Результаты исследования системы информирования населения об опасном воздействии ХВ в Нигерии показали, что 58 % не обращают внимания на маркировку и этикетки ХВ, 65 % знают символ «Череп и скрещенные кости», а 35 % респондентов не знают значение символов на этикетке. В ряде случаев значение всех символов было перепутано и респонденты посчитали, что данные символы не эффективны. 15 % иногда используют ХВ, 20 % участников исследования считают, что они никогда не работали и не использовали ХВ. Обучались правилам безопасности при обращении с опасными ХВ 25 % респондентов, никогда не обучались - 75 %.

Малайзия [194]. Выборка: женщины 8 %, 95 % респондентов имели законченное среднее образование. Возраст: 20-29 лет 20,7 %, 30-39 лет 40,7 %, 40-49 лет 30 %, 50-59 лет 8 %, 60-69 лет 0,7 %.

В результате опроса установлено, что основной целью предупредительной маркировки респонденты считают обеспечение безопасности при обращении с опасными ХВ. Для 94,7 % опрошенных символы «Пламя» и «Череп и скрещенные кости» являются наиболее легко идентифицируемыми. Наиболее труден в интерпретации символ «Баллон для газа» - лишь 27,3 % респондентов смогли правильно идентифицировать данный символ. Наиболее часто респонденты путают символы «Пламя» и «Пламя над окружностью», чаще всего оба символа интерпретируются как обозначающие огнеопасные и легковоспламеняющиеся ХВ. 34,4 % от общего числа респондентов предложили использовать больше пиктограмм.

Респонденты с высшим образованием получили лучшие результаты – 7,24 из 9, по сравнению с респондентами, у которых неполное среднее образование (5,60) и закончившие начальную школу (4,00). Уровень образования может повысить количество сотрудников, знающих символы опасности. Работодатели должны набирать на работу компетентных сотрудников. Также большие баллы получили сотрудники, которые занимают руководящие должности. Менеджеры получили лучшие результаты (6,90) по сравнению с руководителями среднего звена (5,78).

Япония [196]. Выборка из 204 человек (возраст: 18 - 57 лет, соотношение мужчина/женщина = 1,95/1,00). В исследовании приняли участие 81 студент, 56 служащих компании, 9 научных работников, 47 других (например, домохозяйки, врачи, и пенсионеры) и 11 не были идентифицированы. Исследование показало, что менее чем 60 % респондентов в Японии могут корректно интерпретировать информацию на маркировке ХВ. На рис. 3.18 приведены результаты правильной интерпретации респондентами предупредительной элементов маркировки.

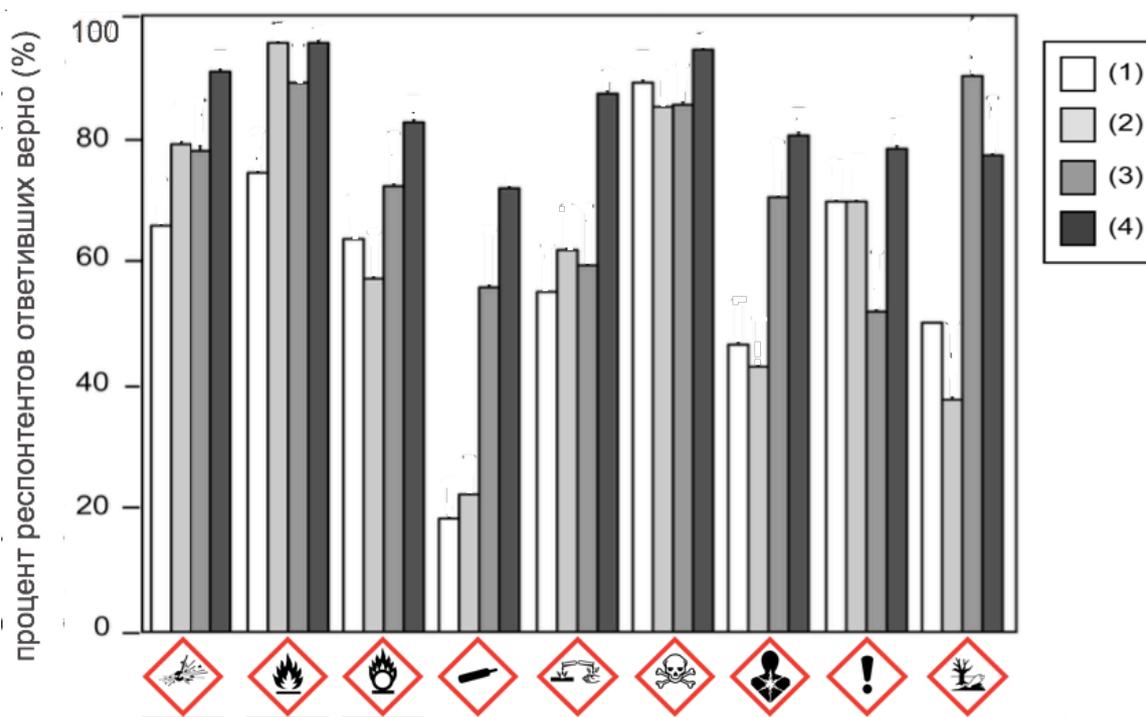


Рис. 3.18. Различные уровни распознавания символов опасности в зависимости от исходной информации. (1): символ опасности (число опрошенных $n = 41$) (2): Символ опасности и сигнальное слово ($n = 43$) (3): символ опасности, сигнальное слово и краткая характеристика опасности ($n = 32$) (4) : Символ опасности, сигнальное слово, характеристика опасности и меры по предупреждению опасности ($n = 88$)

3.4.2. Системный анализ результатов социологического опроса об оценке восприятия населением информации о воздействии химических веществ в Российской Федерации

Основным методом проведения исследования автором выбран анкетный опрос, который позволяет получить количественные оценки, характеризующие объект и предмет исследования: информированность и вовлечённость населения в процесс обращения с опасными ХВ. Дополнительно для получения информации была проведена фокус-группа с представителями ХП.

Анкетный опрос проводился среди студентов и сотрудников РХТУ имени Д. И. Менделеева. Обоснование и расчет выборки. Генеральная совокупность – студенты РХТУ– 4500 человек. Профессорско-преподавательский состав – 526 человек. Доверительный интервал: 95 %. Погрешность: 5 %. Выборочная совокупность: 357 человек. Указанный процент ошибки выборки имеет место быть в данном исследовании, так как при его уменьшении объем выбо-

рочной совокупности увеличивается до нерационально большого числа. При погрешности в 4 % размер выборки составит 462 человека, при погрешности в 3 % 695 человек. Результаты исследования данного числа респондентов являются репрезентативными и распространяются на генеральную совокупность. Типы выборки: одноступенчатая.

В анкетировании приняли участие 357 человек. Из них: 82,5 % женщины, 17,5 % мужчины. Средний возраст респондентов 21 год. Уровень образования: средняя школа 1,6 %, среднее профессиональное образование 1,6 %, неполное высшее 65,1 %, полное высшее 22,2 %, ученая степень 9,5 %.

В ходе опроса все респонденты отметили, что в основном они встречаются с ХВ в быту и на учебе (36,5 % и 61,9 %). 4,8 % респондентов заявили о том, что не встречаются в своей жизни с опасными ХВ. Поскольку жизнь современного человека в городе практически не возможна без ХВ (включая бытовую химию, лаки и краски, клеи и т.п.), опрашиваемые, которые считают, что они не соприкасаются с опасными ХВ, на самом деле не могут их идентифицировать в качестве ХВ, которые могут представлять опасность.

Предупредительную маркировку встречали в своей жизни чуть больше половины респондентов 52,4 %, однако знают как называется этот вид маркировки только 22,2 % опрошенных. 6,3 % опрошенных часто (более 10 раз в течение года) изучали маркировку каких-либо ХВ, что говорит о том, что респонденты не обращают на нее внимания, не понимая, что это может привести к серьезным последствиям. 33,3 % респондентов ответили, что маркировка не была для них значимой. Опрошенные в основном считают, что маркировка нужна для безопасности потребителя, чтобы потребитель знал, об опасных свойствах ХВ и смог обезопасить себя, свои близких, а так же ОС, вместе с тем, по мнению большинства опрошенных, маркировку должны использовать производители опасных ХВ в лабораториях и на предприятиях по их изготовлению.

Основными элементами на маркировке ХВ респонденты считают: символы опасности, сигнально слово, характеристику опасности, меры предосторожности, а так же данные о производителе. В целом, респондентам понятна

предупредительная маркировка, 88,% ответили, что она скорее понятна, чем не понятна. При этом, респонденты ответили, что другим людям химическая маркировка также будет скорее понятна, чем не понятна.

Однако правильно оценить опасность ХВ смогли только 38,1 %. 42,9 % респондентов определили опасность ХВ по таким признакам как: символы опасности, характеристика опасности, количество предостережений, сигнальное слово. При этом большая часть респондентов ориентировалась на количество предостережений, объясняя это тем, что раз так много правил безопасного обращения, значит ХВ действительно опасное.

Самым трудным вопросом для респондентов оказалось описание значения указанных символов. В табл. 3.12 приведены некоторые из данных интерпретаций данных респондентами в ответ на вопрос «Что этот символ/ сигнальное слово означают лично для Вас?».

Таблица 3.12.

Примеры интерпретаций элементов маркировки респондентами

Элемент маркировки	Пояснение	Примеры интерпретаций
	Пламя	Горит взрывоопасно беречь от огня горючее вещество легковоспламеняющееся
	Жидкости, выливающиеся из двух пробирок и поражающие металл и руку	едкое вещество кислота коррозия металлов не допускать попадания на кожу
	Череп и скрещенные кости	яд смертельно опасно токсично опасно для жизни под напряжением
ОПАСНО	Сигнальное слово	будь осторожным будь внимательным не входить опасно химикат очень опасен
	Баллон для газа	газ под давлением взрывается при нагревании взрывоопасно не трясать сжатый газ
	Опасность для здоровья человека	опасно в долгосрочной перспективе влияет на здоровье человека при вдыхании не контактировать без средств защиты не есть не пить

Элемент маркировки	Пояснение	Примеры интерпретаций
	Пламя над окружностью	окислители быстровоспламеняющееся самовозгорается огнеопасно резкий взрыв пламени
	Взрывающаяся бомба	беречь глаза взрывается огнеопасно возможен взрыв
	Восклицательный знак	вещество невысокой степени опасности внимание осторожно использовать с осторожностью обратить внимание опасно токсично
	Сухое дерево и мертвая рыба	опасно для ОС вредно для природы вредно для водных организмов загрязнение почвы, воды, воздуха ничего не останется живым
ОСТОРОЖНО	Сигнальное слово	будь внимательным будь осторожным вещество невысокой степени опасности

В табл. 3.13 представлены результаты понимания респондентами символов опасности:

Таблица 3.13.

Результаты понимания респондентами символов опасности

Символ	Словесное описание	Правильно	Частично правильно	Не правильно	Не знаю
	Жидкости, выливающиеся из двух пробирок и поражающие металл и руку	19,2 %	52 %	22,4 %	6,4 %
	Взрывающаяся бомба	27,2 %	55,3 %	6,4 %	11,1 %
	Пламя над окружностью	3,2 %	27,1 %	55,4 %	14,3 %
	Восклицательный знак	66,6 %	27 %	4,8 %	1,6 %
	Опасность для здоровья человека	45,6 %	48 %	3,2 %	3,2 %
	Баллон для газа	39,9 %	36,2 %	12,8 %	11,1 %

Символ	Словесное описание	Правильно	Частично правильно	Не правильно	Не знаю
	Сухое дерево и мертвая рыба	50,5 %	44,7 %	4,8 %	0 %
	Череп и скрещенные кости	48,2 %	50,2 %	1,6 %	0 %

Таким образом, самым трудным для интерпретации оказался символ «Пламя над окружностью», многие респонденты путали его с символом «Пламя» и считали, что маркируемое таким символом ХВ может легко воспламениться. Символ «Взрывающаяся бомба» респонденты ассоциировали по изображению на картинке. Изображен взрыв, поэтому его было легко интерпретировать. Символ «Череп и скрещенные кости» респонденты безошибочно опознали. Это связано с тем, что данный символ изначально ассоциируется со смертью и ядами. Респонденты говорили, что именно по таким символам проще оценить опасность ХВ, поскольку на нем изображено последствие неправильного использования данного ХВ.

Стоит отметить, что также безошибочно определялся символ «Сухое дерево и мертвая рыба», обозначающий опасность для ОС. Необходимо отметить, что символы «Череп и скрещенные кости» и «Сухое дерево и мертвая рыба» также легко интерпретировались и в других странах (см. рис. 3.19).

По некоторым символам Россия уступает Малайзии и Индонезии. Однако, стоит отметить, что данные по Индонезии взяты из проверки простоты восприятия у работников ХП, которые проходили обучение и работают в профилирующей области. Поэтому их данные выше данных студентов и преподавателей РХТУ. Высокие показатели Малайзии можно объяснить разницей в методиках оценки простоты восприятия. В случае других стран, в том числе и России, восприятие определялось по каждому конкретному символу с помощью анкетирования. В Малайзии это было интервью и своя бальная система оценки. Исходя из этого, можно сказать, что студенты РХТУ не уступают, а лидируют в правильной интерпретации символов опасности.

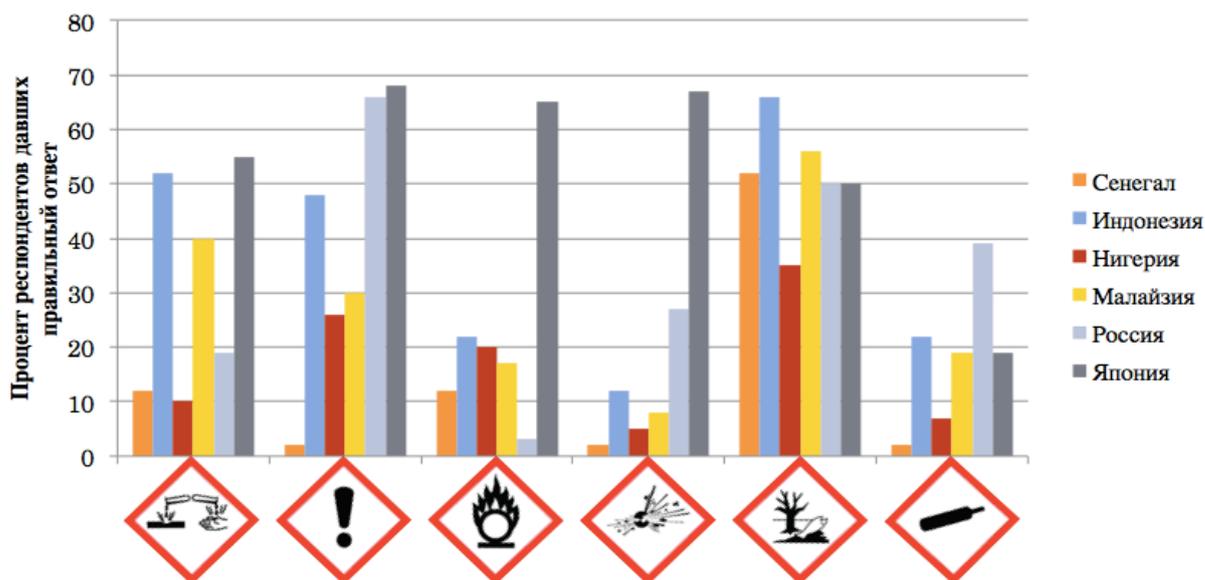


Рис. 3.19. Количество респондентов из различных стран, давших правильную интерпретацию символов опасности (в %, от числа опрошенных)

Многие респонденты (41,3 %) переоценивают опасность ХВ маркированного символом «Восклицательный знак» ставя его главнее других знаков.

В рекомендациях и предложениях многие респонденты написали, что им было проще подобрать символ к уже имеющемуся описанию опасности ХВ, чем смотря на символ определить опасность (см. табл. 3.14).

Таблица 3.14.

Количество респондентов (в % от числа опрошенных), правильно подобравших символ к имеющемуся описанию опасности

Вопросы	Пояснение	Правильный ответ	% правильных ответов
Какие символы указывают, что ХВ представляет опасность для ОС?	Водная среда рассматривается как совокупность водных организмов, обитающих в воде водных объектов		95,2 %
Какой символ указывает, что ХВ обладает сенсибилизирующим действием при вдыхании?	Сенсибилизация специфическая повышенная чувствительность организма к чужеродным ХВ – аллергенам при ингаляционном воздействии		76,2 %
Какой символ указывает, что ХВ вызывает серьезные повреждения глаз?	ХВ, вызывающий необратимые последствия при попадании в глаза		14,3 %
Какой символ указывает, что ХВ воздействует на функцию воспроизводства?	Воздействие на функцию воспроизводства это тератогенное (вредное воздействие на зародыш с возникновением аномалий и пороков развития), гонадотропное (воздействие на органы размножения) и/или эмбриотропное (то же что и эмбриотоксичное – вызывающее гибель эмбрионов) действие		42,9 %

Однако, не все картинки были правильно соотнесены. Исходя из табл. 3.14, можно проследить тенденцию: символы, которые большее число респондентов правильно интерпретировало в предыдущем задании, имеют больший процент верных ответов и в этом.

Основные источники получения информации, позволяющие расшифровать маркировку ХВ, указанные респондентами, представлены на рис. 3.20.



Рис. 3.20. Источники получения информации респондентами, позволяющие расшифровать маркировку ХВ (в % от числа опрошенных)

Из диаграммы видно, что основные источники получения информации, это сеть Интернет, нормативные правовые документы (ГОСТ и т.д.) и СМИ.

В целом, большинству респондентов нужны дополнительные знания об опасности ХВ. 87,3 % положительно ответили на данный вопрос. При этом большая часть респондентов, более 70 %, сталкивается с ХВ в своей профессиональной деятельности. Необходимо также отметить, что большинство опрошенных отметили полезность данного исследования и свою заинтересованность в информации, что на самом деле обозначают знаки опасности, в чем различие предупредительной маркировки, этикетки и символов опасности.

3.5. Выводы

1. Несмотря на то, что в течение нескольких десятков лет в РФ химическая безопасность является одной из приоритетных задач, уровень воздействия ХВ на подсистемы ОС в Российской Федерации остается недопустимо высоким [197] (растет концентрация парниковых газов, остается неудовлетворительным

качество воздуха в городах и состояние водных объектов).

2. Результаты системного анализа актуальности активного использования российскими ХП «зеленых» технологий, позволяющих снизить объемы производства и потребления опасных ХВ, показали, что «зеленые» технологии вызывают интерес у населения и востребованы. Дальнейшее развитие этого направления в РФ позволит значительно сократить объемы производства и применения опасных для ОС и здоровья человека ХВ. Исследование показало, что наиболее востребованными среди российских ХП являются интернет-источники (23 %) и электронная рассылка информации (17 %).

3. Результаты социологического опроса об оценке восприятия населением информации о воздействии ХВ в РФ показали, к сожалению, низкую осведомленность населения о символах маркировки ХВ и о возможностях получения необходимой информации по данному направлению, но при этом около 50 % опрошенных распознали по маркировке ХВ опасные для ОС. Тем не менее большинству респондентов (87,3 %) нужны знания об опасности ХВ. Для развития эффективной системы информирования населения об опасных ХВ, что по мнению автора должно способствовать сокращению их применения в экономике, разработана компьютерная программа «Химия в быту».

4. В результате системного анализа социо-эколого-экономических индикаторов ВОС и научных исследований, проведенных на ХП и среди населения, обосновано наличие возможностей для минимизации ChF в России и сделан вывод, что для реализации этих возможностей необходимо создать специальное алгоритмическое обеспечение и комплексы программ поддержки принятия решений по снижению ВОС химических веществ.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Активное применение и развитие аппаратно-программных средств современной вычислительной техники приводит к необходимости постоянного развития компьютерных методов обработки и анализа информационных данных, методов принятия решений по выбору оптимальных или рациональных вариантов при оценке возможных вариантов выбора. В условиях неоднозначности оценки ситуации, многокритериальности и противоречивости требований, ошибок при выборе приоритетов задача принятия решения значительно усложняется [198]. Часто наблюдаемая слабая структурированность анализируемых данных на всех этапах жизненного цикла ХВ выступает дополнительным фактором для развития систем поддержки принятия решений, которые призваны автоматизировать и упростить процесс выбора, базируясь на возможности компьютерных средств, процесс принятия решения человеком.

Автором для реализации процедур поддержки принятия решений по снижению воздействия на ОС опасных ХВ разработан комплекс ЛВА:

ЛПА-1 - Логико-вычислительный алгоритм обработки информации о воздействии ХП на ОС;

ЛПА-2 - Логико-вычислительный алгоритм поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных ХТС для ОС;

ЛПА-3 - Логико-вычислительный алгоритм выбора приоритетности ХВ по уровню опасного ВОС в глобальном и региональном масштабах;

ЛПА-4 - Логико-вычислительный алгоритм многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных ХВ.

4.1. Логико-вычислительный алгоритм обработки информации о воздействии на окружающую среду предприятий химического комплекса и смежных отраслей

ЛВА-1 обработки информации о ВОС предприятий химического комплекса и смежных отраслей основан на переработке собранных больших массивов значений ключевых индикаторов производительности (KPI) для предприятий России при реализации добровольной международной программы RC, применяемой с 2000 по 2015 г. на целом ряде российских ХП.

ХП часто называют главными ответственными за увеличивающееся загрязнение ОС [28]. Созданная в 1980-х годах в Канаде [199] добровольная международная программа RC [200] в настоящее время широко применяется на ХП во всем мире в глобальном [201] и региональном масштабах⁵⁵. Программа RC рядом стран и организаций⁴ позиционируется как основной инструмент саморегулирования ВОС химических предприятий [202] и является добровольным инструментом стимулирования непрерывного совершенствования основных показателей в области ХТС, охраны ОС, сохранения здоровья, обеспечения безопасности и социальной ответственности [203]. Программа, с одной стороны, направлена на недопущение появления избыточных нормативно-управленческих мер со стороны государства [204] и, с другой стороны, на создание положительного имиджа у общественности [205]. Имеется исследование, которое показывает, что вероятность инцидентов существенно снижается у компаний-членов программы [206], но эффективность программы RC как инструмента снижения уровня ВОС химических предприятий вызывает определенные сомнения у ряда ученых [202,207], кроме того существует мнение, что основная цель программы может быть не снижение ВОС, а манипуляция общественным мнением и противодействие введению более экономически обременительному для ХП экологическому регулированию [208].

Первоначально созданная программа способствовала значимому сни-

⁵⁵ Principles for Best Practice Chemical Regulation. APEC Chemical Dialogue. 2012/SOM1/CDSG/014

жению ВОС [209]. Для количественной оценки эффективности реализации общественной программы РС, в том числе и в области охраны ОС от вредного воздействия ХП⁵⁶, используют различные ключевые показатели производительности (англ. Key performance indicator – далее KPI). В настоящее время с 2000 по 2015 г. в ходе реализации программы РС на международном уровне собраны большие массивы данных по этим показателям. Однако оценка эффективности реализации программы РС в области охраны ОС на основе собранных показателей оказалась затруднительной. Например, в результате системного анализа собранных данных, в том числе о суммарном химическом потреблении кислорода (далее – ХПК), выбросах диоксида серы и азота, проведенного в отчете ИССА⁵⁶, сделано утверждение о невозможности полностью объективно сравнить эти фактические данные, однако проследив тенденции авторы этого отчета отмечают, что увеличение более чем на 25 % количества отчитывающихся предприятий, сопровождается увеличением выбросов оксидов азота (не менее чем на 25 %) и небольшим увеличением ХПК.

Достоверность выводов на основе фактических данных снижается из-за того, что собранные данные содержат пробелы. Пробелы, т.е. пустые массивы, в этих данных обусловлены добровольностью представления отчетности ХП и, следовательно, не все данные за отчетные периоды входили в агрегированный отраслевой отчет, некоторые разовые данные представлялись от различных компаний малого и среднего бизнеса, существенно не изменявших агрегированность данных по отрасли. Кроме того, ХП, направляющие отчетность, проходили модернизацию и реконструкцию, открывали новые производства, увеличивали производственные мощности, что непосредственно сказывается на достоверности и объемах фактических данных, представляемых в отчетах.

Таким образом, поскольку прямое сравнение фактических показателей может не дать однозначного представления об эффективности реализации программы РС, разработан оригинальный ЛВА анализа ключевых показателей

⁵⁶ ICCA, 2015. 2015 Responsible Care Status Report. <https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2015/09/2015-Responsible-Care-Status-Report.pdf>

производительности ХП-участников программы РС в области охраны ОС, полученных при опросах российских ХП в течение 10-ти лет, позволяет получить уточненные оценки эффективности программы РС и провести системный анализ различных видов деятельности ХП.

Объектом анализа являются большие массивы данных о показателях показатели воздействия на ОС химических предприятий РФ, собранные за десятилетний период. Необходимо отметить, что программа РС является достаточно гибкой [210], что позволяет адаптировать программу с учетом национальной специфики [209], но в результате приводит к определенным различиям в качестве и количестве показателей собранных в различных регионах и странах. Анализируемые в работе данные представляют собой ежегодные показатели (отдельные по каждому ХП) воздействия на подсистемы ОС: атмосферу (количество выбросов диоксида серы, летучих органических соединений, оксидов углерода и азота, метана и гидрофторуглеродов, выраженное в метрических тоннах); гидросферу (ХПК, количество сбрасываемых в водные объекты сточных вод и вредных веществ, включая фосфор- и азотсодержащие ХВ, выраженные в метрических тоннах); направляемое на захоронение количество твердых отходов (количество токсичных (I-IV классы) и нетоксичных (V класс) отходов, выраженное в метрических тоннах); показатели энерго- и ресурсопотребления; финансовые затраты на природоохранную деятельность; объемы производства.

В конце 2015 г. подписали соглашение о вступлении в программу РС и представили отчетность более 60 российских ХП, среди которых крупнейшие российские ХП: АО «МХК «Еврохим» и ПАО «СИБУР Холдинг» (входящие в первую сотню крупнейших мировых ХП), ПАО «ФосАгро», АО «ОХК «УРАЛХИМ», ПАО «Нижекамскнефтехим», ООО ОХК «Щекиноазот» и многие другие. Суммарно ХП, представившие отчетность, выпускают около 1/3 всей химической продукции России, что позволяет с определенной погрешностью экстраполировать полученные результаты на деятельность химической промышленности России в целом. Правомерность такого подхода мо-

жет быть частично обусловлена исследованием [211], согласно которому чем больше воздействие компании на ОС, тем больше она склонна присоединяться к различным экологическим инициативам таким, как программа РС.

Для системного анализа оценок эффективности природоохранной деятельности ХП использован разработанный авторами оригинальный ЛВА-1, блок-схема которого представлена на рис. 4.1.

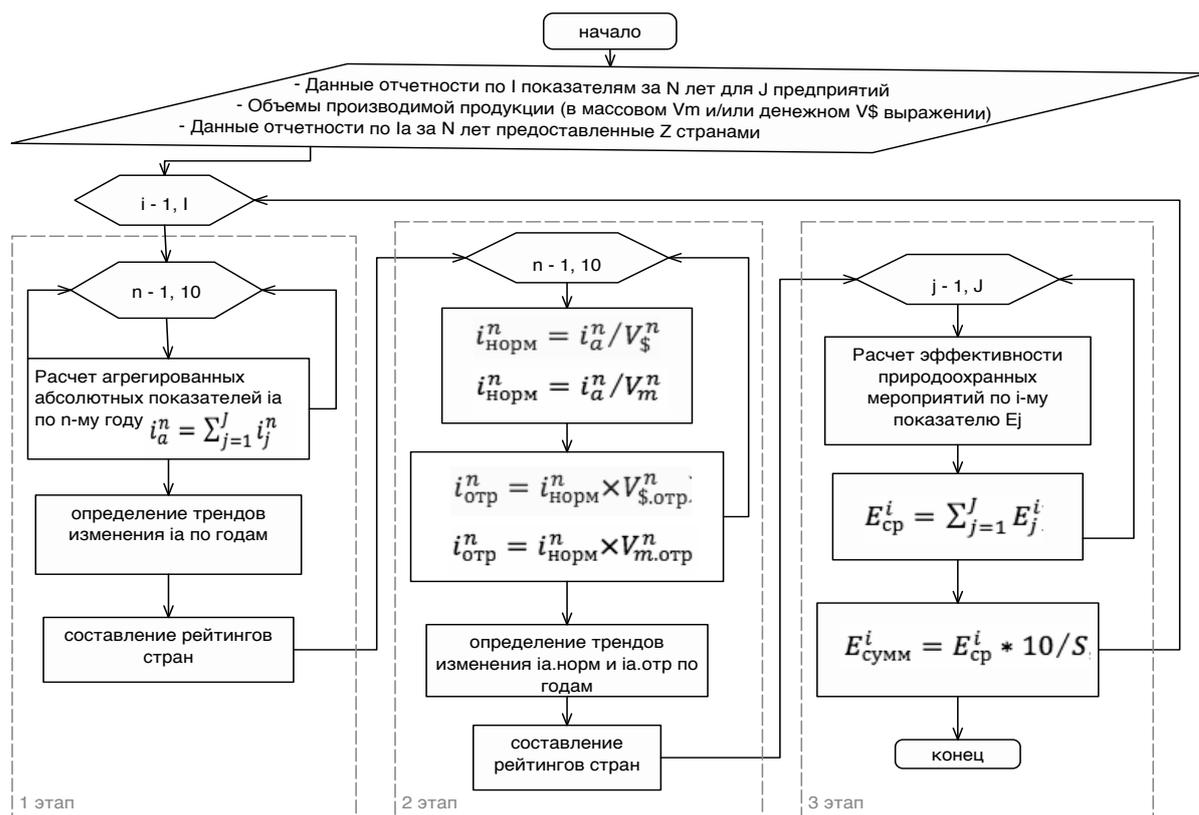


Рис. 4.1. Блок-схема ЛВА-1 оценки эффективности природоохранной деятельности ХП

Основные этапы ЛВА-1:

Этап 1. Оценить воздействие на ОС J российских ХП и ХП других стран в абсолютном выражении:

1.1 рассчитать агрегированные абсолютные показатели i_a^n (где n - отчетный год) ВОС J химических предприятий, представивших отчетность:

$$i_a^n = \sum_{j=1}^J i_j^n, \quad (68)$$

1.2 определить тренды изменения i_a по годам, используя процедуру линейного приближения и метод наименьших квадратов;

1.3 проранжировать страны по годам n и по каждому показателю i_a^n на

основе сопоставления аналогичных агрегированных абсолютных показателей.

Этап 2. Оценить ВОС J российских ХП и предприятий других стран в относительном удельном выражении (на объем произведенной продукции в денежном и/или массовом выражении).

2.1 рассчитать нормированные или удельные на объемы производимой продукции (в массовом V_m^n и/или денежном V_s^n выражении) агрегированные показатели $i_{норм}^n$ (где n - отчетный год) ВОС J химических предприятий-участников программы РС, представивших отчетность:

$$i_{норм}^n = i_a^n / V_m^n \text{ и/или } i_{норм}^n = i_a^n / V_s^n \quad (69)$$

2.2 экстраполировать нормированные агрегированные показатели на химическую промышленность России в целом $i_{отр.}^n$ по формуле:

$$i_{отр}^n = i_{норм}^n \times V_{m.отр}^n \text{ и/или } i_{отр}^n = i_{норм}^n \times V_{s.отр}^n \quad (70)$$

2.3 определить тренды изменения $i_{норм}$ и $i_{отр}$ по отдельным годам с использованием процедур линейного приближения и метод наименьших квадратов;

2.4 составить рейтинги стран по отдельным годам n и по каждому показателю $i_{отр}^n$ на основе сопоставления аналогичных агрегированных абсолютных показателей.

Этап 3. Оценить эффективность природоохранной деятельности ХП-участников программы РС.

3.1 рассчитать эффективность природоохранных мероприятий по i -му показателю E_j^i в виде тангенса угла наклона на множестве сложных кривых проведенной линии тренда изменения оцениваемого показателя для конкретного ХП, для всех J химических предприятий, представивших отчетность за более чем 4 года;

3.2 рассчитать значение показателя эффективности для отрасли в целом для i -го параметра $E_{ср}^i$:

$$E_{ср}^i = \sum_{j=1}^J E_j^i, \quad (71)$$

3.3 рассчитать эффективность природоохранной деятельности ХП за 10 лет $E_{сумм}^i$:

$$E_{сумм}^i = E_{ср}^i * 10/S, \quad (72)$$

где: S – затраты ХП на охрану ОС (руб.) (или могут использоваться $S_{атм}$. – затраты ХП на охрану атмосферы воздуха).

Из-за наличия больших пробелов в представленных различными ХП массивах данных, обусловленных добровольностью представления отчетов, содержащих показатели КРІ, сделать однозначные выводы об эффективности реализации природоохранных мероприятий без дополнительной обработки этих показателей затруднительно. ЛВА-1 применен для анализа данных от рассматриваемых ХП РФ за 10-ть лет. Для оценки эффективности природоохранных мероприятий предложена методика расчета на основе на определения тангенса угла наклона линии результирующего приближения к суммарным затратам ХП - участников программы РС на охрану ОС.

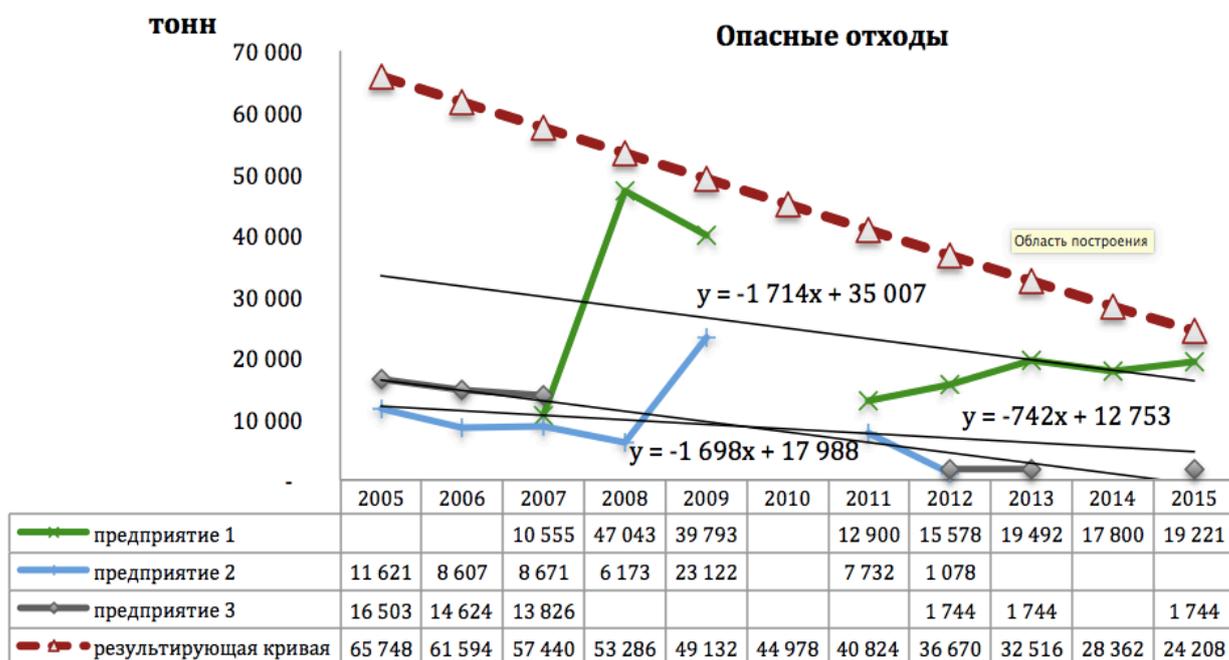


Рис. 4.2. Результаты расчета эффективности реализации программы РС по показателю: размещение токсичных отходов. Графики - размещение опасных отходов на отдельных ХП-участниках программы РС, прямые тонкие линии – линейные приближения определенные для каждого ХП, прямая пунктирная линия – результирующее приближение для отрасли в целом

Результаты расчета показателей эффективности для 3 российских ХП,

представлявших отчетность в разные периоды времени, автором предложено аппроксимировать показатели в виде тангенса угла наклона на множестве сложных кривых проведенной линии тренда линейного приближения изображены на рис. 4.2.

Линия результирующего приближения на множестве сложных кривых (см. рис. 4.2) для оцениваемого показателя получается путем суммирования тангенсов углов наклона индивидуальных линий трендов отдельных ХП, представивших отчетность за ≥ 4 лет.

Описанные инструменты практически использовались для оценки воздействия ХП в РФ на отдельные подсистемы ОС. **Загрязнение почвы** оценивалось через следующие показатели: объемы размещаемых ХП опасных (1-4 класса опасности) отходов; объемы размещаемых ХП неопасных (5-го класса опасности) отходов. Результаты расчетов оценок эффективности по объемам размещения опасных отходов ХП показаны на рис. 4.3.

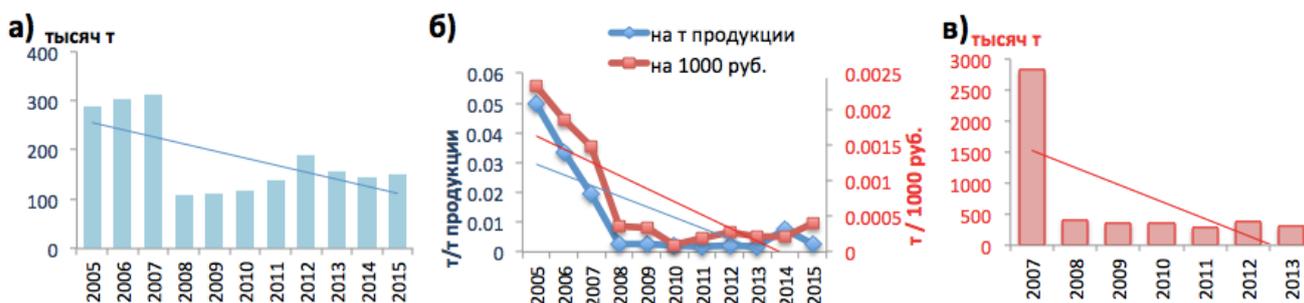


Рис. 4.3. Динамика размещения опасных отходов по годам а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателях; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом

В результате системного анализа можно отметить незначительное возрастание объемов размещения российскими ХП опасных отходов с 2005 г. по 2007 г. и с 2008 г. по 2015 г. (рис. 4.3а), однако при удельном нормировании на тонну продукции и на рубль выручки количество опасных отходов постоянно снижается (рис. 4.3б), а при перерасчете показателя на химическую отрасль в целом (рис. 4.3с) существенных изменений в части образования по оценке размещения токсичных отходов не заметно. Результаты оценки эффективности ХП по объемам размещения неопасных отходов показаны на рис. 4.4.

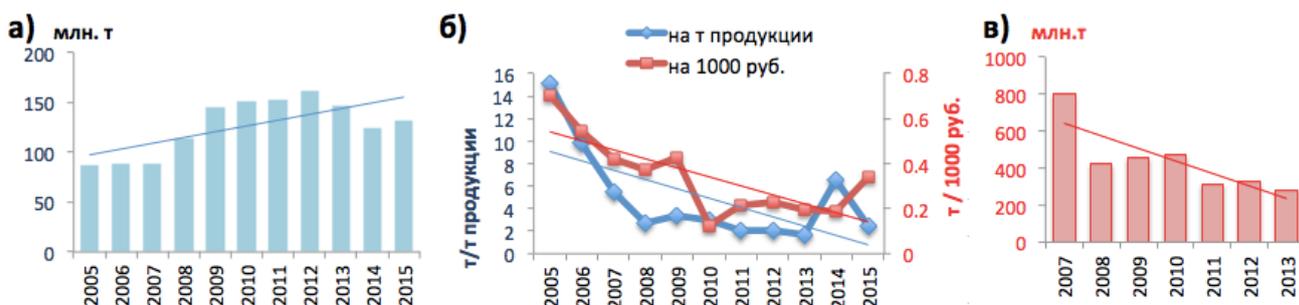


Рис. 4.4. Динамика размещения неопасных отходов (V класса опасности) по годам а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателях; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом

На представленных диаграммах и графиках (рис. 4.4) хорошо видно, что, несмотря на увеличение абсолютного количества неопасных отходов, размещаемых предприятиями (рис. 4.4а), показатели их удельного размещения на тонну продукции снизились за десять лет реализации программы в 10 раз с 15 т/т продукции до 1,65 т/т продукции и с 0,8 т/1000 рубл. до 0,2 т/1000 руб. (рис. 4.4б). При экстраполяции на химическую отрасль России в целом также наблюдается снижение образования неопасных отходов с 803 млн.тонн в год в 2007 г. до 275 млн.тонн в год в 2013 г. (рис. 4.4в).

Составление рейтингов стран по данному показателю представилось авторам нецелесообразным и неинформативным, поскольку в соответствии с условиями предоставления отчетности странами использовались существенно различающиеся национальные методики классификации отходов по степени опасности.

Оценка загрязнения атмосферы проводилась по объемам выбросов диоксида серы (SO₂), оксидов азота (NO_x), летучих органических соединений (ЛОС) и оксида углерода (CO). Результаты системного анализа оценок выбросов в атмосферу основных ХВ - загрязнителей, рассчитанных с применением ЛВА-1, представлены на рис. 4.5.

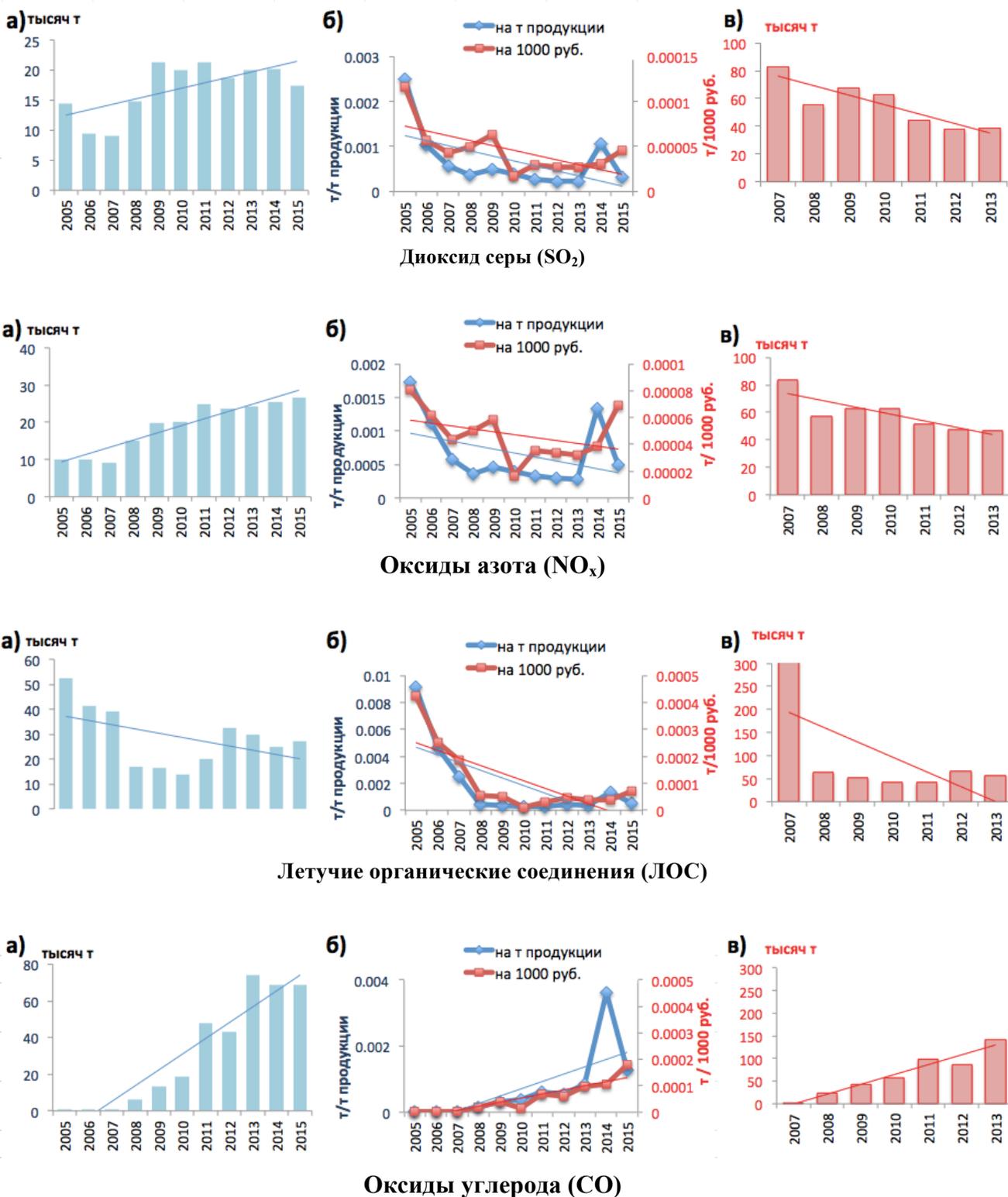


Рис. 4.5. Динамика изменения выбросов основных загрязнителей атмосферы диоксида серы, оксидов азота, летучих органических соединений и оксида углерода. На столбчатых диаграммах а) представлены абсолютные показатели для ХП-участников программы РС, на рисунке; на графиках б) представлены данные, нормированные на тонну производимой продукции или на 1000 рублей выручки; на столбчатых диаграммах в) представлена динамика изменения выбросов для химической отрасли в целом

Выбросы в атмосферу диоксидов серы и азота растут у российских ХП-участников программы РС в абсолютном выражении (рис. 4.5а), но при этом

уменьшаются при пересчете на объемы произведенной продукции или на 1000 рублей выручки (рис. 4.5б). Выбросы ЛОС в абсолютных значениях снижаются в 2008-2010 г., а затем начинают значительно расти (рис. 4.5а), однако удельные выбросы ЛОС на тонну продукции остаются с 2008 г. практически постоянными (рис. 4.5б). Резко увеличиваются и абсолютные и относительные выбросы оксида углерода (рис. 4.5а и 4.5б), в частности это связано с тем, что все большее количество ХП начинают контролировать данный параметр. По отрасли в целом (рис. 4.5в) можно сделать вывод, что выбросы диоксида серы, оксидов азота и ЛОС после 2008 г. остаются практически постоянными (для диоксидов серы и азота можно наблюдать незначительное снижение при сравнении данных 2007 и 2015 г.), но при этом значительно увеличиваются выбросы оксида углерода. Российский союз химиков, представляющий ХП-участников программы РС, занимает 6-12 места, среди других ассоциаций, представляющих отчетность по выбросам SO_2 и 4-8 места по выбросам NO_2 , по выбросам ЛОС российские ХП чаще всего оказываются в тройке лидеров вместе с предприятиями из Франции и Австралии.

Оценка влияния ХП на изменение климата, проводилась по выбросам парниковых газов (диоксид углерода, оксид азота, гидрофторуглероды и метан). Полученные результаты расчетов по выбросам парниковых газов в пересчете на CO_2 представлены на рис. 4.6.

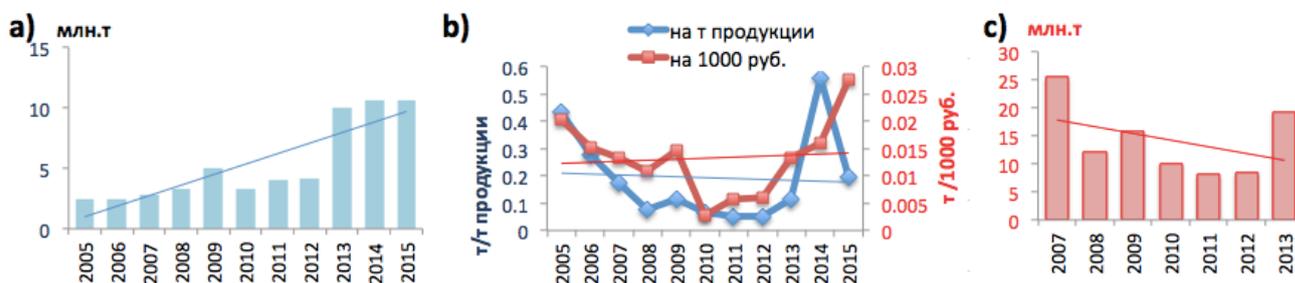


Рис. 4.6. Динамика изменения выбросов парниковых газов в пересчете на CO_2 а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателях; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом

Для общей оценки вклада выбросов ХП в парниковый эффект осуществляется пересчет на значение только CO_2 , коэффициенты для пересчета

брались из⁵⁷ для среднего эффекта за 100 лет.

На представленных диаграммах (рис. 4.6) видна динамика изменения выбросов для динамично развивающейся отрасли и во многом аналогичная динамике размещения отходов, при которой растет абсолютное количество выбросов, но падает по отношению к тонне производимой продукции. Среди других стран, представляющих отчетность по данному показателю российские ХП чаще всего попадают в тройку лидеров.

Оценка воздействия на водоемы проводилась с использованием таких показателей как величина химического потребления кислорода (ХПК), сбросы азотсодержащих и фосфорсодержащих ХВ, суммарные объемы сбрасываемых опасных ХВ, объемы водопотребления и сбрасываемых вод. При ОВОС химических предприятий по выбранным критериям в абсолютных показателях выраженная динамика не прослеживается (см. табл. 4.1), однако по всем показателям наблюдается выраженное снижение их удельных значений на тонну или стоимость произведенной продукции. Также хорошо прослеживается по выбранным показателям снижение ВОС в абсолютном выражении российской химической отрасли в целом. При сравнении показателей российских ХП с ХП других стран можно отметить, что по объемам сброса фосфорсодержащих и азотсодержащих соединений российские ХП часто оказываются в первой тройке среди других ХП-участников программы РС.

При оценке показателей, характеризующих энергопотребление, отмечено увеличение энергопотребления российскими ХП- участниками программы ответственная забота, как в абсолютных, так и в относительных показателях с 2005 по 2013 г., однако по российской химической отрасли в целом наблюдается выраженное снижение.

Полученные результаты системного анализа оценок ВОС химических предприятий представлены в табл. 4.1.

⁵⁷ Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

Таблица 4.1.

Результаты системного анализа оценок ВОС химических предприятий – участников общественной программы РС

Наименование показателя	Анализ изменения показателей			
	Абсолютного значения	На тонну производимой продукции	На рубль полученной выручки	В целом по отрасли
Воздействие на почву				
Размещение токсичных отходов	Увеличение с 2005 по 2007 г. и с 2008 по 2013 г.	Снижается	Снижается	С 2008 г. остается практически неизменным
Размещение нетоксичных отходов	Увеличение	Снижение	Снижение	Снижение при сравнении данных 2007 и 2013 г.
Воздействие на атмосферный воздух				
Выбросы SO ₂	Увеличение	Снижение	Снижение	Незначительное снижение при сравнении данных 2007 и 2013 г.
Выбросы NO _x	Увеличение	Снижение	Снижение	
Летучие органические соединения	Снижение с 2005 по 2008 г. и увеличение с 2010 по 2013 г.	Снижение с 2005 по 2008 г. далее без существенных изменений	Снижение с 2005 по 2010 г. далее без существенных изменений	Выраженная динамика не прослеживается
Углекислый газ	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Увеличение
Парниковые газы в пересчете на диоксид углерода	Увеличение	Снижение	Снижение	Выраженная динамика не прослеживается
Воздействие на водоемы				
ХПК	Выраженная динамика не прослеживается	Снижение	Снижение	Выраженная динамика по снижению
Фосфорсодержащие соединения	Выраженная динамика не прослеживается	Снижение	Снижение	Снижение
Азотсодержащие соединения	Увеличение с 2005 по 2010 г., снижение с 2011 по 2014 г.	Снижение	Снижение	Снижение
Количество вредных веществ, сбрасываемых сточными водами	Выраженная динамика не прослеживается	Снижение	Снижение	Снижение до 2013 г.
Количество сброса сточных вод	Увеличение с 2005 по 2010 г., далее выраженная динамика не прослеживается	Снижение	Снижение	Снижение
Общее водопотребление	Увеличение	Снижение	Снижение	Снижение
Энергопотребление				
Общее энергопотребление	Увеличение с 2005 по 2013 г.	Увеличение с 2005 по 2013 г.	Выраженная динамика не прослеживается	Снижение

На 3 этапе, предложенного ЛВА-1 проведена оценка эффективности деятельности российских ХП по обобщенным индивидуальным достижениям

ХП по сокращению выбросов, сбросов и размещаемых отходов. Полученные оценки эффективности агрегированы и сопоставлены с данными по затратам на природоохранную деятельность (см. табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Результаты системного анализа эффективности природоохранной деятельности российских ХП-участников общественной программы РС

Наименование показателя	Направление изменения показателя деятельности отдельных предприятий	Сокращение ВОС за 10-летний период, кг/руб.	
		на рубль затрат на охрану ОС	на рубль затрат на охрану атмосферного воздуха
Воздействие на почву			
Размещение токсичных отходов	Увеличение	Нет	Не применимо
Размещение нетоксичных отходов	Увеличение	Нет	Не применимо
Воздействие на атмосферный воздух			
Выбросы SO ₂	Увеличение	нет	Не применимо
Выбросы NO _x	Снижение	1,6*10 ⁻³	1,1*10 ⁻²
Летучие органические соединения	Снижение	4,5	30,4
Оксид углерода	Увеличение	Нет	Нет
Парниковые газы	Увеличение	Нет	Нет
Воздействие на водоемы			
ХПК	Снижение	3,8*10 ⁻³	Не применимо
Фосфорсодержащие соединения	Увеличение	Нет	Не применимо
Азотсодержащие соединения	Снижение	2,8*10 ⁻²	Не применимо
Количество вредных веществ, сбрасываемых сточными водами	Снижение	8,66	Не применимо
Количество сброса сточных вод	Увеличение	Нет	Не применимо

В первом столбце табл. 4.2 приведены результаты расчета оценок изменения выбросов, сбросов и размещаемых отходов, полученные при обработке ежегодной отчетности следующих российских ХП:

- ПАО «Нижекамскнефтехим», АО «Русские краски», ООО ОХК «Щекиноазот» и АО «МХК «Еврохим» за 9-11 лет;

- ЗАО «БАСФ» и ПАО «Химпром» (г. Новочебоксарск) 6-8 лет, ООО «ХК «Пигмент», ООО «СИБУР Холдинг», АО «Полиэф» и АО «Каустик» (г. Волгоград) за 4-5 лет.

Эти компании совместно производят примерно 30 % химической продукции в России, поэтому полученные данные позволяют делать прогнозные выводы по отрасли в целом. Результаты, полученные при оценке эффективности отдельных ХП (см. табл. 4.2), совпадают с результатами, полученными на этапах 1 и 2 ЛВА, при оценке агрегированных показателей (см. табл. 4.1), по

показателям динамики размещения отходов, выбросов SO₂, ЛОС, СО и парниковых газов. Результаты, полученные для NO_x, показали положительную, а не отрицательную динамику, которую дают агрегированные абсолютные показатели. При оценке показателей воздействия на гидросферу результаты отличаются только по соединениям фосфора, оценка по отдельным ХП дает увеличение сбросов (см. табл. 4.2), в то время как агрегированные показатели показывают их уменьшение (см. табл. 4.1). В последних двух столбцах (см. табл. 4.2) приведены результаты расчета удельной эффективности мероприятий по снижению ВОС (для тех позиций, где наблюдалось снижение) в [кг/руб затрат].

4.2. Логико-вычислительный алгоритм поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ресурсоэнергоэффективных химико-технологических систем

Для сравнительной оценки однотипных ХТС автором предложен ЛВА-2 поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для ОС энергоэффективных ХТС (см. рис. 4.7). Разработанный ЛВА используется, когда возможно применить альтернативные технологии получения одного и того же целевого вещества N различными способами (или при N различных условиях). Рассмотрим основные этапы предложенного ЛВА-2.

Этап 1 - Отобрать I индикаторов i , позволяющих оценить соответствие ХТС принципам «зеленой» химии [35,37] и логистику ресурсосбережения [212]. Например, учитывая результаты системного анализа воздействия ХП на подсистемы ОС (см. главу 4, п.4.1) наименьший результат был достигнут для почвы (в части объемов размещения нетоксичных и токсичных отходов), одним из приоритетных принципов зеленой химии выбран принцип № 1, в соответствии с которым необходимо минимизировать образование отходов.

Для оценки соответствия ХТС принципу зеленой химии №1, в качестве индикатора i можно использовать общую массу образующихся отходов W_w (кг) (при этом значение индикатора W_w должно быть минимальным).

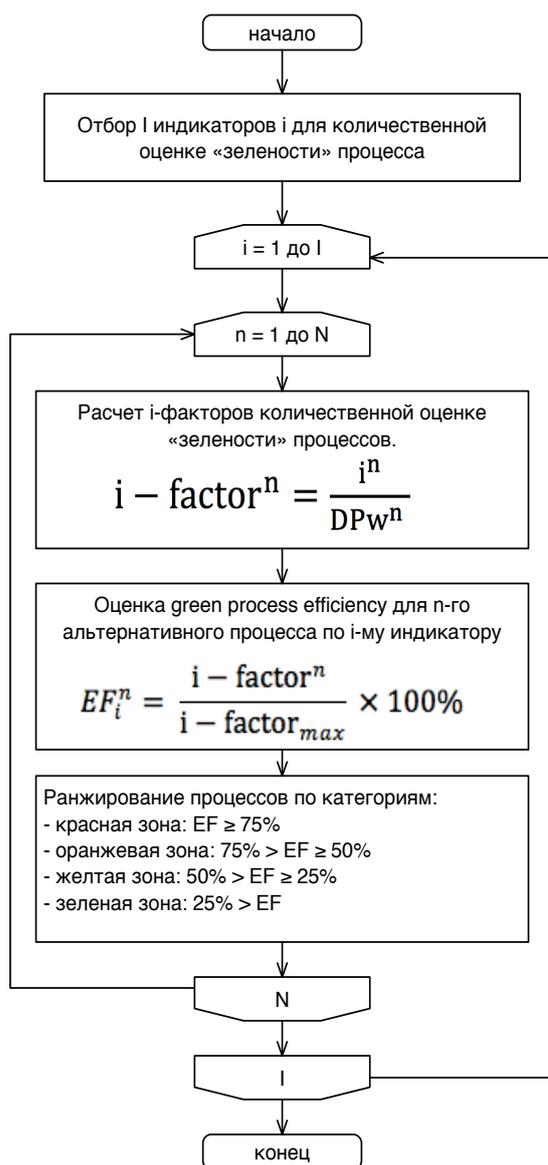


Рис. 4.7. ЛВА поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ХТС на основе принципов «зеленой» химии

ХТС i -factor, характеризующий энергоресурсоэффективность, оценивается как:

$$i - factor^n = \frac{i^n}{DPw^n}, \quad (73)$$

Например, образование отходов для n -го альтернативного варианта ХТС ряд исследователей, работающих в области «зеленой» химии, предлагают оценивать через E -factorⁿ (кг/кг) [214], который равен:

Для учета количества опасных ХВ, которые используются при синтезе, выбран принцип зеленой химии № 3, требующий максимального снижения опасности ХТС и продуктов синтеза. В качестве индикаторов для оценки соответствия ХТС и продукции этому принципу в ряде случаев используется доля опасных ХВ в общей массе продукции³¹. Энергоэффективность ХТС или обеспечение соответствия принципу зеленой химии № 6 предлагается рассчитывать через Q -factorⁿ (Дж/кг) [213].

Этап-2 - Рассчитать фактор (i -factor), характеризующий энергоресурсоэффективность n -го альтернативного варианта ХТС, на основе нормирования индикатора i по массе (или объему) получаемого целевого продукта DPw (кг). В общем виде для любого i -го индикатора, n -й альтернативной

$$E - factor^n = \frac{Ww^n}{DPw^n}, \quad (74)$$

где: Ww^n применительно к обращению ХВ равна:

$$Ww^n = m_{исх.ХВ} + m_{всп.ХВ} - m_{целевых\ продуктов}, \quad (75)$$

Немного модифицировав показатель из³¹, автором предложено рассчитывать оценку использования опасных ХВ через $H-factor^n$ (кг/кг), который предлагается рассчитывать через соотношение:

$$H - factor^n = \frac{\text{Общая масса участвующих в технологическом процессе опасных ХВ}}{DPw^n}, \quad (76)$$

А $Q-factor^n$ (Дж/кг) используя соотношение:

$$Q - factor^n = \frac{\text{Общие затраты энергии}}{DPw^n}, \quad (77)$$

Этап 3 - Рассчитать оценку энергоресурсоэффективности ХТС - EF_i^n (%) через оценку по отношению к наихудшей из имеющихся альтернатив ХТС ($i-factor_{max}$) по соответствию принципам «зеленой» химии:

$$EF_i^n = \frac{i-factor^n}{i-factor_{max}} \times 100 \%, \quad (78)$$

Этап 4 - Ранжировать ХТС по показателям ресурсоэнергоэффективности. В качестве шкалы для оценки ресурсоэнергоэффективности ХТС следует считать следующее: эффективность наихудшей с точки зрения образования отходов ($E-factor_{max}$), использования опасных ХВ ($H-factor_{max}$) и/или энергопотребления ($Q-factor_{max}$) ХТС принимается за 100 %.

Эффективность ХТС EF , (%) определяется как:

$$EF = \frac{\text{Е-фактор (или Н-фактор или Q-фактор)}}{\text{Е-фактор}_{max}(\text{или Н-фактор}_{max} \text{ или Q-фактор}_{max})} \times 100 \%, \quad (79)$$

К красной зоне – зоне низкой энергоресурсоэффективности ХТС, относятся ХТС величина EF - эффективности которых по использованию энергии, опасных ХВ и/или образования отходов составляет от 100 % до 75 % от максимально возможного. К оранжевой зоне - зоне умеренной энергоресурсоэффективности ХТС, относят ХТС с эффективностью от 74 % до 50 % от макси-

максимально возможного. К желтой зоне – зоне приемлемой энергоресурсоэффективности ХТС, относятся ХТС с эффективностью от 49 % до 25 % от максимально возможного. К зеленой зоне – зоне высокоэффективных ХТС, относятся ХТС с эффективностью менее 25 % от максимально возможного [215,216].

Приемлемыми для дальнейшего инжиниринга ХТС [217] и масштабирования в промышленное производство предложено считать ХТС, находящиеся по результатам оценки в желтой и/или зеленой зонах.

Очевидно, что оценка ХТС с точки зрения ВОС является комплексной оценкой, на величину которой влияют различные факторы. Например, снижение количества опасных ХВ, используемых в ХТС приводит к низким скоростям реакций и, как следствие, к необходимости увеличения времени процесса, а так же к более низким выходам целевого продукта.

4.3. Логико-вычислительный алгоритм выбора приоритетности по уровню опасного воздействия химических веществ на окружающую среду в глобальном и региональном масштабах

ЛВА-3 - логико-вычислительный алгоритм выбора приоритетности по уровню опасного ВОС химических веществ в глобальном и региональном масштабах основан на методе многокритериального ранжирования различных критериев, которые могут быть заданы в количественном, неформализованном (лингвистическом) и в формализованном виде. Очевидно, что проводить оценку для всех, находящихся в обращении ХВ, не представляется возможным из-за их количества. Поэтому для оценок, проводимых в планетарном масштабе, шведские ученые [109] определили три условия, которые должны быть одновременно выполнены, чтобы загрязнение ХВ стало значимой угрозой в глобальном или региональном масштабе (см. табл. 4.3). Во первых, это может быть достаточно быстрое и разрушительное ВОС (сценарий №1), возможное при отсутствии данных о воздействии ХВ (преимущественно новых) и представляющее значимую угрозу из-за незначительного времени имеющегося в

распоряжении на принятие ответных мер и ликвидацию ущерба. Во-вторых, ХВ может оказывать скрытое ВОС (по примеру ряда заболеваний, например, рака), которое может быть обнаружено только тогда, когда разрушительное действие станет необратимым (сценарий №2). Или ВОС на окружающую среду ХВ может носить необратимый характер (сценарий № 3).

Таблица 4.3.

Условия попадания ХВ в приоритетные загрязнители для ОС

Условия	Сценарий	Характеристика ХВ и источника их поступления
№1 (данные отсутствуют) разрушительное воздействие на жизненно важные процессы в земных системах	1-1 (данные отсутствуют) Возможно разрушительное воздействие на жизненно важные процессы в земных системах	1-1 (данные отсутствуют). Маловероятно для ХВ, которые уже производятся и используются в течение многих лет, при условии если производство/выбросы и концентрации в ОС не увеличиваются.
№ 2 Негативный эффект на ОС среду не обнаруживается до тех пор, пока он не становится, глобальной проблемой в планетарном масштабе	2-1 быстро увеличившееся глобальном масштабе загрязнения ХВ обладающих эффектом аддитивности	2-1 распределенные по всему миру выбросы ХВ (стойких и легко летучих)
	2-2 быстрое глобальное распространение воздействие (независимо от уровня экспозиции)	2-2 (данные отсутствуют). Примером может быть ХВ, которое вызывает генетические изменения в организмах с последующем распространением пораженных организмов.
	2-3 наличие задержки между поступлением вещества и ВОС	2-3 (данные отсутствуют). В качестве примера можно привести незначительные воздействия ХВ на долгоживущие организмов, или трансгенерационный эпигенетический эффект
	2-4 эффект можно наблюдать только в глобальном масштабе	2-4 (данные отсутствуют). Может возникнуть в результате глобального воздействия стойких ХВ, находящихся в океанах или стойких и слаболетучих ХВ, распространяемых в комбинации за счет механизмов переноса в атмосфере и океане.
№ 3 практически не обратимое разрушительное ВОС	3-1 воздействие сложно предотвратить	3-1 Выбросы от необходимых обществу технологии или выбросы от многочисленных источников, устранение которых являются дорогостоящим или выбрасываемые ХВ являются стойкими в ОС
	3-2 последствия воздействия практически необратимы	3-2 эффекты, являются постоянными или приводят к переходу в новое устойчивое состояние

На рис. 4.8 представлена гипотетическая ситуация, связанная с химическим загрязнением и иллюстрирующая ситуацию, при которой химическое загрязнение становится значимым в глобальном или региональном масштабе. Рассмотрена ситуация при которой общество начинает вводить в обращение не до конца исследованное ХВ (см. рис. 4.8).

Сначала в результате ввода в обращение данного ХВ начинает расти его концентрация в ОС. Затем в какой-то момент она достигает порогового значения и становятся ощутимы негативные эффекты от присутствия этого ХВ в ОС. Общество, осознав, что находящееся в обращении ХВ обладает негативными эффектами, предпринимает

меры по снижению концентрации ХВ в ОС до допустимого уровня. Однако из-за наличия в подобных системах запаздывания на это требуется некоторое время. Результатом деятельности общества является снижение концентрации вредного вещества в ОС. Чуть позже, из-за наличия запаздывания, начинают снижаться и эффекты от ВОС данного ХВ. В представленном на рис. 4.8 сценарии маловероятно, что воздействие рассматриваемого ХВ будет представлять какой-либо риск в глобальном или региональном масштабах.

На рис. 4.9 представлен сценарий, который характерен для таких ХВ, как стойкие органические загрязнители, обладающие способностью распространяться на большие расстояния в сочетании с продолжительным временем

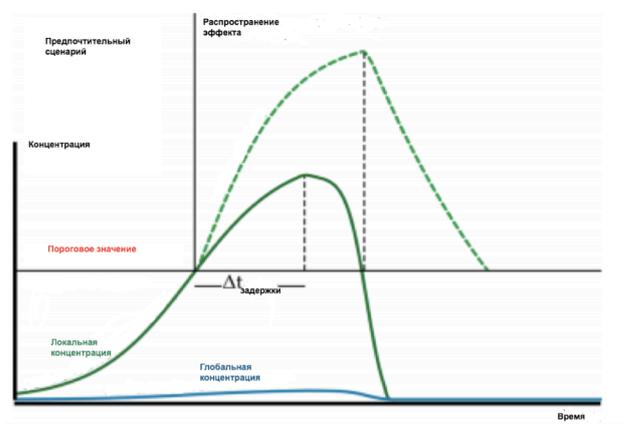


Рис. 4.9. Сценарий ввода в обращение недостаточно изученного ХВ, когда последствия ВОС проявляются достаточно явно

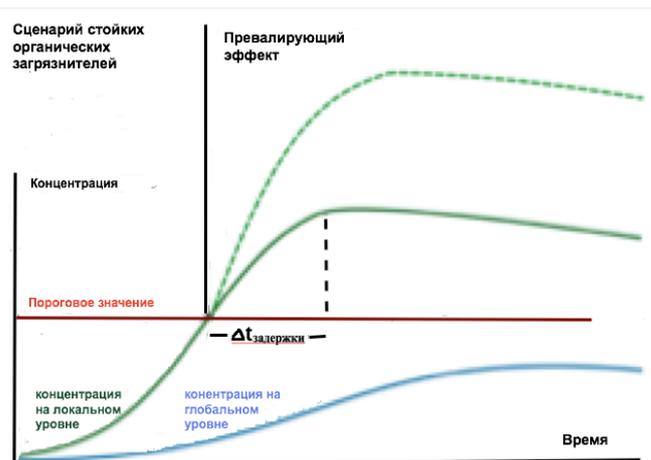


Рис. 4.8. Возможные последствия ввода в обращение не достаточно изученного ХВ

жизни в ОС. В результате, когда общество обнаруживает вредные эффекты от присутствия этих веществ в ОС быстро снизить их концентрацию не удастся, то в итоге приводит к длительному негативному ВОС и значимым эффектам не только на региональном, но и на глобальном уровнях.

Для определения наиболее

опасных для ОС химических веществ авторов разработан ЛВА-3 выбора приоритетности ХВ в глобальном и региональном масштабах, на основу метода многокритериального ранжирования, когда критерии одновременно могут быть заданы в количественном, неформализованном (лингвистическом) и в формализованном виде. Рассмотрим существующие основные этапы ЛВА-3:

Этап 1. Сформировать перечень $A = \{A^1, \dots, A^j, \dots, A^n\}$ опасных для ОС химических веществ путем включения всех ХВ, подлежащих обязательному контролю согласно международным соглашениям и действующему национальному законодательству, а также ХВ, оказывающих негативное влияние на подсистемы ОС.

Этап 2. Определить критерии выбора приоритетных опасных ХВ для ОС $\{C_1, \dots, C_p, \dots, C_m\}$. Выделить следующие критерии выбора приоритетных ХВ: ПДК химических веществ в подсистемах ОС; количество ХВ, поступающего в ОС в единицу времени; изменение климата (глобальное потепление); истощение природных ресурсов; истощение озонового слоя в стратосфере; образование фотохимического смога; персистентность (устойчивость) ХВ; способность переноса на большие расстояния (миграция); образование кислотных дождей; способность к биоаккумуляции; эвтрофикация объектов гидросферы; острая и хроническая экотоксичность; численность населения, потенциально подверженного воздействию; токсичность для человека; канцерогенность; репродуктивная токсичность; мутагенность.

Этап 3. Сформировать шкалы оценки для каждого критерия выбора C_p приоритетного ХВ. Так как выделенные критерии разнородны, то для каждого из них использовались индивидуальные шкалы. Например, для неформализованного (лингвистического) критерия «канцерогенность» предложена следующая шкала оценок: «0» - не является канцерогеном, «1» - предполагается, что канцероген, «2» - есть данные, подтверждающие канцерогенное действие.

Этап 4. Присвоить весовой коэффициент (μ_p) каждому из выделенных критериев выбора C_p приоритетных загрязняющих ХВ. Исходя из заданных весовых коэффициентов для выделенных критериев, сформировать вектор

оценок $x^j = (x^j_1, \dots, x^j_p, \dots, x^j_m)$ для каждого ХВ по формуле:

$$x_i = \sum_{i=1}^{C_m} C_i \times \mu_i, \quad (80)$$

Этап 5. Сформировать матрицу ранговых оценок в соответствии с табл. 4.4.

Таблица 4.4.

Матрица ранговых оценок ХВ

Критерии	Весовой коэффициент	Загрязняющие ХВ		
		A^1	A^j	A^n
C_1	μ_1	$C_1^1 \mu_1$	$C_1^j \mu_1$	$C_1^n \mu_1$
C_p	μ_p	$C_p^1 \mu_p$	$C_p^j \mu_p$	$C_p^n \mu_p$
C_m	μ_m	$C_m^1 \mu_m$	$C_m^j \mu_m$	$C_m^n \mu_m$
Вектор оценки		x^1	x^j	x^n

Этап 6. Ввести дополнительный показатель (при необходимости) характеризующий полноту имеющихся данных или степень изученности ХВ, который рассчитывается путем деления числа установленных показателей на общее количество показателей.

Этап 7. Составить список ХВ по убыванию приоритета с точки зрения ВОС. Осуществить многокритериальное ранжирование на основе определения приоритета для каждого ХВ в диапазоне $[1; +\infty)$ (приоритет 1 является худшим). Количество приоритетных ХВ может быть ограничено и другим диапазоном.

4.4. Логико-вычислительный алгоритм многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных для окружающей среды химических веществ

ЛВА-4 - логико-вычислительный алгоритм для многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены ХВ состоит из следующих основных этапов:

- этап-1 - описание нуждающихся в замене ХВ опасных для ОС;
- этап 2 - поиск вариантов эквивалентной замены для ХВ;

- этап 3 - оценка найденных ХВ;
- этап 4 - составление перечня вариантов эквивалентной замены ХВ.

В ряде случаев решение об использовании одного ХВ вместо другого может быть принято интуитивно или с использованием эвристической методики. Однако использование при выборе системного подхода, включая: многокритериальный анализ, определенный ЛВА и руководящий документ является предпочтительным. Решение, полученное при использовании заранее составленного набора эвристических правил [185], является для заинтересованных лиц более понятным и обоснованным, чем ничем не подкрепленное интуитивное решение. Процесс принятия решения не одномоментный, а, как правило, по мнению Г. Саймона [218], состоит из поиска информации, поиска и нахождения возможных альтернатив и выбора рационального варианта. В общем виде эвристический алгоритм выбора вариантов эквивалентной замены для опасных для ОС химических веществ состоит из следующих основных этапов:

1. Описание нуждающегося в замене опасного для ОС и/или здоровья человека ХВ и содержащей это ХВ продукции.
2. Составление набора ХВ, являющихся возможными вариантами эквивалентной замены.
3. Оценка найденных вариантов эквивалентной замены ХВ, при этом исследователь ищет ответ на вопрос: «Может ли ХВ, выбранное в качестве варианта эквивалентной замены, эффективно заменить исходное ХВ?» и «Каковы преимущества ХВ, выбранного в качестве варианта эквивалентной замены, перед уже существующими и используемыми ХВ?»
4. Составление перечня вариантов эквивалентной замены ХВ.
5. Оценка опасности для ОС и здоровья человека ХВ, выбранных в качестве вариантов эквивалентной замены в соответствии с выбранным методом [219].

Предложенный эвристический алгоритм применим при работе с большой группой ХВ, при необходимости оценки малоизученных ХВ и может ис-

пользоваться в тех случаях, когда достоверность информации вызывает сомнения или когда информация носит качественный характер. Задача многокритериального выбора сформулирована в следующем виде [219,228]: задана совокупность вариантов A_1, \dots, A_n , оцениваемых по набору критериев K_1, \dots, K_m , где каждый критерий $K_i, i = \overline{1, m}$ имеет шкалу $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{d_i}\}$, где $x_i^j, j = 1, \dots, d_i$ – упорядоченный элемент шкалы, j – градация шкалы. Требуется найти лучший вариант или распределить рассматриваемую совокупность возможных вариантов по классам C_1, \dots, C_q .

В настоящее время в мире отсутствует признанная всеми, единая методология выбора ХВ - альтернатив опасному для ОС и здоровья человека ХВ, хотя работы по созданию отдельных методик постоянно проводятся [220]. Созданию руководств по подбору вариантов эквивалентной замены для опасных для ОС веществ уделялось большое внимание многими компаниями и правительственными организациям в различных странах. Первые попытки разработать методологию по подбору вариантов эквивалентной замены для опасных ХВ предприняты ЕРА США в 1996 г. в методологии «Оценка наилучших из альтернативных технологий» (англ. Cleaner Technologies Substitutes Assessment (CTSA)⁵⁸) - первой работе по подбору и оценке вариантов эффективной замены для опасных ХВ. Следующей работой подобного рода в 2000 г. стала «Лучшие решения в области защиты ОС» (англ. Making Better Environmental Decisions) [221].

Заслуживают внимания работы Центра устойчивой продукции в Лоуэлл «Основы оценки альтернатив» (англ. Alternatives Assessment Framework) [222], «Принцип замещения» (англ. The Substitution Principle) Шведского химического агентства (англ. КЕМІ) [223] и модель Массачусетского Технологического Института по снижению использования токсических веществ (англ. TURI) в Лоуэлл по оценке вариантов замены представленная в докладе «Оценка аль-

⁵⁸ Руководство ЕРА по оценке наилучших из альтернативных технологий (англ. Cleaner Technologies Substitutes Assessment (CTSA): A Methodology and Resource Guide) https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-01/documents/ctsa_methodology.pdf

тернатив для снижения использования токсичных веществ: обзор методов и инструментов» (англ. Alternatives Assessment for Toxics Use Reduction: a Survey of Methods and Tools) [224].

В основе большинства научных работ по поддержке принятия решений при поиске вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ лежит количественный анализ [225], однако, более простым в практическом применении является качественный анализ [226]. Как правило, процедура принятия решения включает в себя три этапа:

1. Подбор доступных в современных условиях вариантов эквивалентной замены;
2. Подбор критериев или характеристик для оценки ХВ, которые предлагаются в качестве заменителя;
3. Сравнение вариантов эквивалентной замены друг с другом.

Многокритериальный анализ применяется для сопоставления всех возможных вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ на протяжении всего их ЖЦ [227].

Следует подчеркнуть то, что многокритериальный анализ является гибким и итеративным, но он не предназначен для поиска одного единственно верного ответа, а помогает лицу, принимающему решение, сориентироваться при принятии решения [226,227]. Основными шагами процедуры многокритериального выбора при фиксированном множестве вариантов эквивалентных замен с учетом [219] являются: упорядочение вариантов по предпочтениям; классификация ХВ, выбранных в качестве вариантов эквивалентной замены; выбор ХВ в качестве вариантов эквивалентной замены; отбор допустимых вариантов.

Широкое распространение в процедурах многокритериального анализа применяемого для оценки ХВ, получили экспертные методы балльных оценок, среди которых можно выделить числовые, графические и шкалированные методы. К преимуществам методов на основанных на многокритериальном анализе, следует отнести последовательность и прозрачность, достигнутые за счет

точной и строгой методологии принятия решений. С помощью анализа чувствительности результатов можно определить влияние приоритетности критериев и предпочтений заинтересованных сторон на результаты анализа. К недостаткам метода стоит отнести сложную техническую составляющую и невозможность создания единого руководства по применению. Сочетание различных методов на этапах многокритериального анализа альтернатив позволяет получать приемлемые по эффективности результаты выбора вариантов эквивалентной замены ХВ.

В самом простом случае при реализации метода многокритериального анализа оцениваемому ХВ применяется алгоритм присваивания некой бальной оценки в зависимости результатов лабораторных исследований или экспертных оценок, включающей два этапа: 1) расчёт количества баллов, начисляемого каждому из критериев; 2) определение функции, комбинирующей баллы с поправочными коэффициентами.

Самый простой алгоритм начисления баллов основан на оценке результатов лабораторных исследований или на экспертных оценках. Чаще всего критерии для выбора альтернатив ранжируются по их значимости. Самым простым алгоритмом является ранжирование по линейной зависимости с вводом поправочных коэффициентов. Таким образом, низкий балл по не сильно значимому критерию может быть скомпенсирован более высоким баллом по другому критерию, представляющему большую значимость для выбора вариантов эквивалентной замены ХВ [226,228].

На основе анализа международного опыта с учетом преимуществ и недостатков уже существующих методик в области подбора и оценки альтернатив автором предложен ЛВА-4 по подбора альтернативных ХВ с учетом национальных интересов и специфики. В основе предложенного ЛВА-4 лежит метод многокритериального анализа. Предложенный ЛВА-4 применим при работе с большой группой ХВ, при необходимости оценки малоизученных ХВ и может использоваться в тех случаях, когда достоверность информации вызывает сомнения или когда информация носит качественный характер. В ЛВА-4

учтены три группы критериев: токсикологические свойства оцениваемого ХВ; показатели ОВОС химического вещества; достоверность информационных источников. ЛВА-4 состоит из 6 этапов:

Этап 1. Поиск ХВ, которые могут использоваться в качестве вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ. Составление списка ХВ - возможных заменителей.

Этап 2. Для всех ХВ из составленного списка вариантов эквивалентной замены поиск данных по возможному воздействию ХВ на человека и ОС.

Этап 3. Ранжирование всех найденных сведений для ХВ из списка возможных вариантов эквивалентной замены по степени их достоверности.

Этап 4. Присвоение в соответствии с разработанным ЛВА каждому ХВ бальной оценки, зависящей от степени его опасности для здоровья человека и ОС и степени достоверности имеющихся для данного ХВ данных. Отдельные ХВ, обладающие чрезвычайной опасностью для ОС и человека, такие как:

- стойкие органические загрязнители;
 - ХВ, попавшие в списки Стокгольмской конвенции;
 - ХВ отнесенные Международным Агентством по Изучению Рака (МАИР) к категориям 1 и 2А;
 - ХВ, оказывающие мутагенный эффект в эксперименте Эймса;
 - ХВ, влияющие на репродуктивную функцию организма при изучении нулевого, первого и трех поколений);
- должны быть исключены из перечня возможных веществ-заменителей.

Результатом этапа 4 является уточненный список ХВ - возможных заменителей дополненный бальной оценкой для каждого из предлагаемых заменителей.

Этап 5. Ранжирование вариантов эквивалентной замены ХВ опасных для ОС. Выбор одного или нескольких наиболее предпочтительных вариантов ХВ.

Этап 6 (вспомогательный). В случае, если выбрано несколько наиболее предпочтительных вариантов эквивалентной замены опасных для ОС хи-

мических веществ, то проводится оценка по дополнительному критерию, например, по ценовому.

Блок-схема разработанного ЛВА-4 представлена на рис. 4.10.

Выбор шкалы оценок альтернатив является наиболее ответственным этапом задачи принятия решения, требует применения экспертных методов, а сама шкала может быть выражена явно или неявно. При явном задании элементами шкалы являются лингвистические или числовые оценки. При неявном задании альтернативы ранжируются экспертами по степени важности. Для дальнейшего анализа качественные оценки экспертов могут быть оцифрованы [229].

Автором рассмотрено три различных подхода к присвоению баллов рассматриваемым вариантам эквивалентной замены ХВ опасных для ОС. Оценивание происходит из 100 баллов, причем в одном методе класс достоверности является весовым коэффициентом, в другом – включен в 100 баллов, в третьем – понятие достоверности опускается. Чем больше баллов набирает ХВ, тем больше оно подходит в качестве варианта эквивалентной замены.

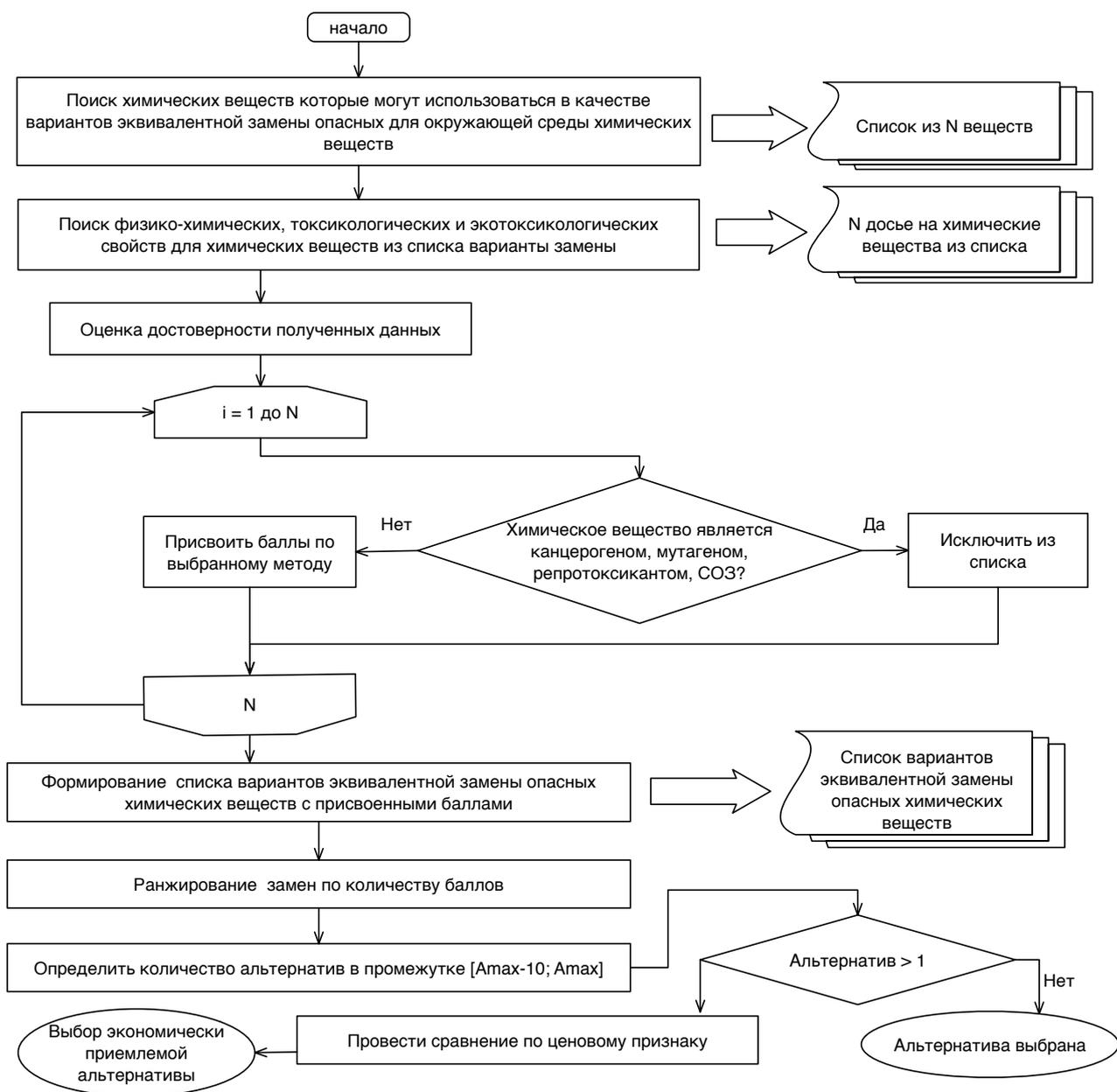


Рис. 4.10. Блок-схема ЛВА-4 многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ

Вариант 1: основан на балльной оценке для токсикологических и экотоксикологических эффектов. Дополнительно введен весовой коэффициент (λ), учитывающий достоверность и надежность используемых данных для оценки токсикологических и экотоксикологических эффектов. Этому коэффициенту могут быть присвоены следующие значения в зависимости от класса достоверности источника информации, определенного в соответствии с разработанным автором алгоритмом (см.Главу 3, п.3.1):

- для данных из источников, определенных как источники с высокой

степенью достоверности (класс «В») $\lambda = 6$;

- для из источников, определенных как источники со средней степенью достоверности (класс «С») $\lambda = 4$;

- для данных из источников, определенных как источники с низкой степенью достоверности (класс «Н») $\lambda = 2$;

- при отсутствии данных $\lambda = 0$.

При заполнении балльной таблицы каждый из присвоенных балльных оценок токсикологических и экотоксикологических эффектов должна быть умножена на весовой коэффициент, определенный классом достоверности источника, из которого была взята информация:

$$I = \sum_{i=1}^{\lambda} \lambda \times B_i, \quad (81)$$

где: λ – весовой коэффициент учитывающий степень достоверности источника; B_i – балл, начисленный за i -ый эффект.

В табл. 4.5 приведена разработанная методика присваивания балльных оценок за каждый из эффектов, оказываемых исследуемым ХВ или ХВ, предлагаемым в качестве альтернативной замены по варианту 1.

Таблица 4.5.

Присваиваемые баллы исследуемому ХВ или ХВ, предлагаемому в качестве альтернативной замены в зависимости от эффектов, оказываемых на ОС и здоровье человека (вариант 1)

Эффект	Присвоенный класс	Количество начисляемых баллов (B_i)		
Токсикологические аспекты				
Канцероген, Мутаген Репротоксикант	1	Выбывает		
	2 (+ воздействие через лактацию)	1		
	Не классифицируется	3		
		при дыха- нии	при кожном поступлении	при пероральном поступлении
Острая токсич- ность	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	1	0,25	0,5
	4	2	0,75	1
	5	3	1	2,5
	Не классифицируется	4	2	4
Раздражение кожи	1	0		
	2	0,5		
	3	1,5		
	Не классифицируется	4		
Раздражение глаз	1	0		
	2А	0,5		
	2В	1,5		

Эффект	Присвоенный класс	Количество начисляемых баллов (В _i)	
		при однократном воздействии	при многократном воздействии
	Не классифицируется	4	
Респираторная или кожная сенсибилизация	1	0,5	
	1A/B	1	
	Не классифицируется	2,5	
Органы-мишени	1	0	0
	2	0,5	1
	3	1	-
	Не классифицируется	1,5	2
Экотоксикологические аспекты			
		при краткосрочном воздействии	при долгосрочном воздействии
Опасность для водной среды	1	0	0
	2	1	1
	3	4	2
	4	-	7
	Не классифицируется	10	15

Необходимо отметить, что при обработки найденной информации по альтернативным веществам могут быть обнаружены ХВ, являющиеся стойкими органическими загрязнителями, а также оказывающие канцерогенный, мутагенный, и репротоксический эффекты. Вещества, попавшие в списки Стокгольмской конвенции, а также внесенные Международным Агентством по Изучению Рака (МАИР) в категории 1, 2А и 2В, должны быть исключены из перечня возможных веществ-заменителей. Также должны быть элиминированы вещества, оказывающие мутагенный эффект в эксперименте Эймса, и продукты, влияющие на репродуктивную функцию организма при изучении нулевого, первого и трех поколений.

Из вариантов замены, набравших определенное количество баллов, может быть выявлено одно вещество с максимальным значением отметки; в том случае, если несколько веществ набрало примерно одинаковое количество баллов (разница не должна составлять более 10 баллов), то необходима дополнительная оценка по вспомогательному критерию.

Вариант 2. Основан на подходе при котором достоверность и надежность источников информации включены в общую оценку в виде штрафов, которые вычитаются из общего количества баллов, набранных ХВ в зависимости от оказываемых им токсикологических и экотоксикологических эффектов. Методика присваивания балльных оценок за каждый из эффектов, оказывае-

мых исследуемым ХВ или ХВ, предлагаемым в качестве альтернативной замены по варианту 2 приведена в табл. 4.6.

Таблица 4.6.

Присваиваемые баллы исследуемому ХВ или ХВ, предлагаемому в качестве альтернативной замены в зависимости от эффектов, оказываемых на ОС и здоровье человека (вариант 2)

Эффект	Присвоенный класс	Количество начисляемых баллов
1	2	3
Токсикологические аспекты		
Канцероген	1	Выбывает
	2	Выбывает
	Не классифицируется	1
Мутаген	1	Выбывает
	2	Выбывает
	Не классифицируется	1
Репротоксикант	1	Выбывает
	2 + воздействие через лактацию	Выбывает
	Не классифицируется	1
Острая токсичность при вдыхании	1	0
	2	0
	3	0,5
	4	1,5
	5	3
	Не классифицируется	4
Острая токсичность при пероральном поступлении	1	0
	2	0
	3	0,5
	4	1
	5	2
	Не классифицируется	3,5
Раздражение кожи	1	0
	2	0,5
	3	1
	Не классифицируется	2,5
Раздражение глаз	1	0
	2А	0,5
	2В	1
	Не классифицируется	2,5
Респираторная сенсibilизация	1	0,5
	1А/В	1
	Не классифицируется	1,5
Кожная сенсibilизация	1	0,5
	1А/В	1
	Не классифицируется	1,5
Органы-мишени при однократном воздействии	1	0
	2	0,25
	3	0,75
	Не классифицируется	2
Органы-мишени при многократном воздействии	1	0
	2	1
	Не классифицируется	3

Эффект	Присвоенный класс	Количество начисляемых баллов
1	2	3
Острая токсичность при кожном поступлении	1	0
	2	0
	3	0,25
	4	0,75
	5	1,5
	Не классифицируется	2,5
Экотоксикологические аспекты		
Опасность для водной среды при краткосрочном воздействии	1	0
	2	0,5
	3	1,5
	Не классифицируется	3
Опасность для водной среды при долгосрочном воздействии	1	0
	2	0,25
	3	0,75
	4	3
	Не классифицируется	6

При использовании этого способа оценки ХВ, при расчетах изначально начисляется 40 баллов за достоверность, которых далее вычитаются штрафные баллы, определяемые в соответствии с табл. 4.7.

Таблица 4.7.

Штрафные баллы, начисляемые в зависимости от класса достоверности источника информации, определенного в соответствии с разработанным автором алгоритмом (см.Главу 3, п.3.1)

Эффект	Количество баллов, начисляемых каждому из классов достоверности			
	Источники информации с высокой степенью достоверности (класс «В»)	Источники информации со средней степенью достоверности (класс «С»)	Источники информации с низкой степенью достоверности (класс «Н»)	Нет данных
Токсикологические аспекты				
Канцероген	0	0,5	1	2
Мутаген	0	0,5	1	2
Репротоксикант	0	0,5	1	2
Острая токсичность при вдыхании	0	2	3	5
Острая токсичность при пероральном поступлении	0	1	2	4
Раздражение кожи	0	1	2	3
Раздражение глаз	0	1	2	3
Респираторная сенсibilизация	0	1	2	3
Кожная сенсibilизация	0	1	2	3
Органы-мишени при однократном воз-	0	1	1,5	2

Эффект	Количество баллов, начисляемых каждому из классов достоверности			
	Источники информации с высокой степенью достоверности (класс «В»)	Источники информации со средней степенью достоверности (класс «С»)	Источники информации с низкой степенью достоверности (класс «Н»)	Нет данных
действию				
Органы-мишени при многократном воздействии	0	1	1,5	2
Острая токсичность при накожном поступлении	0	1	1,5	2
Экотоксикологические аспекты				
Опасность для водной среды при краткосрочном воздействии	0	1	2	3,5
Опасность для водной среды при долгосрочном воздействии	0	1	2	3,5

Поясним на примере: из источника информации со средней степенью достоверности (класс «С») известно, что рассматриваемое ХВ является опасным для ОС, классифицируемым в соответствии с разработанным автором алгоритмом (см. Глава 3, п.3.1) как «вредное для водной среды при краткосрочном воздействии», т.е. ХВ принадлежит к 3 классу опасности, и как «вредное для водной среды при долгосрочном воздействии», т.е. ХВ принадлежит к 4 классу опасности. Информацией о других оказываемых эффектах ХВ исследователь не располагает.

Тогда баллы в соответствии с доступной информацией и табл. 4.6. присваиваются по следующему алгоритму:

1. Присвоить ХВ в соответствии с классом опасности баллы за информацию об острой токсичности: 1,5 балла (3 класс опасности по эффекту «опасность для водной среды при краткосрочном воздействии») + 3 балла (4 класс опасности по эффекту «Опасность для водной среды при долгосрочном воздействии»): $1,5+3=4,5$ баллов

2. Прибавить к полученному результату 40 баллов из блока достоверности: $40 + 4,5 = 44,5$ баллов.

3. Вычесть из полученной суммы штрафные баллы в соответствии с табл. 4.7: 33 балла за отсутствие данных по всем эффектам из класса острой токсичности и по одному баллу за средний класс достоверности источника данных по экотоксикологическим аспектам в сумме будут сняты $33+1+1=35$ штрафных баллов.

Итоговая оценка рассматриваемого ХВ в рамках второго способа присвоения баллов составляет $44,5-35 = 9,5$ баллов.

Вариант 3. Нормирование. Начисление баллов каждому исследуемому ХВ или ХВ, предлагаемому в качестве альтернативной замены в зависимости от эффектов, оказываемых на ОС и здоровье человека происходит в соответствии с табл. 4.6 (вариант 2). В том случае, если информация об оказываемом эффекте отсутствует, то следует присвоить эффекту низшую оценку из возможной (т.к. отсутствие информации эквивалентно высокому уровню воздействия). Далее производится расчет общего балла, как среднего арифметического начисленных баллов от всех оказываемых эффектов (выявлено 14 эффектов) по формуле:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \times B_i}{14}, \quad (82)$$

где: B_i – балл, начисленный за i -ый эффект.

Выбор исследователя между представленными способами оценки должен исходить из приоритета достоверности информации для самого исследователя и количеством информации из источников одного класса достоверности. В том случае, если больший пласт информации представлен источниками из одного класса достоверности, то следует воспользоваться первым способом. Если достоверность данных является важнейшим критерием, и встречаемость источников распределена примерно одинаково между классами достоверности (отклонение в 5-15 %), то разумно воспользоваться вторым способом оценки. Третий способ может быть использован в том случае, если исследователю важно именно наличие информации, а не её достоверность.

Далее из сформированного списка вариантов замен с начисленными

баллами необходимо выбрать ХВ с максимальной отметкой (A_{max}).

При первом способе присваивания баллов необходимо выбирать варианты замены в промежутке $[A_{max}-80; A_{max}]$, втором способе - $[A_{max}-5; A_{max}]$, при нормировании - $[A_{max}-1; A_{max}]$. Исходя из выбранного способа присваивания отметки, проводится отбор вариантов замены из заданного промежутка.

Если в заданный промежуток попало всего одно ХВ предлагаемое в качестве замены, то выбор должен быть сделан в его пользу. В случае, если ХВ несколько, то может быть проведено сравнение по дополнительному критерию, например, экономическому.

4.5. Выводы

1. В результате проделанного системного анализа ВОС химических предприятий с использованием разработанного ЛВА-1 обработки информации о воздействии на ОС предприятий химического комплекса и смежных отраслей, можно сделать следующие выводы об эффективности деятельности российских ХП в области охраны ОС:

- рост загрязнения атмосферы выбросами SO_2 и NO_x обусловлен стремительно увеличивающимися объемами производства ХВ. Но, несмотря на это, в результате системного анализа отмечены положительные тенденции отрасли по сокращению объемов выбросов наиболее токсичных для организма ХВ, чему в немалой степени способствуют и значительное увеличение затрат на природоохранную деятельность;

- в целом для отрасли авторы отмечают снижение нагрузки на атмосферу (исключение составляют выбросы CO_2);

- снижение негативного воздействия на гидросферу от сбросов ХП, в первую очередь обусловлено сокращением количества сбрасываемых сточных вод и организацией замкнутого водооборота;

- наименее эффективной с точки зрения снижения ВОС и требующей пристального внимания как со стороны ХП, так и со стороны государства яв-

ляется система управления отходами. РФ занимает лидирующую позицию по объему захоронения нетоксичных отходов, которую можно обосновать спецификой российской экономики, однако для улучшения положения нашей страны в мировом рейтинге необходимо совершенствовать систему управления отходами;

- выявлено сокращение общего энергопотребления ХП за счет использования энергосберегающих технологий.

2. Для снижения ВОС химических предприятий разработан ЛВА-2 поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ресурсоэнергоэффективных химико-технологических систем.

3. Разработан ЛВА-4 оценки имеющихся альтернатив по таким критериям, как опасность для здоровья человека и ОС, достоверность.

3. С использованием разработанного автором ЛВА-3 выбора приоритетности по уровню опасного ВОС химических веществ в глобальном и региональном масштабах определено, что одним из приоритетных загрязнителей ОС в России являются Ch^{Hg} .

4. Для поиска вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ разработан ЛВА-4.

5. Для проведения с применением предложенной автором комплексной методики ОВОС и расчета ChF^{Hg} необходимо собрать и обработать большой массив данных об источниках поступления Ch^{Hg} в различные подсистемы ОС.

ГЛАВА 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ

5.1. Методика оценки и визуализации основных источников поступления в окружающую среду ртути и ее соединений с использованием географических информационных систем

Для оценки поступления Ch^{Hg} в атмосферу, гидросферу и почву использованы данные, предоставленные предприятиями для национальной инвентаризации выбросов Ch^{Hg} в России. Основная часть данных получена за 2012 г.

В основу предлагаемой методологии расчета выбросов Ch^{Hg} положен расчет материального баланса источников. Все Ch^{Hg} поступающие на производство или используемые в приборах оцениваются по двум сценариям: сценарий 1 - «от колыбели до могилы», где в качестве «могилы» рассматриваются такие подсистемы ОС, как атмосфера, гидросфера и почва, в которых Ch^{Hg} поступает и накапливается в качестве компонентов отходов, сбросов или выбросов; сценарий 2 - «от колыбели до колыбели» предусматривает различные пути извлечения Ch^{Hg} и использование их в качестве исходного сырья для процессов и/или продукции.

В соответствии с [162] выбросы Ch^{Hg} от стационарных источников загрязнения атмосферы в РФ (по данным Росстата) в 2013 г. составили 2,804 т, а в 2014 г. 4,783 т, что почти в два раза выше. На основе данных об источниках выбросов и сбросов Ch^{Hg} в подсистемы ОС от различных источников, данных оценки системы обращения с ртутьсодержащими отходами была составлена карта источников. На рис. 5.1 представлена карта, позволяющая провести анализ зависимости размещения на территории РФ промышленных предприятий от месторождений полезных ископаемых.



Рис. 5.1. Карта основных источников высвобождения Ch^{Hg} в ОС

Для обеспечения наиболее удобного восприятия информации об источниках высвобождения Ch^{Hg} в ОС подготовлена карта, на которой отображены показатели присутствия/вероятности присутствия и отсутствия этих источников, представленная на рис. 5.2.

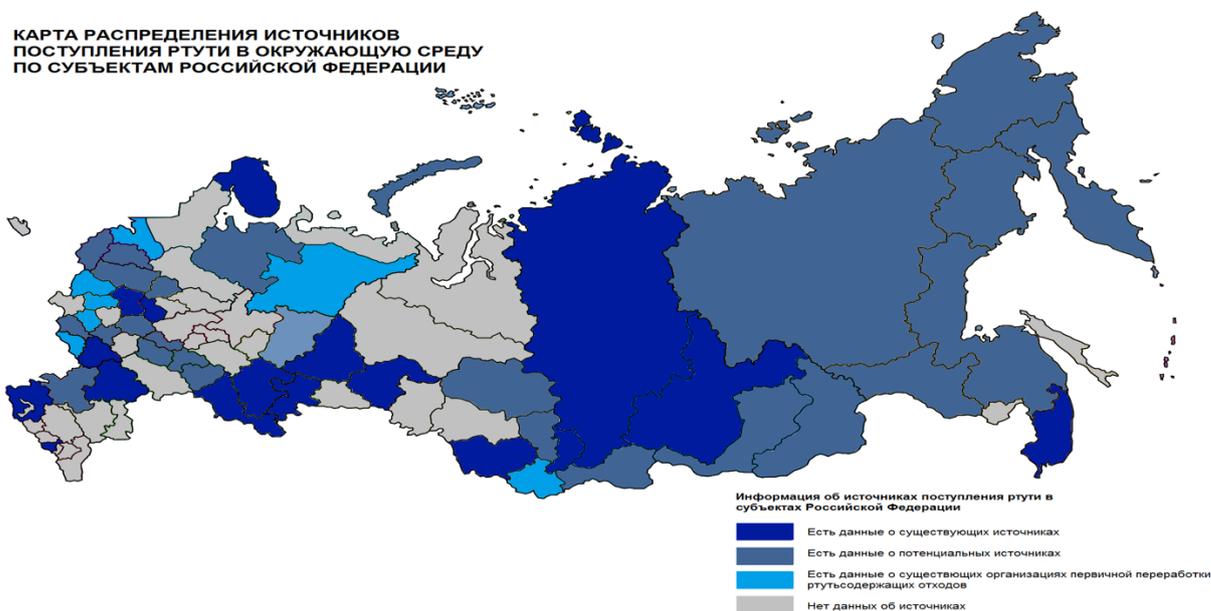


Рис. 5.2. Карта распределения источников поступления Ch^{Hg} в ОС по субъектам РФ

Мониторинг источников выбросов и сбросов Ch^{Hg} и их концентраций в подсистемах ОС дает возможность провести анализ и выявить регионы с наибольшей экологической нагрузкой. Однако важно учесть, что на территории

РФ имеются геохимические провинции, где концентрация Ch^{Hg} в породах выше, чем на других территориях. Такие провинции могут являться причиной повышенной концентрации Ch^{Hg} в добываемых полезных ископаемых. В частности, в потенциально опасную область входит ряд месторождений угля, золота и других полезных ископаемых. Исключением может служить рассеянное загрязнение Ch^{Hg} при бытовом использовании ртутьсодержащих термометров, ламп, приборов.

Анализируя информацию, представленную на рисунке 5.2, можно отметить, что источники поступления Ch^{Hg} в ОС по стране распределены крайне неравномерно. Наибольшие количества мобилизуемой ртути характерны для европейской части РФ. Промышленные источники ртути, главным образом, сосредоточены в Челябинской, Свердловской, Кемеровской, Мурманской областях, Красноярском, Забайкальском, Краснодарском краях, Республике Башкортостан, что свидетельствует о наибольшей экологической нагрузке этих регионов по сравнению с другими регионами страны.

5.2. Разработка логико-информационных моделей процессов поступления в окружающую среду ртути и ее соединений от различных природно-техногенных источников

5.2.1. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении углеводородных ресурсов

Добыча и применение угля. В настоящее время РФ обладает вторыми по величине запасами угля в мире. Среди наиболее крупных месторождений угля следует выделить Кузнецкое, Канско-Ачинское и Печорское месторождения. Стоимость добычи угля относительно невелика, однако его использование для получения тепла и энергии является негативным для подсистем ОС, так как процессы добычи, переработки и последующего сжигания угля приводят к зна-

чительным выбросам загрязняющих ХВ в атмосферу, в частности Ch^{Hg} [230]. С целью определения основных путей мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС при использовании угля для производства тепла, электроэнергии, а также для других целей, была разработана схема с применением методологии функционального логико-информационного моделирования IDEF0 [231].

Основная контекстная диаграмма функциональной ЛИМ процессов добычи и использования угля представлена на родительском блоке А0 (см. рис. 5.3) на входе рассматриваются полезные ископаемые, содержащие в составе следы Ch^{Hg} .

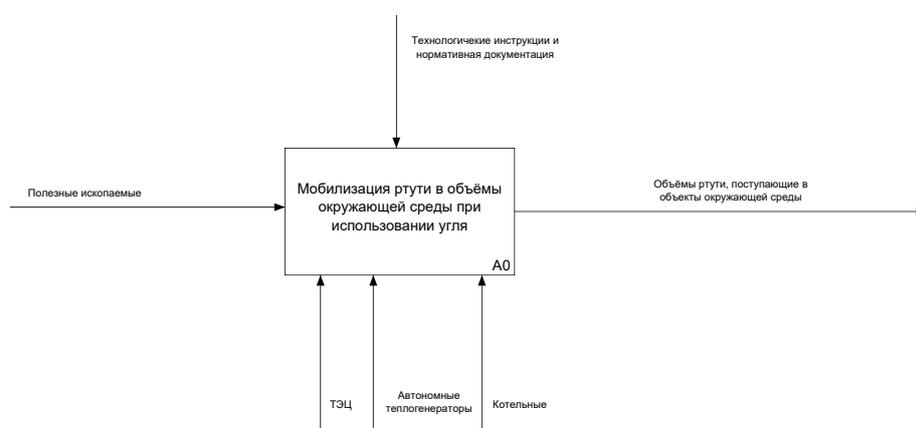


Рис. 5.3. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch^{Hg} в подсистеме ОС при добыче и использовании угля

В результате работы различного оборудования, например, такого как промышленные печи, установки для обогрева помещений, теплоэлектростанции, автономные теплогенераторы и др. происходит мобилизация Ch^{Hg} из природного сырья в подсистемы ОС: атмосферу, гидросферу и почву [232]. Детализация основного блока (рис. 5.3), позволяет определить основные пути поступления Ch^{Hg} в объекты ОС на различных стадиях использования угля (см. рис. 5.4).

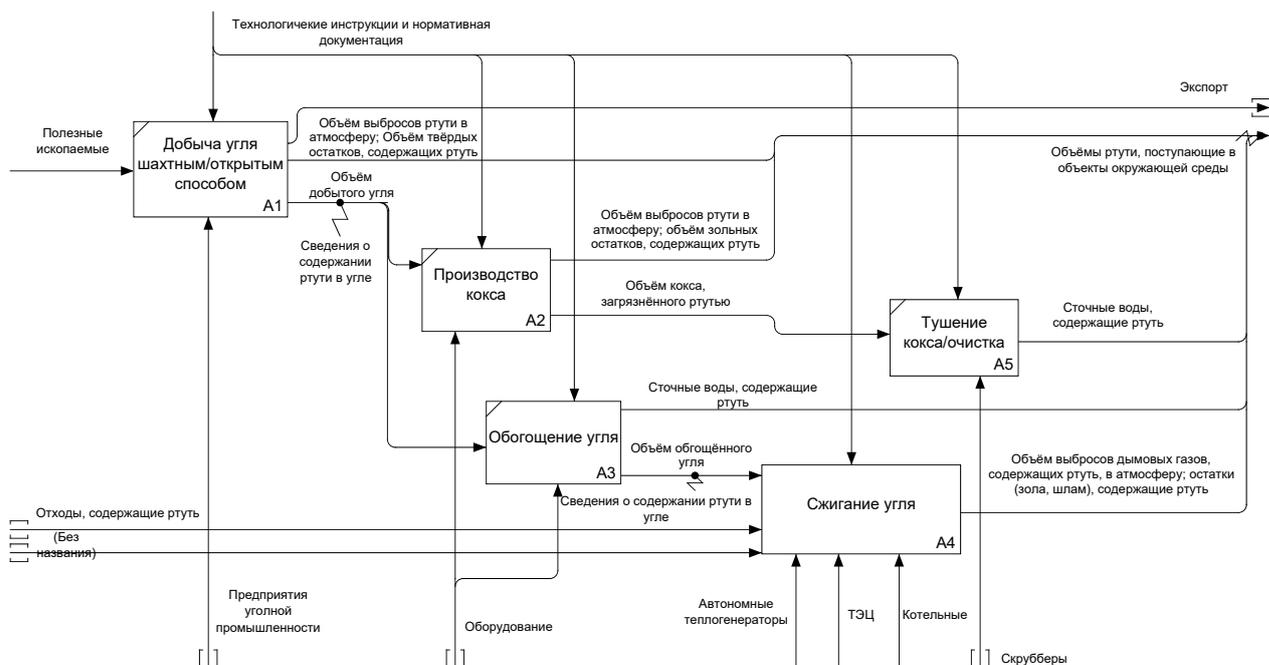


Рис. 5.4. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 для процессов мобилизации Ch^{Hg} в подсистеме ОС при добыче и использовании угля

Так, на стадии добычи угля вне зависимости от выбранной технологии и способа добычи (шахтный, открытый и др.) выбросы Ch^{Hg} в атмосферу являются основным путем высвобождения этого загрязняющего вещества в ОС [232]. Ртуть входит в состав твердых отходов, образующихся в процессе добычи, кроме этого следы Ch^{Hg} в виде примеси присутствуют в составе добытого угля, часть которого направляется на экспорт (рис. 5.5).

Для того, чтобы повысить при сгорании теплоотдачу угля необходимо максимально удалить различные сопутствующие примеси, которых в угле содержится значительное количество. Для удаления примесей проводится обогащение угля, одновременно это позволяет снизить экономические затраты при его транспортировке. В процессе обогащения угля отделяется пустая порода (шлак), снижается количество серосодержащих соединений и зола [233]. Добытый уголь направляется на стадию обогащения в том случае, если он предназначен для сжигания. В процессе обогащения часть Ch^{Hg} и других примесей, например, серы, поступает в ОС. Следует отметить, что при наличии данной стадии на производстве необходимо предусматривать соответствующие системы сбора вымываемой Ch^{Hg} в составе сточных вод. Предварительное обогащение угля может снизить содержание Ch^{Hg} на 10-50 % по сравнению с исходным

содержанием [232]. Затем обогащенный уголь направляется на сжигание, на этой стадии следует рассмотреть дополнительные источники Ch^{Hg} , такие как импортированный уголь и твердые бытовые отходы, содержащие Ch^{Hg} в качестве примеси. В результате сжигания угля практически вся Ch^{Hg} с большей долей вероятности выбрасывается в атмосферу, также образуются твердые остатки сжигания (зола, шлаки), содержащие следы Ch^{Hg} , которые затем направляются на утилизацию [232].

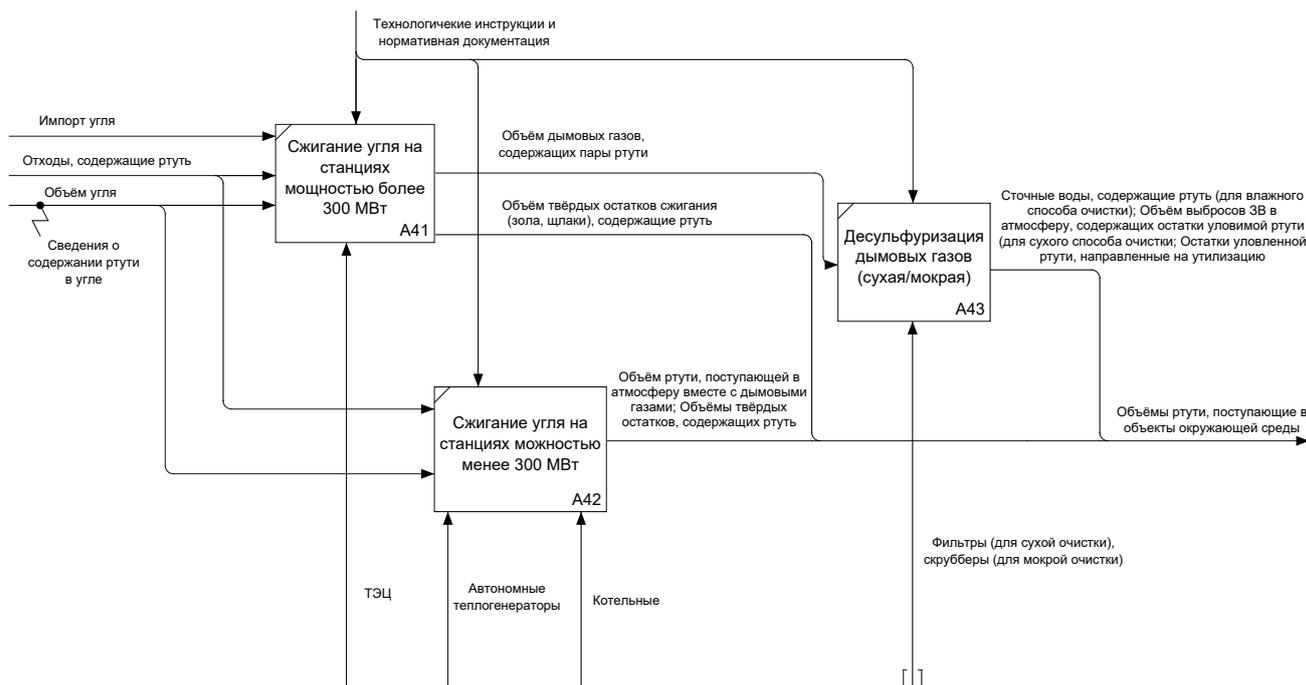


Рис. 5.5. Блок-схема ЛИМ функционального блока А4 «Сжигание угля»

В зависимости от мощности электростанции технология сжигания может значительно отличаться, это характеризуется тем, что на крупных электростанциях (мощность которых свыше 300 МВт) обязательно должны быть установлены эффективные системы очистки дымовых газов, содержащих ртуть, что способствует снижению негативного воздействия на атмосферу путем перемещения Ch^{Hg} из дымовых газов в остаточные вещества (зольная пыль, остатки) [234]. Мониторинг газовой фазы, позволил определить, что при использовании для очистки влажного скруббера из дымовых газов поглощается 50-70 % Ch^{Hg} [235]. Зачастую станции меньшей мощности не оборудованы такими эффективными системами сокращения выбросов. Отсутствие системы мониторинга и контроля загрязнения воздуха приводит к тому, что суммарная работа станций

меньшей мощности наносит больший вред ОС, чем крупные ТЭЦ.

Уловленные дымовые газы затем направляются на десульфуризацию. Технология данного процесса предусматривает сухую и влажную очистку дымовых газов. Если для данной стадии используются фильтры для сухой очистки, то в ОС поступают выбросы, содержащие следы Ch^{Hg} , а уловленная Ch^{Hg} направляется либо на переработку, либо на утилизацию. После влажной очистки дымовых газов образуются сточные воды, загрязненные Ch^{Hg} .

Также уголь используется в производстве кокса. Процесс карбонизации (нагрев в вакууме) протекает при высоких температурах примерно 1000°C в отсутствие воздуха, в результате чего Ch^{Hg} выбрасывается в газообразном виде в атмосферу [236]. Ртуть может поступать в атмосферу при загрузке и выгрузке угля и кокса. Образующиеся зольные остатки, загрязненные Ch^{Hg} , направляются на утилизацию. В результате карбонизации образуется кокс, загрязненный примесями, в том числе Ch^{Hg} , содержащейся ранее в угле, поэтому кокс направляют на очистку влажным способом с использованием различного оросительного оборудования, например, скруббера. При тушении кокса примеси, в частности Ch^{Hg} , удаляются из продукта в составе сточных вод, а очищенный кокс может направляться для использования в быту, в металлургических процессах или др.

Добыча и применение природного газа. Российская Федерация обладает крупнейшими запасами природного газа, так называемого «голубого топлива» [230]. Внутреннее энергообеспечение России покрывает более половины национальной потребности в энергии и тепле за счет использования природного газа, поэтому именно он является основным топливом для тепловых электростанций. В состав природного газа входят различные примеси, среди них следует выделить небольшое содержание Ch^{Hg} , которая мобилизуется в атмосферу в процессе добычи, переработки и применения природного газа. С использованием методологии функционального логико-информационного моделирования IDEF0 [231] были определены основные пути поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС в результате использования природного газа (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Основная контекстная диаграмма A0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch^{Hg} в объекты ОС при добыче и использовании газа

В процессе добычи природного газа основным путем поступления Ch^{Hg} в ОС являются выбросы в атмосферу. При добыче газа в открытом море иногда первичные процессы очистки газа осуществляются непосредственно на месте добычи, и в этих процессах может применяться вода, что приводит к образованию сточных вод, загрязненных Ch^{Hg} [232].

После добычи природный газ направляется на стадию очистки (рис. 5.7) на газогенераторные станции для удаления содержащихся в составе газа примесей, таких как Ch^{Hg} . Основная часть ртути, содержащаяся в сырьевом природном газе, обычно в процессе его очистки переходит в различные сточные воды или конденсаты. Большая часть Ch^{Hg} , содержащаяся в сырьевом природном газе, может быть удалена в ходе добычи и/или переработки. Поэтому природный газ можно рассматривать в целом, как чистое топливо, содержащее ртуть в очень небольших концентрациях.

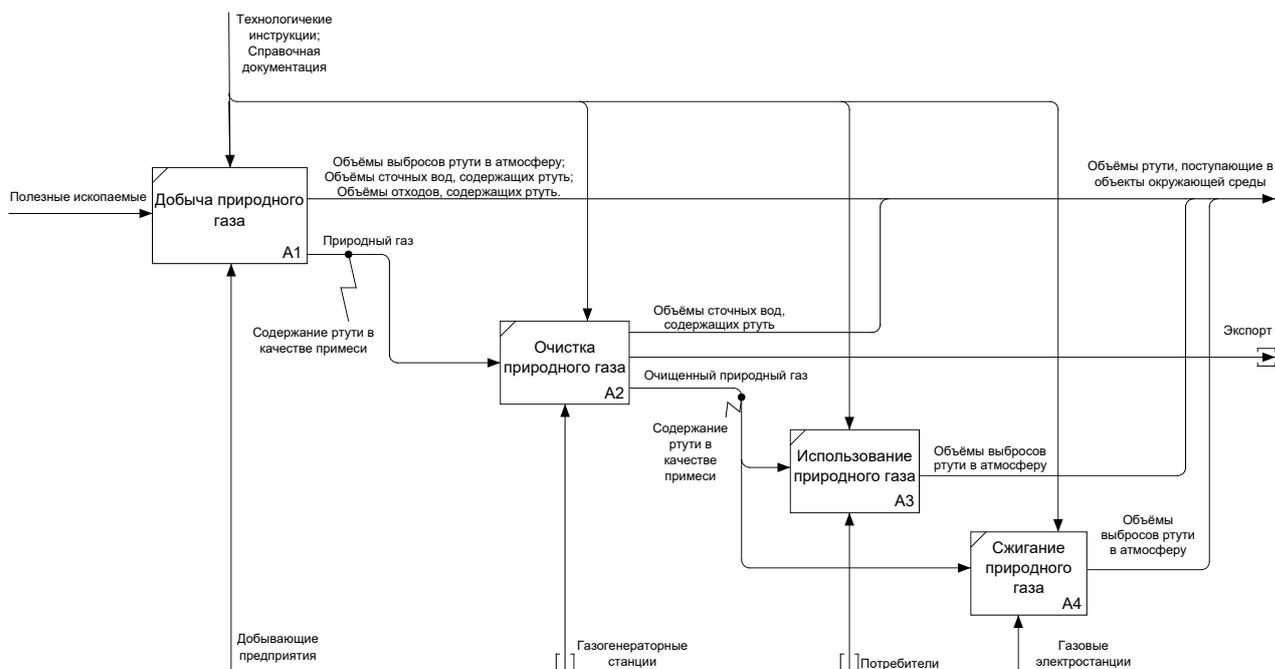


Рис. 5.7. Блок-схема ЛИМ функционального блока A0 для процессов мобилизации Ch^{Hg} в подсистеме ОС при добыче и использовании газа

На стадии сжигания природного газа, поскольку топливо подвергается воздействию высокотемпературного пламени, практически вся Ch^{Hg} , оставшаяся в природном газе, испаряется и выводится из печи вместе с продуктами сгорания через трубу, попадая в атмосферу. На газовых электростанциях и печах, работающих на природном газе, обычно не предусмотрена установка систем очистки дымовых газов, применение которых позволило бы снизить количество выбрасываемой Ch^{Hg} в ОС [232].

Кроме сжигания природных газ применяется для синтеза ХВ, производства полимеров и технической сажи (черного пигмента). В зависимости от применяемой технологии на промышленном объекте Ch^{Hg} может поступать в атмосферу, гидросферу и почву. Количество мобилизуемой Ch^{Hg} можно оценить, зная ее содержание в виде примеси в очищенном природном газе.

Добыча и применение нефтяного топлива. РФ входит в тройку лидеров по величине экспортируемой нефти. В настоящее время на рынке нефти и нефтепродуктов в РФ доминирующее положение занимают девять вертикально-интегрированных нефтяных компаний [237], которые осуществляют добычу и переработку нефти, а также реализацию нефтепродуктов [189]. Нефть представляет собой многокомпонентное сырье, установлено, что в ее составе в виде

примеси находится Ch^{Hg} , которая мобилизуется в атмосферу в процессе добычи, переработки и применения нефти [230]. С использованием методологии функционального логико-информационного моделирования IDEF0 определены основные пути поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС при использовании нефтяного топлива для различных целей (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Основная контекстная диаграмма A0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании нефти

При добыче нефти значительная часть Ch^{Hg} выбрасывается в атмосферу, поэтому выбросам этого сектора в последнее время уделяется всевозрастающее внимание. Ch^{Hg} может поступать также в почву или гидросферу в составе пластовых вод и буровых растворов. Затем сырая нефть поступает на переработку, в результате которой производят нефтепродукты, содержащие Ch^{Hg} в виде примеси [232]. Основным продуктом нефтепереработки, безусловно, является жидкое топливо (занимает более 50 % от общего объема продукции, производимой из нефти во всем мире). На стадии переработки нефти Ch^{Hg} также поступает в атмосферу, гидросферу и содержится в отходах (побочных продуктах переработки нефти) (рис. 5.9).

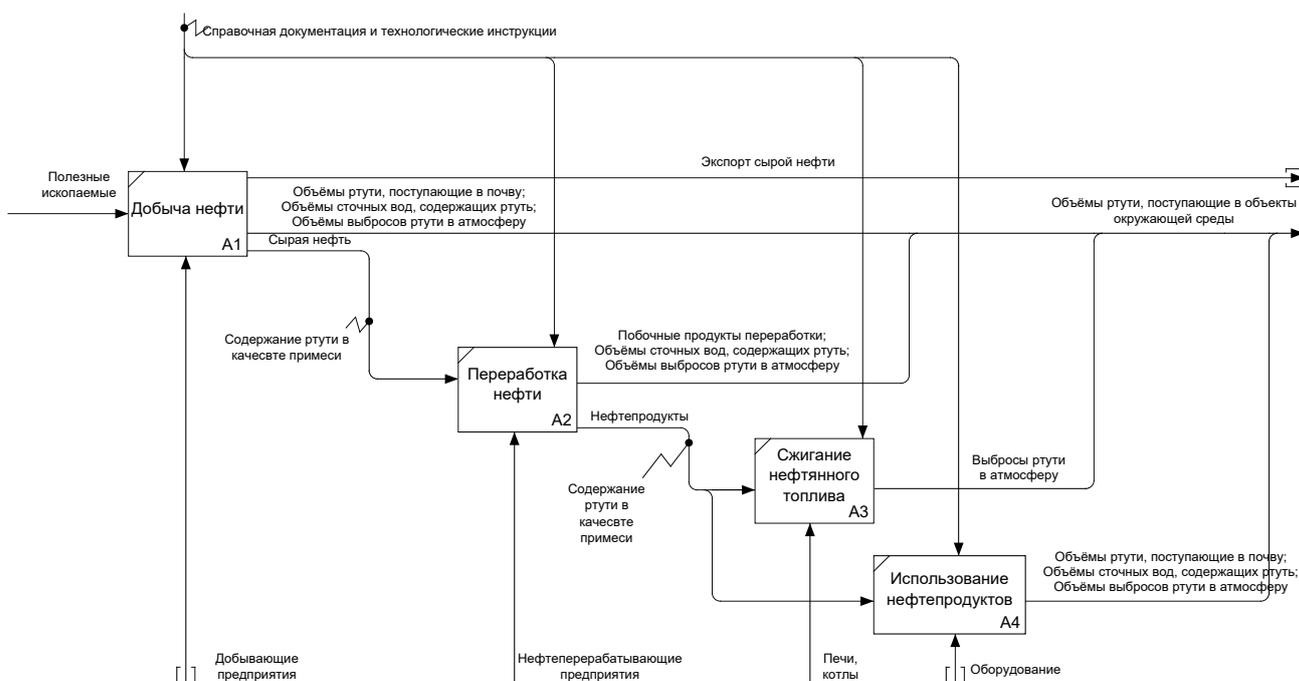


Рис. 5.9. Блок-схема ЛИМ процессов мобилизации Ch^{Hg} в ОС при использовании нефти

Нефтепродукты в зависимости от целей их применения направляются на сжигание или иное использование, например, производство пластмассы, производство синтетических тканей, резины, каучука и др. [238]. При сжигании нефтепродуктов в печах, котлах и других установках Ch^{Hg} выбрасывается, главным образом, в атмосферу. Как правило, только крупные установки сжигания, предназначенные для работы с нефтью, оборудуются системами снижения выбросов, которые работают в условиях, способствующих окислению Ch^{Hg} , содержащейся в дымовых газах, или иным образом рассчитанные на улавливание Ch^{Hg} [232].

При использовании нефтепродуктов для иных целей в зависимости от применяющейся технологии и наличия очистных систем Ch^{Hg} может поступать в атмосферу, гидросферу или почву. Количество высвободившейся ртути будет напрямую зависеть от ее начального содержания в нефтепродуктах и способах снижения воздействия на ОС, предусмотренными промышленными объектами.

5.2.2. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений при извлечении металлов

К одним из основных источников поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС яв-

ляется производство цветных металлов. С использованием методологии функционального логико-информационного моделирования IDEF0 были определены основные пути мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС на примере производства цинка (рис. 5.10).

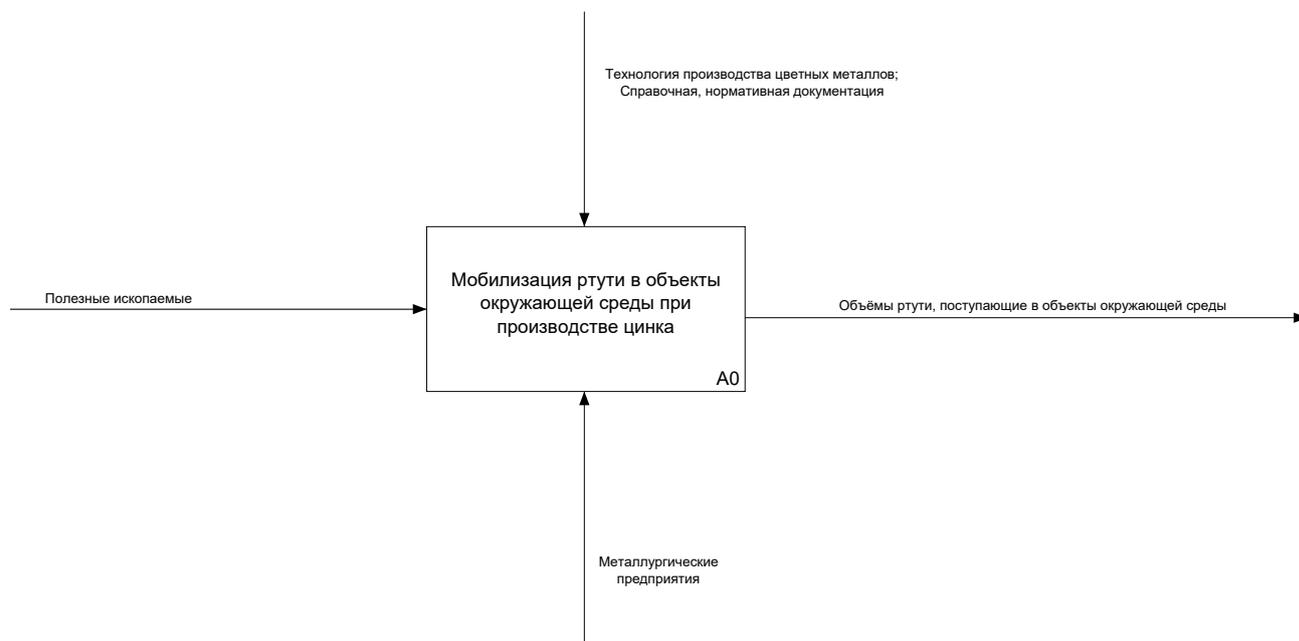


Рис. 5.10. Основная контекстная диаграмма A0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании металлов на примере цинка

Руда, добываемая из открытых рудников или карьеров для извлечения цинка, может содержать незначительное количество Ch^{Hg} в своем составе. В ходе выделения цинка из руды используются процессы, при которых происходит выброс Ch^{Hg} из скальной породы. Важно отметить, что на стадии добычи руды не вся добытое сырье направляется на дальнейшую переработку, пустые породы (с низким содержанием металла) или забракованная руда (непригодная для переработки), содержащие в своем составе Ch^{Hg} , засыпаются обратно в рудники. Данный материал больше подвержен воздействию воздуха и атмосферных осадков, чем первичные отложения, что приводит к рискам мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС [232].

Первичное производство цинка включает следующие основные процессы: концентрация цинковой руды, окисление (обжиг или агломерация) цинкового концентрата, производство цинка (с помощью электрохимического или термического процессов), а также рафинирование цинка (рис. 5.11) [232]. В за-

зависимости от применяемой технологии извлечения металла из природного сырья Ch^{Hg} может испаряться и выбрасываться вместе с другими газами в атмосферу или же при применении влажной обработки сырья мобилизоваться в составе сточных вод в водные объекты.

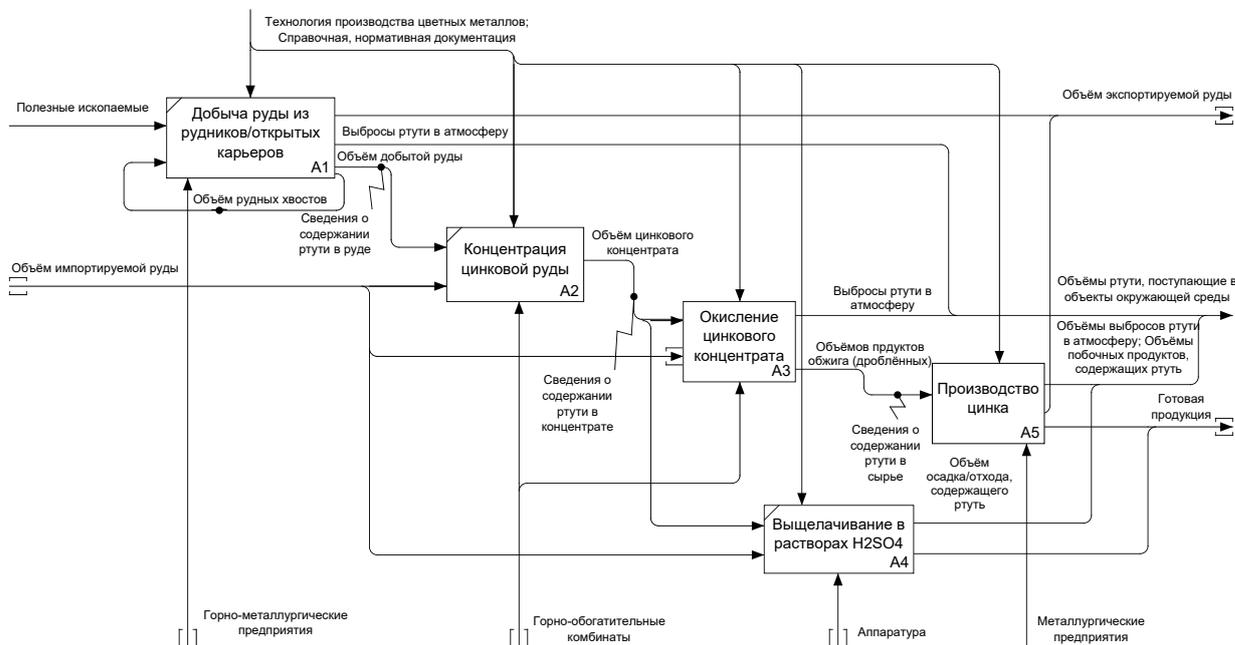


Рис. 5.11. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 процесса добычи и переработки цинка

Производство первичного цинка часто сопровождается производством серной кислоты с помощью стандартных процессов. На стадии концентрирования цинковой руды на горно-обогатительных комбинатах получают цинковый концентрат, содержащий в своем составе примеси Ch^{Hg} , который затем поступает на стадию окисления для удаления большей части серы или выщелачивания в растворе серной кислоты [239].

Окисление цинкового концентрата может проходить различными процессами: обжигом или агломерацией (рис. 5.12). Агломерация требует добавления топлива (нефти или природного газа), которое следует рассматривать в качестве источника незначительных дополнительных факторов входа ртути, тогда как при обжиге вырабатывается энергия (путем окисления серы) и не требуется добавления топлива. В результате осуществления одного из этих процессов, которые протекают под действием высоких температур, ртуть испаряется и вместе с выбросами мобилизуется в атмосферу. Если производственная установка

оборудована установкой производства серной кислоты, большая часть ртути изначально поступает с потоком газа на кислотную станцию. Обожженный материал направляется на дробление, что приводит к образованию пыли, содержащей Ch^{Hg} в качестве примеси, поэтому эту пыль направляют на очистку с использованием фильтров. Такая удержанная пыль часто возвращается обратно в процесс, тем самым удержанная Ch^{Hg} повторно вводится в поток материалов и могут происходить выбросы в ОС. Или же уловленная Ch^{Hg} может быть продана в виде «хлористой ртути» (Hg_2Cl_2) для извлечения металлической ртути где-либо еще в другом месте, или готовой металлической ртути на месте эксплуатации, или она может храниться или утилизироваться в виде твердых или шламовых остатков. Если для очистки пыли используются влажный способ, то образуется сточная вода, содержащая Ch^{Hg} , в результате чего требуется ее обработка для изоляции Ch^{Hg} и других опасных компонентов для сброса сточной воды [232].

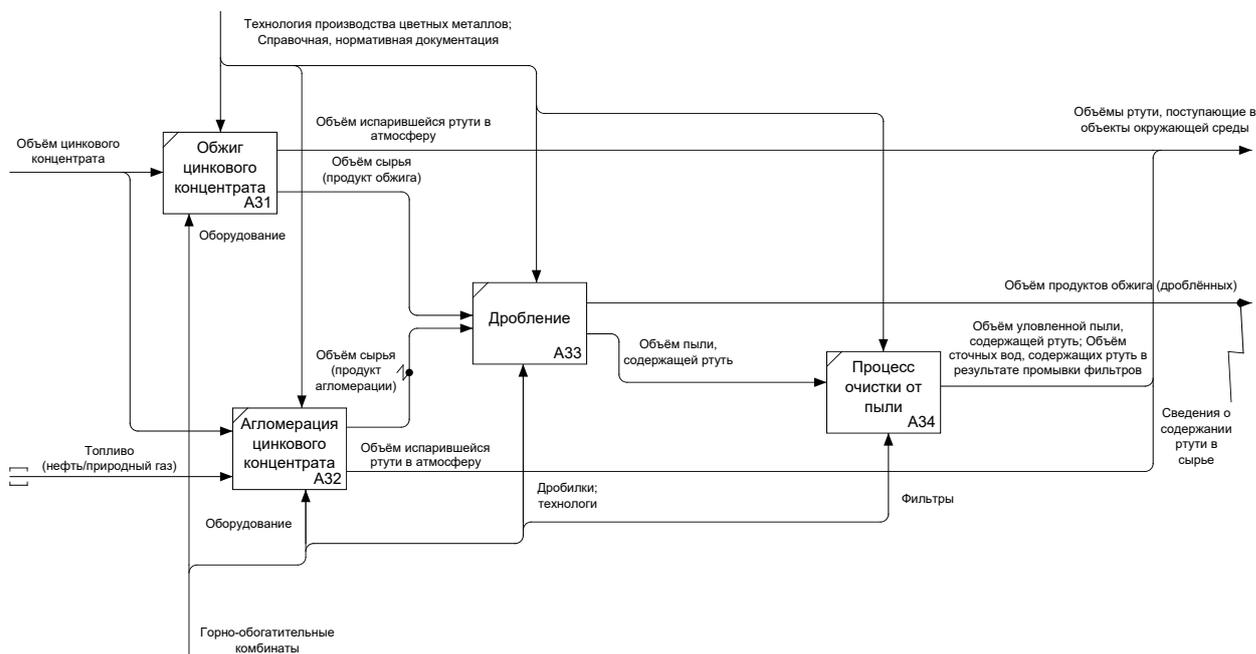


Рис. 5.12. Блок-схема ЛИМ функционального блока АЗ «Окисление цинкового концентрата»

После стадии окисления дробленый обожженный материал поступает в плавильную печь для выделения цинка, процесс плавки протекает при высоких температурах (рис. 5.13). Если цинковая плавильная печь не оборудована ни этапом удаления Ch^{Hg} , ни установкой по производству серной кислоты, то значительные части будут выделяться в атмосферу. Если же производственная

установка оборудована производством серной кислоты, то отработанные газы направляются на вход установки по производству серной кислоты. После плавильной печи испарившийся цинк, содержащий следы Ch^{Hg} , направляется на стадию конденсации цинка, позволяющую извлечь содержащиеся в цинке примеси, с данной стадии часть Ch^{Hg} мобилизуется в атмосферу. Затем расплавленный цинк направляется на охлаждение, а после на рафинирование – конечную стадию производства цинка, результатом которой является получение очищенного цинка [239], направляемого на экспорт или на иные цели его применения.

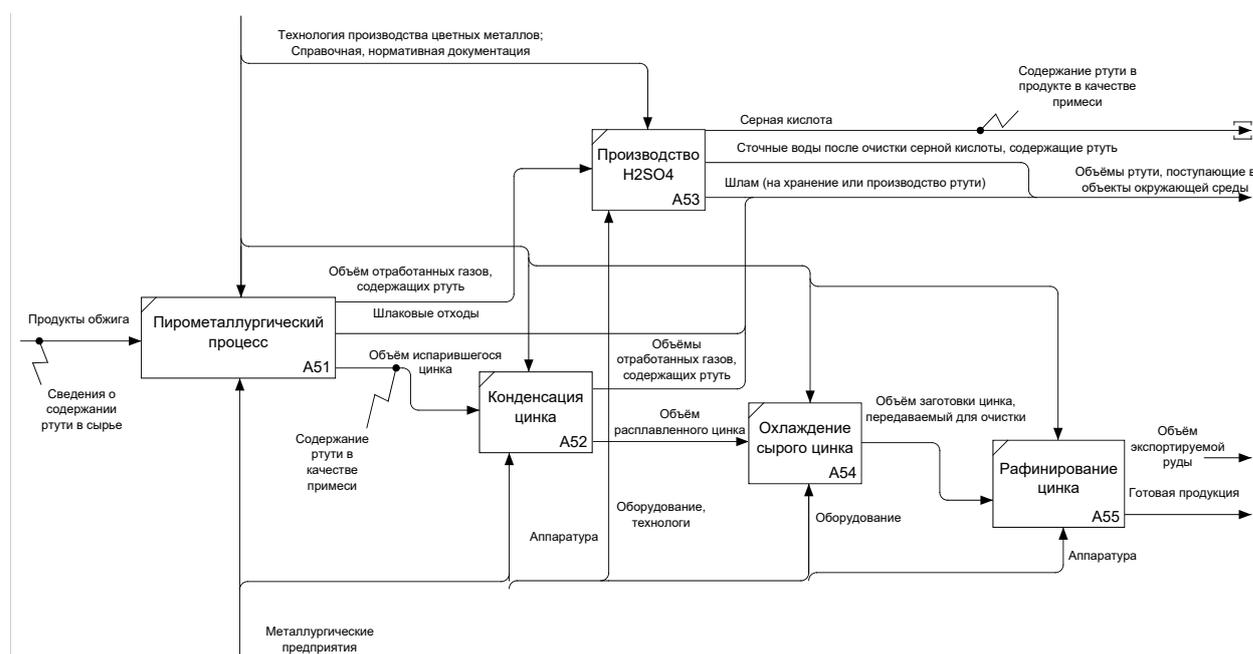


Рис. 5.13. Блок-схема ЛИМ функционального блока А5 «Производство цинка»

Один способ добычи, называемый «прямое выщелачивание», не включает в себя первоначальный обжиг или агломерацию. Здесь продукт обогащения направляется непосредственно к выщелачиванию в растворах серной кислоты. В данном процессе содержание Ch^{Hg} в продуктах обогащения не испаряется, но выпадает в осадок вместе со шламом на этапах выщелачивания и очистки, а также в сточные воды, сбрасываемые в водный объект [232].

5.2.3. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений в результате ее использования в промышленных процессах производств

При производстве щелочи на хлор-щелочном производстве в зависимо-

сти от технологии применяются два метода получения целевого продукта. Первый из них устаревший, но не потерявший своего распространения в мире – это производство с использованием ртутного электролиза. Вторым методом, получившим свое признание в мире и на многих производствах заменяющим первый, – это производство щелочей с использованием мембранного и диафрагменного процессов [232]. Доля производства этими двумя методами различается в разных странах. Многие державы стремятся создавать новые производства без использования Ch^{Hg} с целью минимизации негативного воздействия этого загрязнителя на ОС и здоровье человека, однако, в некоторых странах по-прежнему упор делается на метод ртутного электролиза, не смотря на мобилизацию Ch^{Hg} в подсистеме Ch^{Hg} . С использованием методологии функционального моделирования IDEF0 были определены основные пути мобилизации Ch^{Hg} при производстве щелочи (рис. 5.14).

Каустическую соду, хлор и водород получают методом электролиза водного раствора поваренной соли в горизонтальных ваннах с ртутным катодом. Ртутный электролиз осуществляется с использованием электролизера, разлагателя, а также различного оборудования для очистки отходящих газов. Ванна состоит из электролизера, разлагателя амальгамы и ртутного насоса. Ртуть в этом процессе является промежуточным агентом и служит для переноса образующейся щелочи из электролизера в разлагатель, что обеспечивает возможность получения ее концентрированного раствора с минимальной примесью хлорида. Это преимущество ртутного метода перед диафрагменным и даже мембранным оправдывает его применение, несмотря на связанные с ним экологические проблемы.

Электролизер представляет собой кювету, закрытую боковыми панелями, в нем находятся электролитические ячейки, которые соединены последовательно. В электролизер загружается приблизительно 3,6 тонн ртути. Электролизер и разлагатель соединены входной и выходной камерами [240]. В электролизёре под действием электрического тока соль (либо KCl , либо NaCl) разлагается до газообразного хлора и амальгамы либо K-Hg , либо Na-Hg .

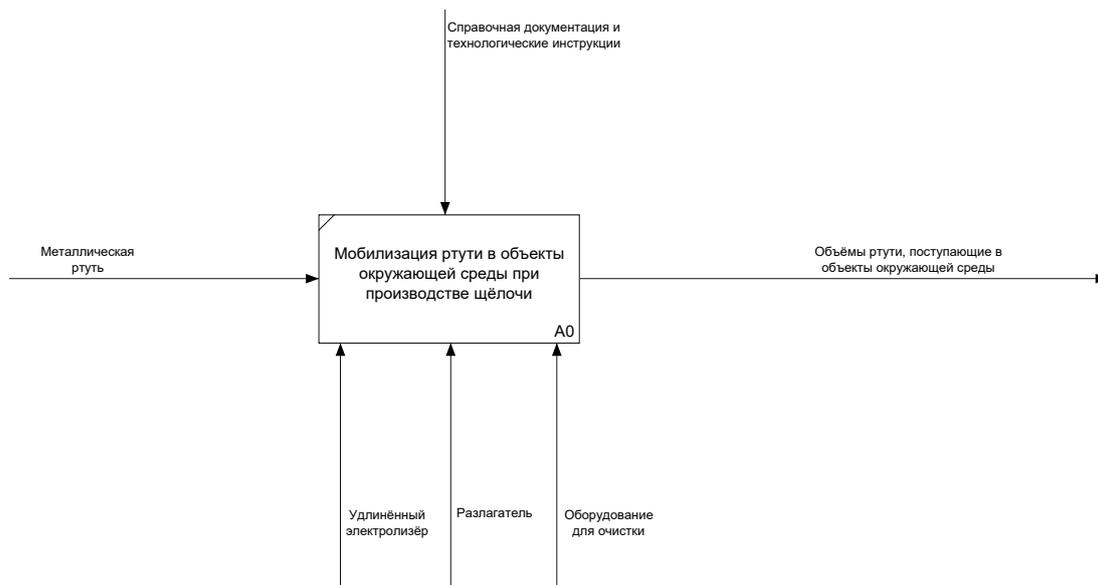


Рис. 5.14. Основная контекстная диаграмма A0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов поступления Ch^{Hg} в ОС в результате ее использования в промышленных процессах на примере хлор-щелочного производства

Хлор отдувается из электролизера для дальнейшей очистки от содержащейся в качестве примеси Ch^{Hg} , тогда как водород и амальгама калия или натрия проходят в разлагатель. Периодически из электролизера необходимо извлекать накопившийся шлам, содержащий следы Ch^{Hg} , это в свою очередь способствует мобилизации части Ch^{Hg} в почву (рис. 5.15).

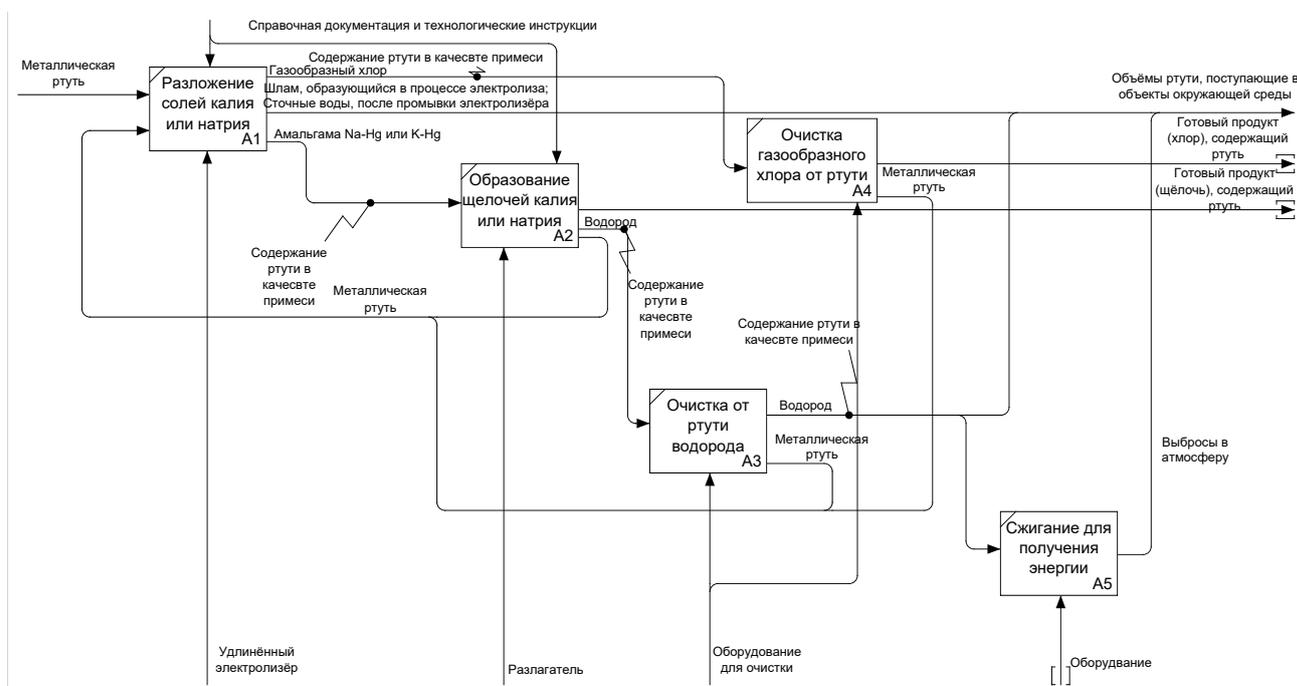


Рис. 5.15. Блок-схема ЛИМ функционального блока A0 «Мобилизация Ch^{Hg} при получении каустической соды, хлора и водород методом электролиза»

Хотя поток Ch^{Hg} из электролизера невелик по своим объем, его следует

отметить как один из путей поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС.

В заключение необходимо отметить, что на настоящий момент разработаны и нашли свое применение методы, позволяющие выделять металлическую ртуть из шлама. Ртуть поступает в водные объекты в составе сточных вод, образующихся в результате промывки электролизёра [232].

Для этого применяют наиболее дешёвый, но не менее эффективный способ, который удаляет до 90 % Ch^{Hg} в водороде, - охлаждение. После процесса охлаждения Ch^{Hg} необходимо уловить, для этого на практике используются различные методы. Могут быть использованы: брызгоулавливатели, скрубберы, а также адсорбция на активированном угле, молекулярных ситах или абсорбция.

5.2.4. Логико-информационная модель процесса поступления в окружающую среду ртути и ее соединений из промышленных и бытовых приборов

Производство ртутьсодержащих бытовых и технических приборов (термометры, манометры и т.д.) (рис. 5.16) в настоящее время практически полностью автоматизировано. Автоматизация производства позволяет сократить вероятность утечек Ch^{Hg} в подсистемы ОС через выбросы загрязняющих веществ, сброс сточных вод или захоронение бытовых отходов. На некоторых этапах, таких как очистка, перемещение, заполнение Ch^{Hg} и процессы обогрева, которые зачастую выполняются вручную, возможна мобилизация Ch^{Hg} в подсистемы ОС. Еще одним фактором высвобождения Ch^{Hg} является бой готовой продукции, содержащей Ch^{Hg} . Безусловно, на предприятиях создаются все условия для минимизации негативного влияния на подсистемы ОС, например, понижают температуру при производстве, чтобы уменьшить давление паров, применяют местную и общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию и др.

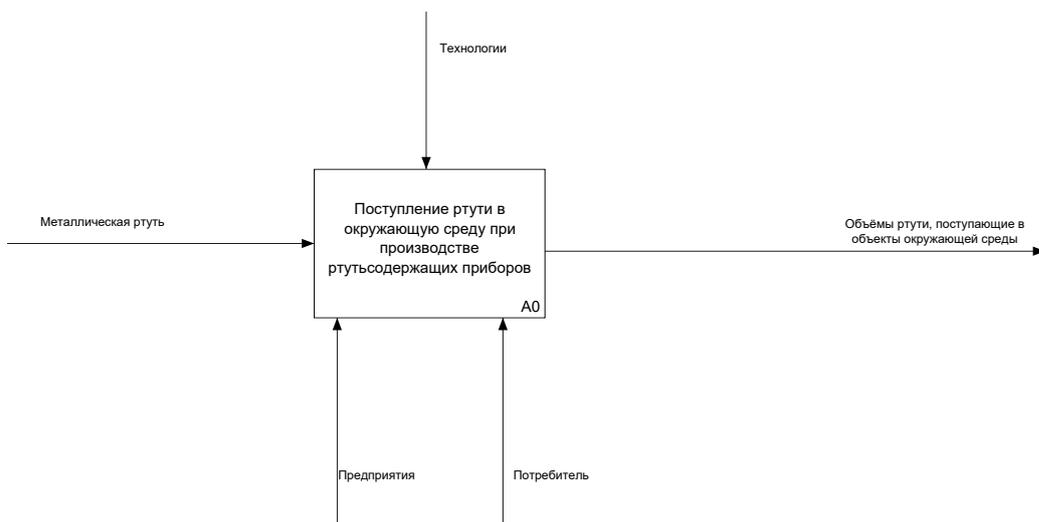


Рис. 5.16. Основная контекстная диаграмма A0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов поступления Ch^{Hg} в ОС при производстве ртутьсодержащих приборов (термометры, манометры и т.д.)

Ch^{Hg} мобилизуется в объекты ОС при неправильном использовании и хранении ртутьсодержащих приборов, что может привести к бою приборов и как следствие неправильному сбору разлитой ртути (рис. 5.17).

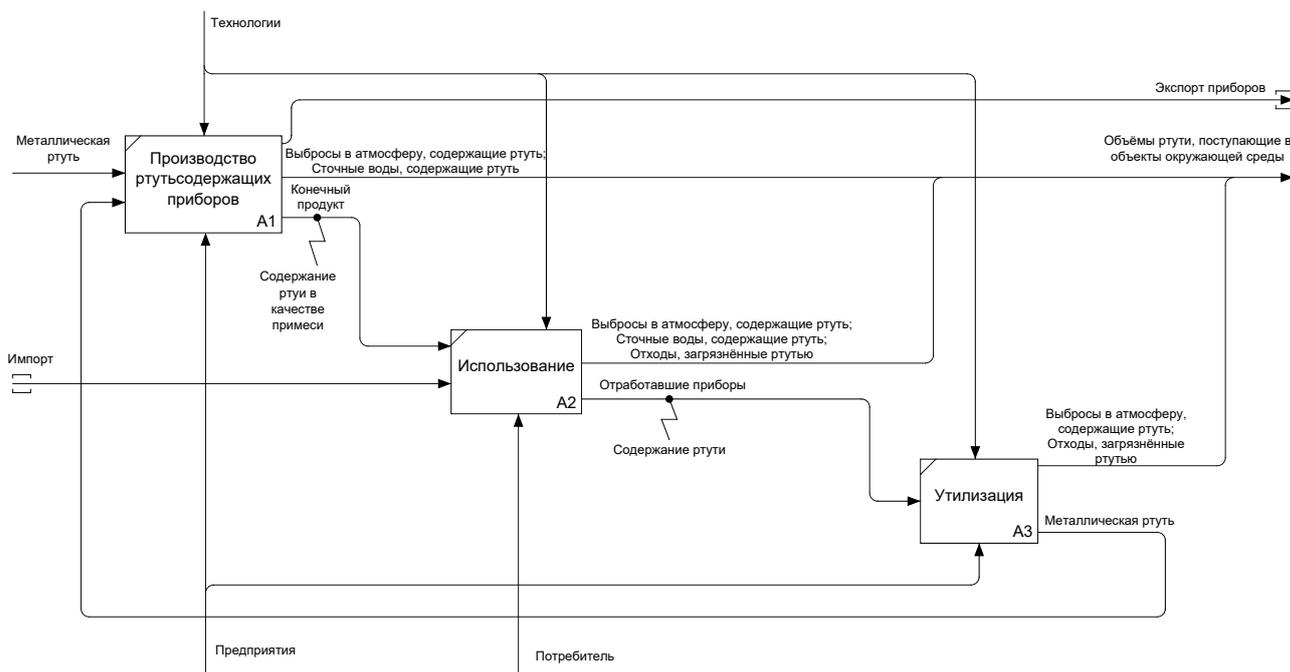


Рис. 5.17. Блок-схема ЛИМ функционального блока A0 процесса мобилизации Ch^{Hg} при производстве и использовании ртутьсодержащих приборов

На стадии утилизации большое количество Ch^{Hg} высвобождается в подсистемы ОС. Отработавшие свой срок бытовые приборы (градусники, тонометры, аккумуляторные батареи) и люминесцентные лампы выбрасываются вместе с другими коммунальными отходами в общие уличные контейнеры для мусора,

в результате этого Ch^{Hg} может попадать в почву и грунтовые воды [241]. Немалая часть отходов, содержащих Ch^{Hg} , не направляется для переработки и/или утилизации на специализированные предприятия, а могут быть размещены в несанкционированных местах или направлены на сжигание. Важно учитывать возможность сброса сточных вод, содержащих Ch^{Hg} , без предварительной их очистки [241]. Все это приводит к негативному ВОС. При правильной утилизации и извлечению ртути, она может быть использована в качестве сырья для производства приборов или иных задач.

5.3. Методика поиска, обработки и визуализации информации о фактическом содержании в подсистемах окружающей среды ртути и ее соединений.

Для оценки достоверности результатов ОВОС ртути и ее соединений, в части моделирования распространения Ch^{Hg} в подсистемах ОС, были собраны данные о реальном содержании Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС. Наиболее часто встречаются загрязнённые Ch^{Hg} водные объекты (средняя концентрация в воде в ряде регионов европейской территории страны составляет 0,15 мкг/л), максимальная средняя концентрация выявлена в Ростовской области и составляет 0,43 мкг/л, что ниже установленного гигиенического норматива.

Концентрация Ch^{Hg} в воде океана – 0,4 нг/л [242]. Однако существуют и другие данные, например, 2 нг/л [243], или 30-50 нг/л [250]. Ch^{Hg} обнаруживается в Северном Каспии, однако ее концентрация не превышает ПДК (0,1 мкг/л [244]), при этом отмечается тенденция постепенного роста ее содержания в воде. Среднее содержание Ch^{Hg} в водах Кандалакшского залива в торговом порту г. Кандалакша составляет 0,02 мкг/л. В марте 2014 г. (рис. 5.18) в водах порта отмечалось экстремально высокое загрязнение $\text{Ch}^{\text{Hg}} = 1,17$ мкг/л (11,7 ПДК), что более чем в два раза превышает критерии экстремально высокого загрязнения [162].

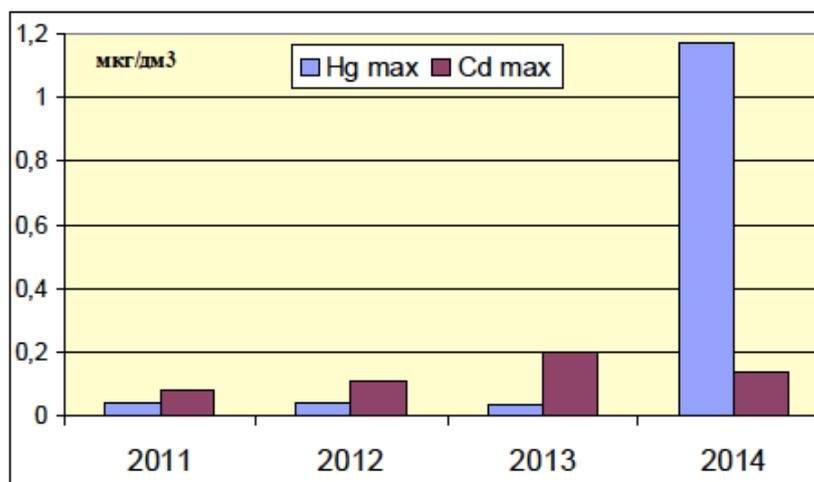


Рис. 5.18. Максимальные концентрации Ch^{Hg} и кадмия (мкг/дм³) в водах водпоста г. Мурманска

В заливе Петра Великого среднегодовое содержание металлов не превышает ПДК. Однако максимально-разовые концентрации Ch^{Hg} в бухтах могут значительно превышать ПДК (табл. 5.1).

Таблица 5.1.

Средняя и максимальная концентрация Ch^{Hg} (мкг/дм³) и средняя и максимальная (в ПДК) в прибрежных водах залива Петра Великого в 2014 г.

Прибрежные воды залива Петра Великого	Концентрации, мкг/л		По отношению к ПДК	
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная
Амурский залив	0,01	0,06	0,1	0,6
Бухта Золотой Рог	0,02	0,34	0,2	3,4
Пролив Босфор Восточный	0,02	0,40	0,2	4,0
Бухта Диомид	0,05	0,49	0,5	5,0
Уссурийский залив	0,03	0,20	0,3	2,0
Залив Находка	0,05	0,47	0,5	4,7

Кроме того, отмечается высокая концентрация Ch^{Hg} в донных отложениях прибрежных районов залива Петра Великого Ch^{Hg} . Аналогично морской воде донные отложения значительно загрязнены Ch^{Hg} вблизи города Владивостока (табл. 5.2). В 2014 г. качество вод различных участков залива Петра Великого сильно отличалось. Ch^{Hg} является приоритетным загрязняющим веществом для этого региона. Бухта Золотой Рог и прилегающие к ней участки акватории остаются одной из самых загрязненных на всем шельфе РФ. Состояние вод и донных отложений характеризуется как кризисное. Это связано с постоянным по-

ступлением в море большого объема сточных и ливневых вод, приносящих значительное количество антропогенных загрязняющих веществ.

Таблица 5.2.

Средняя и максимальная концентрация Ch^{Hg} (мкг/г и ДК) в донных отложениях прибрежных районов залива Петра Великого в 2014 г.

Прибрежные воды залива Петра Великого	Концентрации, мкг/г		По отношению к ДК	
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная
Амурский залив	0,11	0,42	0,36	1,4
Бухта Золотой Рог	0,79	1,50	2,6	5,0
Пролив Босфор Восточный	0,30	0,60	1,0	2,0
Бухта Диомид	0,43	0,94	1,4	3,1
Уссурийский залив	0,04	0,08	< 0,1	0,3
Залив Находка	0,10	0,47	0,33	1,56

По сравнению с бухтами Золотой Рог и Диомид качество вод других прибрежных районов залива Петра Великого оценивается как удовлетворительное [162].

На территории России, по данным государственного мониторинга состояния недр на 458 участках одним из основных загрязняющих подземные воды веществ является Ch^{Hg} .

Присутствие Ch^{Hg} в воде реки Катунь объясняется тем, что к бассейну реки Катунь примыкают Курайская и Сарасинская ртутно-рудные зоны, составляя довольно значительный процент площади его водосбора [245]. Значительный вклад в загрязнение Ch^{Hg} реки Северная Двина вносят сточные воды промышленных предприятий и бытовых стоков [246]. В 2014 г. по результатам исследования экологической обстановки на Кольском полуострове было зарегистрировано 11 случаев высокого и 15 случаев экстремально высокого загрязнений малых рек, в которых наблюдается превышение по содержанию Ch^{Hg} [197].

На рис. 5.19 представлены данные о концентрации Ch^{Hg} в объектах гидросферы по результатам проведенных измерений.



Рис. 5.19. Карта оценка загрязнения гидросферы

Для оценки загрязнения Ch^{Hg} подсистем ОС и визуализации данных используются ГИС (программа ArcGIS), в которую вводятся данные о выявленных концентрациях Ch^{Hg} . При нанесении данных на карту используется правило светофора. Зелёным цветом обозначены территории, на которых концентрация ртути не превышает значения ПДК. Желтым и оранжевым цветом обозначены участки, в которых концентрация ртути близка к значению ПДК. Красным цветом обозначены территории, на которых концентрация выявленной ртути превышает значения ПДК в 2 и более раз. На рис. 5.20 представлены выборочные результаты оценки загрязнения Ch^{Hg} поверхностных объектов гидросферы в РФ.

Средний уровень Ch^{Hg} в донных отложениях и в почвах водосборных площадей континентальных озер Сибири близок к фоновому значению, установленному для почв мира и донных отложений. Загрязнение Ch^{Hg} в изученных озерных экосистемах носит локальный характер [247].

Кларк ртути в земной коре невысок и составляет 20-90 мкг/кг, в осадочных породах – 50 мкг/кг, но в глинистых отложениях – 200-400 мкг/кг. Больше

ртути содержат кислые изверженные породы (30-80 мкг/кг) [248,249,250].

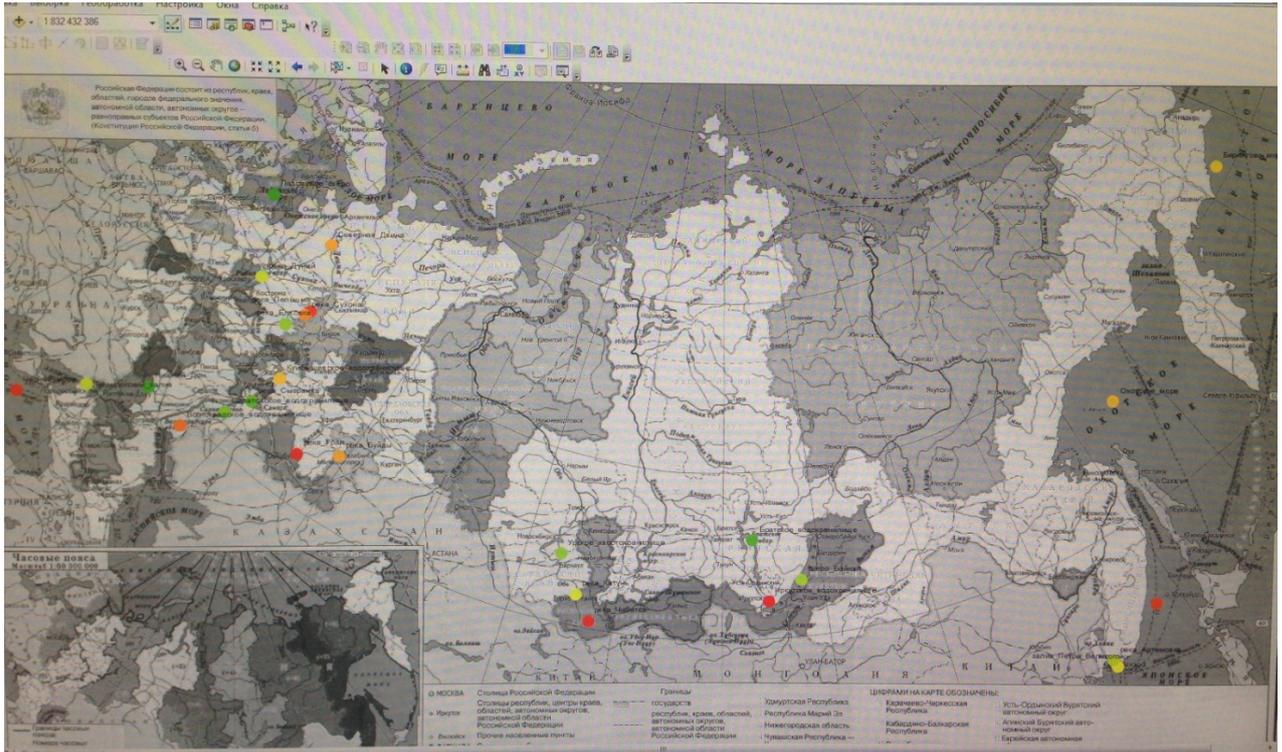


Рис. 5.20. Карта оценки загрязнения гидросферы

Среднее загрязнение ртутью почвы в мире составляет 0,05 мг/кг, для донного ила 0,07 мг/кг [251]. Результаты анализа загрязнения почвы для отдельных объектов представлены на рис. 5.21.

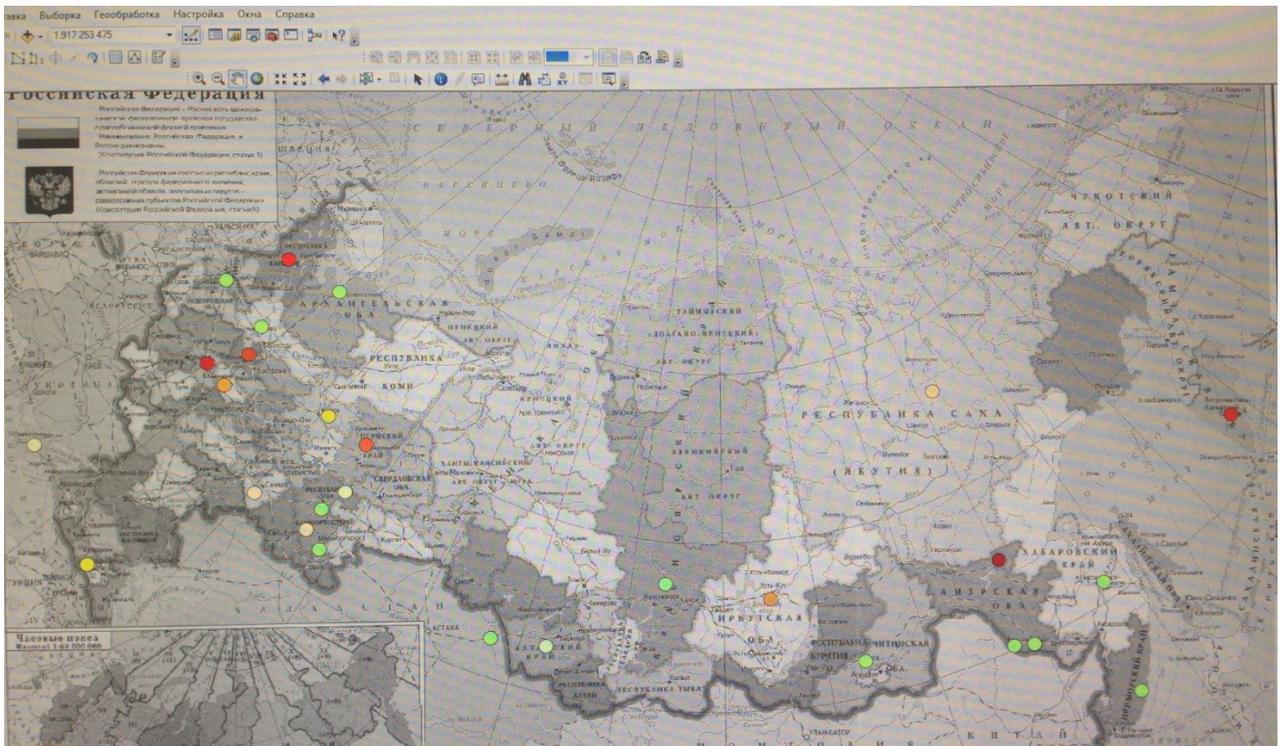


Рис. 5.21. Карта оценки загрязнения почвы для отдельных объектов в РФ

Для почвы были выявлены территории с превышающей значение ПДК

концентрацией Ch^{Hg} : Усольский промышленный район, Москва, Камчатский край и Ярославская область.

Загрязнение Усольского района характеризуется тем, что на «Усольехимпроме» с 1970 г. использовалась Ch^{Hg} в процессе ртутного электролиза каустической соды. В 1998 г. цех ртутного электролиза был закрыт как нерентабельный, но под промплощадкой завода образовалось озеро из ртути в объеме около 600 т. Это ХП основной поставщик Ch^{Hg} в подсистемы ОС прилегающей к нему территории и цепь водоемов Ангарского каскада (через сточные воды, поверхностный и подземный сток), причем на его долю приходится около четверти эмиссии техногенной Ch^{Hg} в Сибири [252].

Фоновое содержание Ch^{Hg} в почве г. Челябинска – 0,02 мг/кг. Значение фактической концентрации Ch^{Hg} в районах города по измерениям 2014 г. превышало фоновую концентрацию в Курчатовском (в 2,0 раза), Советском и Калининском (в 3,0 раза), Тракторозаводском и Metallургическом (в 5 раз), Ленинском (в 1,5 раза), Центральном (в 2,5 раза) районах и в целом по городу (в 3,0 раза). Однако уровень загрязнения почвы Ch^{Hg} во всех районах г. Челябинска в санитарно-химическом отношении имел допустимую категорию [253].

Повышенное содержание Ch^{Hg} в атмосферном воздухе встречается в девяти субъектах РФ. Для атмосферы превышающие значение ПДК концентрации Ch^{Hg} выявлены в Москве, на Камчатском крае, во Владимирской, Иркутской и Ярославской областях. Фоновое содержание Ch^{Hg} в атмосферном воздухе Северного полушария составляет около 3 нг/м³ (над Европой и Сев. Америкой) и около 2 нг/м³ над Атлантикой. В Южном полушарии атмосферный фон Ch^{Hg} заметно ниже – 1,3 нг/м³, что отражает влияние антропогенных потоков Ch^{Hg} . 90 % атмосферной ртути представлено парами Hg^0 , а остальное, по-видимому, это Hg^{2+} и метилртуть [254]. Фоновое содержание метилртути в атмосфере колеблется в диапазоне от 0,005 до 1,3 нг/м³ [250,254]. В живых организмах содержание Ch^{Hg} обнаружено в 18 регионах.

Для визуализации и оценки наличия данных о содержании Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС и наличии ртутного загрязнения на уровне субъектов

РФ с использованием ГИС, применялся карт, представленный на рис. 5.22-5.24.



Рис. 5.22. Карта распределения Ch^{Hg} в атмосфере

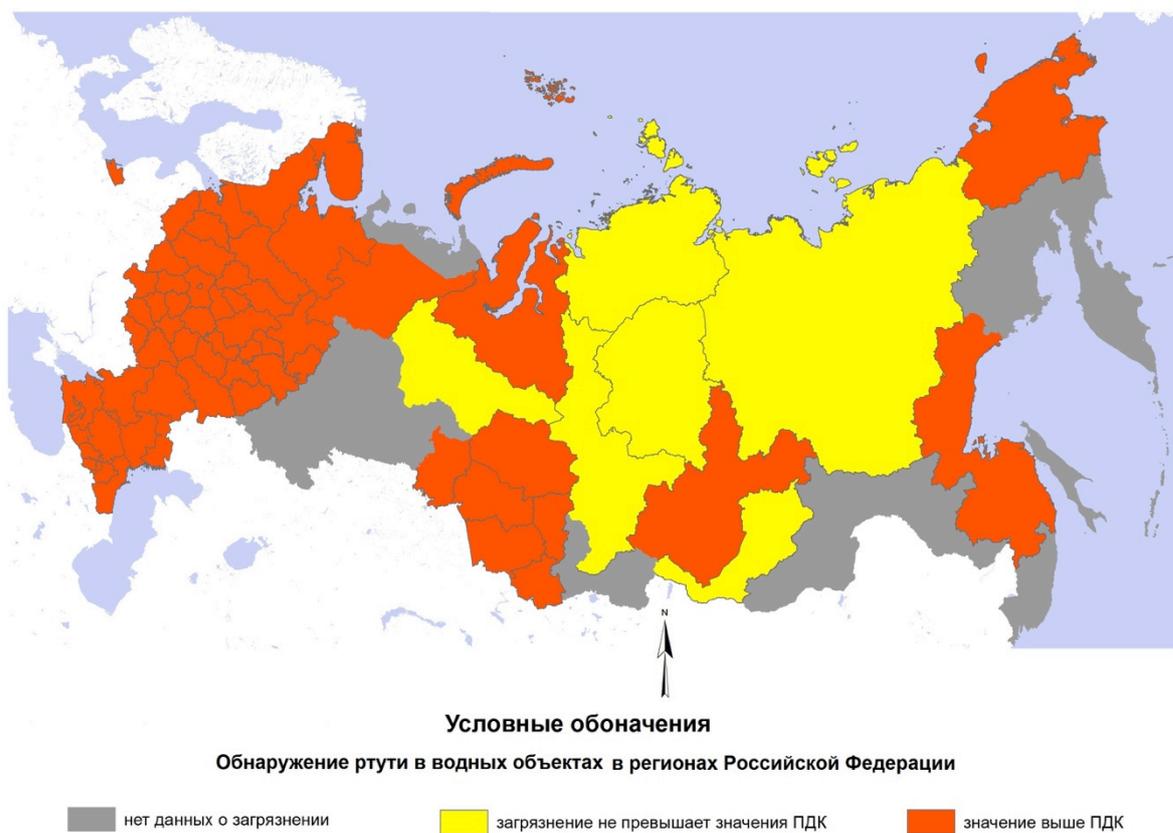


Рис. 5.23. Карта распределения Ch^{Hg} в гидросфере

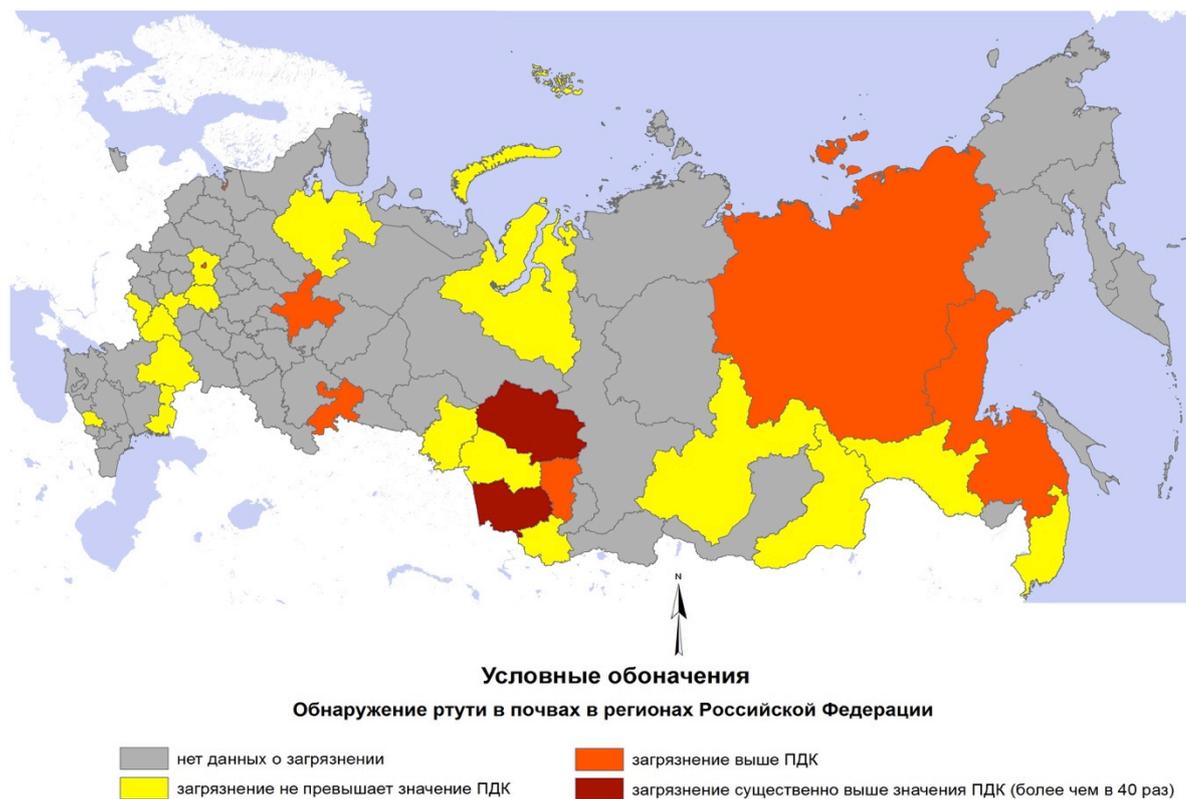


Рис. 5.24. Карта распределения Ch^{Hg} в почве

По результатам анализа имеющихся в открытом доступе результатов фактических измерений было собрано более четырехсот данных о содержании Ch^{Hg} в подсистемах ОС. Сведения о существующем загрязнении территории Российской Федерации представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3.

Загрязнение регионов России Ch^{Hg}

Регион	Координаты места отбора пробы	Количество ртути в пробе	Год	Источник
Алтайский край	52°25'50" с. ш. 84°59'00" в. д., устье р. Катунь	0,09 мкг/л max 0,18	1994	[255]
Архангельская область	62°33'34" с.ш. 40°35'42" в.д., пос. Пуксозеро	0,21 мг/кг	2005	[256]
Владимирская область	56°24'48" с.ш. 42°20'17" в.д., Светленькое оз.	0,26 мг/кг	2006	[256]
Воронежская область	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный запо- ведник (черви)	0,632 мг/кг	2004	[257]
Иркутская об- ласть	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохрани- лище	0,07 мкг/л	2007	[258]

Регион	Координаты места отбора пробы	Количество ртути в пробе	Год	Источник
Республика Карелия	66°11'52" с.ш., 34°2'26" в.д., Жемчужное озеро	0,37 мг/кг	2005	[256]
Кемеровская область	54°27'11" с.ш. 85°23'53" в.д., пос. Урск, источник: Урское золоторудное месторождение	0,16 мг/кг, max 0,23	2008	[255]
г. Москва	Пролетарский пр. – Каширское шоссе	120 мкг/кг	2006	[259]
Новгородская область	59°16'24" с.ш., 31°54'52" в.д., Глубокое озеро	0,20 мг/кг	2006	[256]
Приморский край	43°09'38" с. ш., 131°54'21" в. д., устье р. Вторая речка, поверхностный слой донных осадков	0,305 мг/кг	2005-2010	[260]
Псковская область	58°38'29" с.ш. ,27°37'27" в.д. , Чудское озеро	0.34 мг/кг	2005	256]
г. Санкт-Петербург	Кронштадтский р-он 60°0'47" с.ш. 29°42'52" в.д.	0,299 мг/кг	1997-1998	[261]
Томская область	56°45'53" с.ш. 87°2'17" в.д. Зырянский р-он	100 мг/кг	2009	[262]
Челябинская область	г. Магнитогорск, Правобережный район	11,5 мг/кг	1999-2005	[263]
Ярославская область	57°9'20" с.ш. , 39°25'43" в.д. , Неро озеро	0.09 мг/кг	2004	[256]
Камчатский край	55°55'41" с.ш., 158°42'27" в.д., район г. Петропавловск-Камчатский, с. Эссо	0,0027 мкг/м ³	2007-2009	[264]
Московская область	бассейн р. Пахра	0,049 мкг/л	2004	[255]
Новосибирская область	54°30'10" с.ш. 82°20'29" в.д., Новосибирское водохранилище	0,02 мкг/л	1999	[255]
Северная Осетия-Алания	42°51'33" с.ш., 44°8'51" в.д., район с. Нижний Унал	0,0016 мкг/м ³	2008,2010	[264]

Полный перечень данных о содержании Ch^{Hg} в подсистемах ОС представлен в Приложении 3.

Для комплексной системной оценки наличия экспериментальных данных была подготовлена карта (рис. 5.25), позволяющая выявить регионы страны в которых недостаточно информации о загрязнении Ch^{Hg} подсистем ОС.



Рис. 5.25. Карта распределения Ch^{Hg} в атмосфере, гидросфере и почве

5.4. Выводы

1. По фактическим данным содержания Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС, а также максимальным значениям концентраций Ch^{Hg} можно выделить ряд регионов России, в которых содержание Ch^{Hg} исследовано наиболее полно: Томская область (атмосфера, гидросфера, почва), Архангельская область (атмосфера, гидросфера, почва, биота), Забайкальский край (атмосфера, гидросфера, почва, биота) и т.д.

2. При оценке загрязнения Ch^{Hg} подсистем ОС на территории РФ выявлено, что распределение исследованных регионов не равномерно. Больше всего данных о концентрациях Ch^{Hg} в ОС имеется для Центрального региона России, также хорошо исследованы объекты, имеющие не только региональное, но и федеральное значение, например, озеро Байкал. В рассмотренных источниках очень мало информации о нахождении Ch^{Hg} в Сибири и Якутии. В Сибири много промышленных предприятий, которые могут служить источниками выбросов Ch^{Hg} в атмосферу: ТЭЦ, предприятия цветной металлургии, нефтеперераба-

тывающие заводы (НПЗ). Якутия известна как основной регион по добыче золота (добыча золота, даже не кустарным методом сопровождается выбросами Ch^{Hg} в атмосферу). Исходя из наличия антропогенных источников Ch^{Hg} , эти районы можно отнести к районам повышенного внимания.

3. При анализе экспериментальных данных о содержании Ch^{Hg} в ОС также установлено, что недостаточно внимания уделяется экспериментальному исследованию загрязнения Ch^{Hg} атмосферы.

4. Данные по сбросам и выбросам содержащим Ch^{Hg} , так же как и данные по образованию отходов для различных природно-техногенных источников в РФ не являются полными и требуют дополнительных организационно-экспериментальных действий по сбору и обработке информации.

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ ПО ПРИОБРЕТЕНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ О ПОСТУПЛЕНИИ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Следует отметить, что информация о поступлении Ch^{Hg} в подсистемы ОС для инвентаризации предоставлялась на добровольной основе и в связи с этим по ряду предприятий необходимые данные частично или полностью отсутствовали, этот факт стал одной из организационно-технологических задач, которые требовалось решить.

Одно из предложенных решений, описанной выше задач состояло в том, что при отсутствии непосредственных данных по предприятию данные о выбросах, сбросах Ch^{Hg} и размещении ртутьсодержащих отходов оценивалась по косвенным данным методами интерполяции или экстраполяции [212,265]. В общем виде алгоритм принятия решений по приобретению дополнительных данных о поступлении в ОС ртути и ее соединений от различных природно-техногенных источников включает в себя следующие этапы:

Этап 1. Описать качественно и количественно природно-техногенный источник поступления Ch^{Hg} .

Этап 2. Составить описание цепи поставок и ЖЦ источника, включая изменение его характеристик в пространстве и времени.

Этап 3. Оценить наличие данных о поступлении Ch^{Hg} на каждом этапе ЖЦ и цепи поставок.

Этап 4. Определить, исходя из имеющихся данных, подход по приобретению дополнительных данных о поступлении Ch^{Hg} в подсистемы ОС на 2014 г.

Этап 5. Оценить динамику изменения поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС с 2000 по 2013 г.

Этап 6. Составить прогноз изменения поступления Ch^{Hg} в подсистемы

ОС до 2030 г., исходя из имеющейся информации о возможных изменениях в цепи поставок природно-техногенного источника в будущем.

Ниже представлены результаты реализации данного алгоритма, адаптированные для различных природно-техногенных источников.

6.1. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении угля

Ch^{Hg} содержатся в угле в виде примесей и в процессе добыче и использования угля могут попадать в ОС. По запасами угля Россия занимает по общему объему (274 млрд.т) второе место в мире после США. В Российской Федерации имеется 1801 угольный объект (шахта, разрез, участок), учитываемый в государственном балансе запасов. Концентрации ртути в угле могут значительно различаться в зависимости не только места размещения угольного бассейна или месторождения, но даже в пределах одной шахты или разреза. Поэтому приведенные (табл. 6.1) оценки являются условными показателями и усредненными по отрасли коэффициентам [233,266,267].

Для приобретения дополнительных данных от ХП по поступлению в ОС ртути и ее соединений при добыче и применении угля использовалась следующая информация. По данным маркшейдерских замеров в сравнении с 2011 г. добыча угля в стране в 2012 г. увеличилась на 5,9 %, составив, 321,8 млн.т; валовая добыча выросла на 5,4 %, до 354,8 млн.т (336,7 млн.т в 2011 г.). В целом с 2000 г. добыча угля в России увеличилась на 30 % [233].

Автор предполагает, что при обогащении угля примерно 21 % Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) переходит в шлам [233]. В 2012 г. на обогащение поступило 139,5 млн.т угля (в 2011 г. – 129,2 млн.т), что составило 39,4 % от валовой добычи угля (необходимо отметить, что в индустриально развитых странах обогащению подвергается от 50 до 80 % добываемого угля, в частности, в Европе обогащается до 80 %, в США – около 55 %) [233].

Таблица 6.1.

Среднее содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в углях России

Угольное месторождение	Среднее содержание Ch^{Hg} , мг/кг
Ирша-Бородинское	0,00
Башкирское	0,00
Гусиноозерское	0,02
Харанорское	0,02
Экибастуское (Казахстан)	0,02
Березовское	0,04
Карагандинское (Казахстан)	0,05
Воркутинское	0,05
Интышское	0,05
Донецкое	0,09
Кузнецкое	0,11
Сахалинское	0,11
Азейское	0,17
Черемховское	0,17
Магаданское	0,18
Подмосковное	0,02
Райчихинское	0,40
Киселевское	0,45
Огоджинское	0,90

Россия стоит на 5 месте среди ведущих мировых экспортеров угля и вывозит за рубеж около 40 % добываемого в стране угля. За 12 лет экспорт вырос в 4 раза. Одновременно производится ввоз угля из-за рубежа, который в 2012 г. составил 31,2 млн т. Более 95 % импортируемого угля используется для энергетических целей. Определение объемов экспорта и импорта важно поскольку вместе с углем перевозятся входящие в его состав Ch^{Hg} (табл. 6.2) [233,268,269].

Таблица 6.2.

Динамика добычи, обогащения и экспорта/импорта угля в России в 2000-2013 г.

Год	Добыча всего млн. Тонн	Доля обогащенного угля	Экспорт угля млн. т	Импорт углей млн. т
2000	245,5	-	35,5	25,7
2001	251,6	-	41,6	25,5
2002	240,2	-	47,2	20,6
2003	251,9	-	58,2	24,3
2004	256,0	-	72,0	21,4
2005	271,4	0,305	75,7	22,4
2006	281,1	0,318	91,3	25,7
2007	285,2	0,363	98,0	23,4
2008	297,2	0,336	97,4	30,9
2009	272,6	0,356	105,0	24,2

Год	Добыча всего млн. Тонн	Доля обогащенного угля	Экспорт угля млн. т	Импорт углей млн. т
2010	292,3	0,364	115,6	29,6
2011	304,0	0,384	110,5	32,2
2012	321,8	0,394	130,4	31,2
2013	319,3	-	143,2	32,0

Для определения количества Ch^{Hg} в подсистемы ОС при применении угля необходима информация о распределении добытого и обогащенного угля по группам потребителей. Большая часть угля используется для получения энергии и/или тепла на теплоэлектростанциях, котельных, индивидуальных домах, промышленных предприятиях и на других установках. Также значительная доля угля используется для получения кокса в металлургической отрасли. Во всех этих случаях уголь подвергается термическому воздействию, при котором Ch^{Hg} поступают атмосферу в виде выбросов или остаются в образующемся после сжигания угля шлаке. Необходимо отметить, что часть Ch^{Hg} из отходящих газов могут улавливаться пылегазоочисными сооружениями и попадать в твердые отходы. Укрупненная блок-схема поставок угля и поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании угля представлена на рис. 6.1.

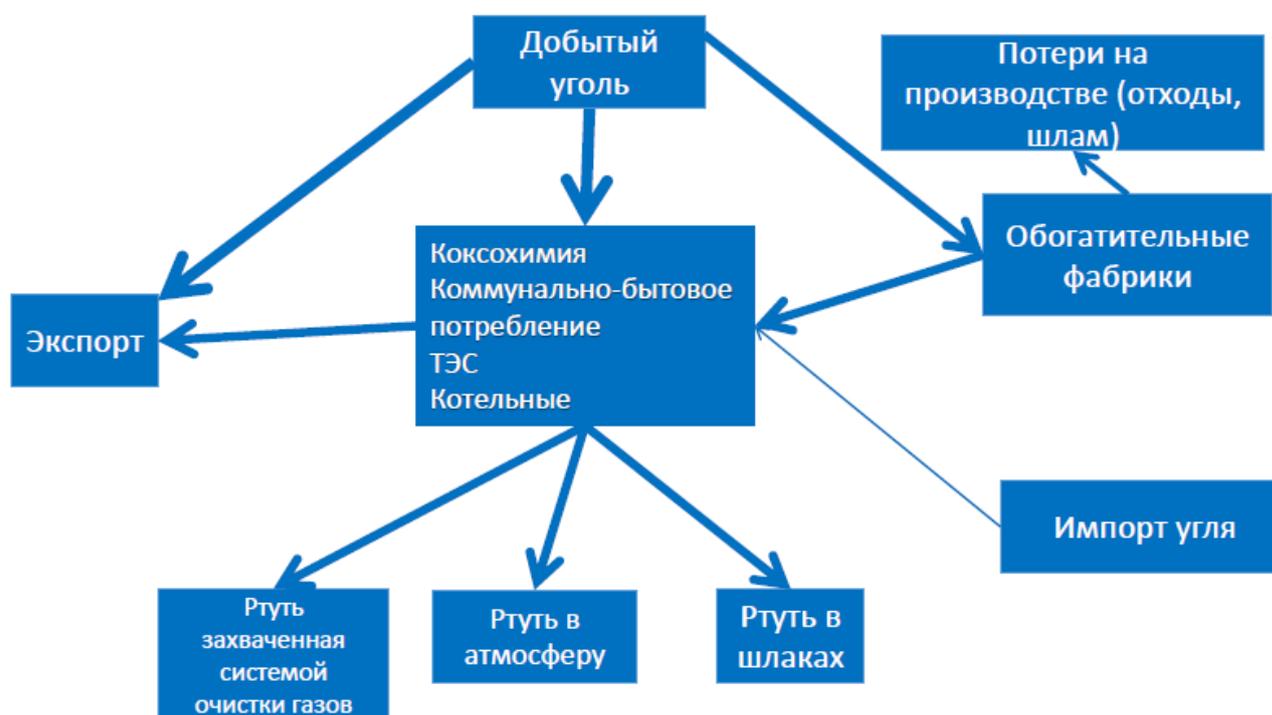


Рис. 6.1. Укрупненная блок-схема цепи поставок Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и применении угля

В табл. 6.3 приведены коэффициенты эмиссии Ch^{Hg} в атмосферу.

Таблица 6.3.

Коэффициенты эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу

ТЭС	Коксохимия	Население, АПК, котельные	Другие
0,8	0,61	0,99	0,9

Для оценки того, какое количество ртути остается в пылегазоуловительных и очистных системах нужна информация о том, насколько эффективно проводится улавливание Ch^{Hg} на предприятиях. Известно, что различные установки по сжиганию угля (ТЭС, ТЭЦ, установки и котельные для коммунально-бытовых нужд) используют различные пылегазоуловительные и очистные системы, а в малых котельных и домашних печах такие установки чаще всего не используются совсем. Усредненные коэффициенты для расчета поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС с учетом эффективности улавливания Ch^{Hg} из отходящих газов при сжигании угля приведены в табл. 6.4 [266,266].

Таблица 6.4.

Распределение Ch^{Hg} по группам потребителей с учетом используемых пылегазоуловительных и очистных системы отходящих газов

Средняя концентрация Ch^{Hg} в угле (в пересчете на ртуть), г/т	ТЭС	Коксохимические предприятия	Население, АПК, котельные	Другие
0,082	0,58	0,19	0,11	0,12

Согласно энергической стратегии России на период до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р, объемы добычи угля в стране должны увеличиться⁵⁹.

Моделирование мобилизации Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и применении угля включает в себя несколько этапов. На первом этапе определяется, сколько Ch^{Hg} извлекается при добыче угля. Наиболее оптимальным способом оценки является непосредственный подсчет по каждому месторождению, шахте, разрезу. Количество добытого угля умножается на соответствующий коэф-

⁵⁹ Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

коэффициент среднего содержания Ch^{Hg} в угле. Недостатком данного подсчета является то, что для такого подсчета отсутствуют достаточные данные о значениях концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) для многих месторождений, а также объемы добычи угля по большинству месторождений. Поэтому в данной работе расчет извлеченных Ch^{Hg} оценка объемов их поступления в подсистемы ОС производился с использованием усредненной концентрации ртути в угле (0,082 мг/т [270]):

$$P_y = U_b \times 0,082, \quad (83)$$

где: U_b – суммарный объем добычи угля (т); P_y – общее количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с углем (мг).

Часть угля (~ 40 % всего угля) прежде чем попадет к потребителю подвергается обогащению с целью повышения его энергетической ценности. Количество обогащаемого угля равно:

$$U_{об} = U_{о.д.} \times U_b, \quad (84)$$

где: $U_{о.д.}$ – доля угля, подвергающегося обогащению (-); $U_{об}$ – количество обогащаемого угля (т).

Расчет Ch^{Hg} в угле проводится по формуле:

$$P_{y.o.} = U_{y.o.} \times 0,082, \quad (85)$$

где: $U_{y.o.}$ – количество обогащенного угля (т); $P_{y.o.}$ – общее количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в угле, предназначенного для обогащения (мг/т).

Расчет количества Ch^{Hg} , попадающих в шлам и шлак, производится при умножении коэффициента доли Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) остающихся в шламе на показатель общего объема Ch^{Hg} в угле, предназначенного для обогащения. Расчет Ch^{Hg} , остающихся в угле производится по следующим формулам:

$$P_{ш} = P_{y.o.} \times 0,21, \quad (86)$$

$$P_{п.о.} = P_{y.o.} - P_{ш}, \quad (87)$$

где: $P_{ш}$ – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шламе (мг/т); $P_{п.о.}$ – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в угле после обогащения (мг).

Прежде чем рассчитать общий объем Ch^{Hg} , поступивший с углем, необходимо также рассчитать объем Ch^{Hg} , который содержался в экспортном и импортном угле. Расчет содержания Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) осуществляется по формулам:

$$P_{y.э.} = Y_э \times 0,082, \quad (88)$$

$$P_{y.и.} = Y_{и.} \times 0,02, \quad (89)$$

где: $Y_э$ – количество экспортированного угля (т); $P_{y.э.}$ – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в экспортированном угле (мг); $Y_{и.}$ – количество импортированного угля (т); $P_{y.и.}$ – количество импортированной Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) вместе с углем (мг).

Общий объем Ch^{Hg} в угле для внутреннего потребления рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{в.п.} = P_y - P_{ш.} - P_{y.э.} + P_{y.и.}, \quad (90)$$

где: P_y – общий объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с углем (мг); $P_{ш.}$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шлаке (мг); $P_{y.э.}$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в экспортированном угле (мг); $P_{y.и.}$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в импортированном угле (мг); $P_{в.п.}$ – суммарный объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в углях перед их непосредственным использованием (мг).

Обладая показателями по общему количеству Ch^{Hg} , можно рассчитать, как распределяется Ch^{Hg} в качестве сопутствующего компонента или примесей между группами потребителей угля, а также массу Ch^{Hg} поступающих в атмосферу при добыче и переработке угля. Для каждой из групп имеется собственный коэффициент эмиссии Ch^{Hg} в атмосферу. Объем Ch^{Hg} , остающихся в шлаке от сжигания, рассчитывается по формулам:

$$P_a = P_{в.п.} \times K_p \times K_э, \quad (91)$$

$$P_{ш.ш.} = P_{в.п.} - P_a + P_{ш.}, \quad (92)$$

где: $P_{в.п.}$ – суммарный объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в углях перед их непосредственным использованием (мг); K_p – коэффициент распределения; $K_э$ – коэффициент эмиссии; P_a – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) поступившее атмосферу с выбросами от группы предприятий на которых происходит сжигание угля (мг); $P_{ш.ш.}$ – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шлаке и шламе

(мг); $P_{ш}$ – количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шламе.

Необходимо отметить, что при разработке алгоритма приобретения дополнительных данных о поступлении Ch^{Hg} в ОС при добыче и применении угля автором приняты следующие допущения и погрешности:

1. Концентрация Ch^{Hg} в месторождениях принята как усредненный и неизменный показатель равный 0,082 г/т, однако на практике значение этого показателя может существенно измениться с течением времени, по мере разработки старых и открытия и использовании новых месторождений угля.

2. На обогащение направляется почти весь коксующийся уголь и некоторое количество угля, использующегося для энергетических установок.

3. На практике экспортируются как обогащенные так и не обогащенный уголь, но в модели принято, что экспортируемый уголь не обогащается. Это приводит к некоторому занижению объемов Ch^{Hg} , поступающих в подсистемы ОС.

3. Данные о доле обогащенного угля за период 2000-2005 и за 2013 г. не были найдены в литературе и поэтому были использованы данные за другой временной период (табл. 6.2).

4. Взятые стандартные и усредненные коэффициенты поступления Ch^{Hg} в окружающую среду от различных потребителей (табл. 6.4).

6.2. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении нефти

Содержание Ch^{Hg} в нефти значительно колеблется в зависимости не только от месторождения, но и от глубины ее залегания в месторождении, то есть от того периода времени, когда формировалось её отложение. Всего государственным балансом РФ в распределенном фонде недр по состоянию на начало 2013 г. в стране учитывается 2923 месторождения, что составляет 94,6 % от всех разведанных запасов нефти. Из имеющихся данных известно, что

средняя концентрация Ch^{Hg} в нефти составляет 0,180 г/т в пересчете на ртуть. Именно этот коэффициент и использовался в дальнейших расчетах. Однако необходимо отметить, что, к сожалению, эта оценка основывается на данных по месторождениям, расположенным в Центральных регионах России, в которых нефть сегодня практически не добывается. Данных о содержании Ch^{Hg} в нефти, добываемой в месторождениях Западной Сибири и Поволжья, не были найдены [266,233,266]. Таким образом, необходимо отметить, что для уточнения информации о содержании Ch^{Hg} в добываемой в РФ нефти, в дальнейшем требуются дополнительные исследования значений содержания Ch^{Hg} в нефти, добытой в Западно-Сибирской, Тимано-Печерской, Волго-Уральской и Лено-Тунгусской нефтегазовых областях [233].

В на всех этапах ЖЦ нефти и по всей цепи поставок обработки нефти, включающих в себя ряд этапов от добычи до применения конечным потребителями (рис. 6.2) происходят процессы приводящие к поступлению некоторого количества Ch^{Hg} в подсистемы окружающей среды.



Рис. 6.2. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок нефти

Для того, чтобы выявить общий объем Ch^{Hg} , которые вместе с нефтью извлекается из недр, необходимо данные по количеству Ch^{Hg} , извлеченных при

добыче, количество Ch^{Hg} теряющихся в процессе транспортировки нефти и при ее переработке. Также необходимо оценить, количество Ch^{Hg} перемещаемых в ходе экспортно-импортных операциях с нефтью и нефтепродуктами.

В целом объём нефти, добытой в РФ в 2012 г. увеличился против предыдущего года на 5,6 млн.т и составил 496,1 млн.т. С учетом газового конденсата добыча жидких углеводородов в стране достигла 513,9 млн.т, что выше показателя 2011 г. на 6,6 млн т, или на 1,3 %. Уровень добычи жидкого топлива в течение последних трёх лет подряд превышает отметку в 500 млн.т [233].

В России действуют 32 крупных на НПЗ и более 200 малых; переработкой жидких фракций углеводородов занимаются также некоторые газоперерабатывающие заводы (ГПЗ). Объем нефти, поступившей в 2012 г. на НПЗ для переработки внутри страны, вырос по сравнению с 2011 г. на 9,4 млн.т и составил 265,8 млн.т. Это рекордный показатель за последние двадцать лет. Доля перерабатываемой нефти в объеме добытой увеличилась в 2012 до 54,2 % против 52,3 % годом ранее. Экспорт сырой нефти (включая конденсат) из России в 2012 г. сократился по сравнению с 2011 г. на 1,8 % и составил 240 млн.т [233].

При анализе показателей по всей цепи поставок нефти в 2000-2013 г. включая: добычу, экспорт, импорт и переработку нефти, можно отметить, что при переработке нефти на НПЗ за данный период возросла на 63 %, а доля потерь при этом возросла почти в 3 раза (с 4,8 % в 2000 г. до 12,2 % в 2013 г.), что соответственно отразилось на количестве Ch^{Hg} , поступающих в подсистемы ОС. Показатели добычи, экспорта, импорта и переработки нефти в 2000-2013 г. в России приведены в табл. 6.5 [233,268-269].

Таблица 6.5.

Показатели добычи, экспорта, импорта и переработки нефти в 2000-2013 г. в России

Год	Добыча нефти, млн. т	Экспорт нефти, млн. т	Импорт нефти, млн. т.	Переработка на НПЗ, млн. т	Потери нефти, %
2000	323	144,4	5,9	173,8	4,8
2001	349	164,5	5,1	178,4	6,1
2002	380	189,5	6,1	185,1	5,4
2003	421	227,9	5,7	190,1	3,0
2004	459	260,4	4,0	195,0	3,6
2005	470	252,4	2,4	207,7	9,9

Год	Добыча нефти, млн. т	Экспорт нефти, млн. т	Импорт нефти, млн. т.	Переработка на НПЗ, млн. т	Потери нефти, %
2006	480	248,5	2,3	219,6	11,9
2007	491	258,6	2,7	228,6	3,8
2008	488	243,1	2,5	236,3	8,6
2009	494	247,5	1,8	235,6	10,9
2010	505	250,7	1,1	248,7	5,6
2011	512	244,4	0,4	256,5	11,1
2012	518	240,0	0,8	265,8	12,2
2013	523	236,6	0,9	274,2	12,2

Объемы производства различных нефтепродуктов в России достигло в 2012 г. 265,7 млн.т, рост относительно 2011 г. составил почти 5 %. Переработка конденсата в стране ведется на двух заводах (ЗСК) с применением технологии по его стабилизации. на них получаемый при добыче газа нестабильный (газообразный) продукт перерабатывается в стабильный (жидкий) конденсат, который используется для дальнейшей переработки потребителями [233].

Рассматривая виды жидкого топлива, получаемого в России при переработке нефти, можно отметить, что автомобильного бензина в 2012 г. выпущено 38,2 млн.т, что на 4,4 % больше, чем в предыдущем году. Весь полученный бензин был реализован на внутреннем рынке, поставки бензина за рубеж сократились против 2011 г. на 12,3 %, до 3,6 млн.т., а доля импорта составила всего 0,16 % от произведённого [233]. Производство авиационного керосина за период с 2000 по 2013 г. неустойчиво, производство его слабо отражено в статистических отчётах, но можно отметить, что за 2012 г. оно выросло более, чем на 10 % и составило 10 млн.т (см. табл. 6.6) [233].

Таблица 6.6.

Потребление авиационного и автомобильного бензина с учетом экспорта и импорта

Год	Керосин авиационный	Бензин автомобильный	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
2000	-	27,1	4,2	0,1	23,0
2001	-	27,6	3,2	0,1	24,5
2002	-	29,0	3,2	0,0	25,8
2003	-	29,3	3,9	1,0	26,4
2004	-	30,5	4,2	0,5	26,8
2005	-	32,0	5,9	0,0	26,1
2006	-	34,3	6,3	0,0	28,0

Год	Керосин авиационный	Бензин автомобильный	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
2007	-	35,1	6,0	0,0	29,1
2008	9,5	35,6	4,5	0,2	31,3
2009	8,3	35,8	4,5	0,2	31,5
2010	9,1	36,6	2,9	0,5	34,2
2011	9,3	36,6	3,8	1,0	33,8
2012	10,0	38,2	3,2	0,2	35,2
2013	-	39,3	4,3	0,6	35,6

В целом, с позиции того, что в процессе производства топлива происходит очистка нефти от различных примесей, в том числе и от Ch^{Hg} , то учитывая увеличение выработки бензина и керосина за 14 лет на 61 %, соответственно и увеличился и объем поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС [233,268-269].

В структуре выпуска нефтепродуктов в России продолжает доминировать производство нефтепродуктов, содержащих тяжелые и средние фракции углеводородов, прежде всего мазута и дизельного топлива [233].

В целом, производство дизельного топлива и мазута значительно возросло, и за 14 лет наметилась тенденция к снижению внутреннего потребления этих видов топлива. Так, в 2012 г. производство мазута выросло на 1,6 %, до 74,5 млн.т, а выпуск дизельного топлива несколько сократился – до 69,7 млн.т против 70,6 млн.т годом ранее. Отмечается значительное возрастание экспорта мазута, объём которого вырос на 1,7 % – до 58 млн.т. Продажа дизельного топлива остались практически на уровне предыдущего года и составила 36,1 млн.т. Импорт нефтепродуктов в РФ в 2012 г. снизился против уровня 2011 г. в 2,7 раза и составил 1,2 млн.т (см. табл. 6.7, 6.8) [233,268-269].

Таблица 6.7.

Потребление дизельного топлива с учетом экспорта и импорта

Год	Дизельное топливо	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
2000	49,2	-	0,0	49,2
2001	50,2	-	0,0	50,2
2002	52,7	-	0,0	52,7
2003	53,9	-	0,0	53,9
2004	55,3	-	0,0	55,3
2005	60,0	-	0,0	60,0
2006	64,2	36,8	0,0	27,4
2007	66,3	36,8	0,0	29,5

Год	Дизельное топливо	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
2008	68,8	37,6	0,2	31,4
2009	67,3	39,8	0,2	27,7
2010	70,6	41,6	0,5	29,5
2011	70,6	39,5	0,8	31,9
2012	69,7	41,1	0,2	28,8
2013	72,6	42,1	-	30,5

Таблица 6.8.

Потребление мазута с учетом экспорта и импорта в 2000-2013 г.

Год	Мазут	Экспорт	Импорт	Внутреннее потребление
2000	48,2	28,3	0,0	19,9
2001	50,3	30,6	0,0	19,7
2002	54,1	36,9	0,0	17,2
2003	54,6	35,5	0,0	19,1
2004	53,6	39,5	0,0	14,1
2005	56,7	46,2	0,0	10,5
2006	59,3	47,8	0,0	11,5
2007	62,7	55,7	0,0	7,0
2008	63,9	61,5	0,3	2,7
2009	64,4	64,1	0,3	0,6
2010	70,1	72,0	-	-1,9
2011	48,2	28,3	0,0	19,9
2012	50,3	30,6	0,0	19,7
2013	54,1	36,9	0,0	17,2

Кроме экспортных операций, почти вся нефть, исключая потери при транспортировке и переработке, направляется для производства различных видов топлива, нефтехимической продукции и других товаров. Соответственно Ch^{Hg} в процессе переработки нефти и промежуточного углеводородного сырья поступает в эти продукты.

Данные о концентрации Ch^{Hg} в пересчете на ртуть, получены на основе доступной информации от нефтеперерабатывающих производств и НПЗ лишь для части нефтепродуктов (табл. 6.9).

Таблица 6.9.

Значения концентрации Ch^{Hg} в различных видах топливах и нефти (в пересчете на ртуть)

Концентрация ртути в нефти, г/т	Керосин авиационный, г/т	Бензин автомобильный, г/т	Дизельное топливо, г/т	Мазут, г/т
0,18	0,013	0,013	0,065	0,05

В процессе получения легких фракций углеводородов Ch^{Hg} практически в них не переходят. В битуме и других более тяжелых фракциях концентрация Ch^{Hg} значительно выше. Однако, необходимо отметить, что экспериментальные исследования, подтверждающие данную гипотезу отсутствуют.

Также нет данных о концентрации Ch^{Hg} в отходах и сточных водах НПЗ из-за отсутствия статистической отчетности о наличии и эффективности работы установок по связыванию Ch^{Hg} в процессе переработки нефти и её продуктов. Крайне неоднозначна и фрагментарна информация о наличии Ch^{Hg} в отходах производства НПЗ и уж, тем более, о количестве Ch^{Hg} , прошедшей захоронение, утилизацию и т.п., что создает дополнительные трудности для их учёта.

С учетом перечисленных выше условий и ограничений расчет количества извлеченных Ch^{Hg} с нефтью производился умножением средней концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в нефти (0,180 мг/т), на общий объем добычи нефти в РФ:

$$P_n = N_b \times 0,180, \quad (93)$$

где: N_b – суммарный объем добычи нефти (т); P_n – общее количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с нефтью (мг).

Аналогичным образом производился расчет экспортированных и импортированных вместе с нефтью Ch^{Hg} , а также содержание Ch^{Hg} в нефти, поставляемой на НПЗ - показатель количества нефти умножался на показатель средней концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в нефти. Затем рассчитывались потери Ch^{Hg} , которые определялись как разница между объемами добытых Ch^{Hg} и объемами Ch^{Hg} экспортированными с нефтью и поступившими с нефтью на НПЗ к которой прибавлялись объемы Ch^{Hg} импортированных с нефтью:

$$P_{\text{п.н.}} = P_n - N_{\text{НПЗ}} - N_{\text{э}} + N_{\text{и}}, \quad (94)$$

где: P_n – общий объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с нефтью (мг); $N_{\text{НПЗ}}$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), поставленной на НПЗ (мг); $N_{\text{э}}$ – объем ртути в экспортированной нефти (мг); $N_{\text{и}}$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), содержащейся в импортированной нефти (мг); $P_{\text{п.н.}}$ – объемы потерь Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) (мг).

Поскольку значения концентраций Ch^{Hg} известны только для мазута, дизельного топлива, а также авиационного и автомобильного бензинов, производились расчёты количества данных видов топлива, потребленных в стране:

$$T_{в.п.} = T_{п.} - T_{э.} + T_{и.}, \quad (95)$$

где: $T_{в.п.}$ – объем внутреннего потребления вида топлива (т); $T_{п.}$ – общий производства вида топлива (т); $T_{э.}$ – объем экспорта вида топлива (т); $T_{и.}$ – объем импорта вида (т).

Перемножение показателей произведенного топлива по видам на соответствующие концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в каждом из них в сумме дает общее количество Ch^{Hg} во всем топливе, потребленном внутри страны. Учитывая, что сжигание топлива осуществляется без отчистки и образования отходов, то коэффициент эмиссии равен 100, т.е. весь объем ртути попадает в атмосферу. Остальная ртуть ввиду отсутствия сведений учитывается, но не распределяется между подсистемами ОС.

В алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду Ch^{Hg} при добыче и применении нефти введены следующие допущения:

1. Концентрации Ch^{Hg} в нефти не известны, и принятая средняя величина, для уточнения которой в будущем требуется дополнительное исследование крупных месторождений нефти в Сибири и Поволжье.

2. Отсутствуют достоверные данные о концентрациях Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в других видах продукции НПЗ заводов. Следовательно, отсутствует возможность рассчитать и выяснить количества поступления части Ch^{Hg} в подсистемы ОС.

3. Отсутствуют данные об содержании Ch^{Hg} в сбросах, выбросах и отходах НПЗ.

6.3. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при добыче и применении природного газа

Ch^{Hg} содержится в природном газе в качестве примеси и попадает в ОС на различных этапах его ЖЦ от добычи до использования. Запасы природного горючего газа РФ составляют почти четверть мировых запасов и складываются из запасов свободного газа и газа, растворенного в нефти. Под свободным понимается газ в виде самостоятельных залежей и в виде газовых шапок над нефтяными месторождениями. Доля свободного газа в российских запасах – 96 %, из них на газовые шапки приходится около 12 %. В распределенном фонде недр по состоянию на 1.01.2013 г. числились 667 месторождений с запасами свободного газа, в том числе 27 крупных и уникальных [233].

Концентрация Ch^{Hg} в природном газе, также как в угле и нефти, различается в зависимости от типа месторождения и типа самого природного газа. Различают несколько видов газа – «сухой», почти полностью содержащий метан, «жирный», с значительным содержанием этана, пропана и бутанов, а также растворенный в нефти газ, отличающийся содержанием гомологов метана. Значения усредненных концентраций Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в газе приведены в табл. 6.10 [266].

Таблица 6.10.

Усредненные концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в природном газе

Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в свободном газе, мг/м ³	Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в растворенном газе, мг/м ³
0,0024	0,0034

Основные этапы ЖЦ газа схематично представлены на рис. 6.3.

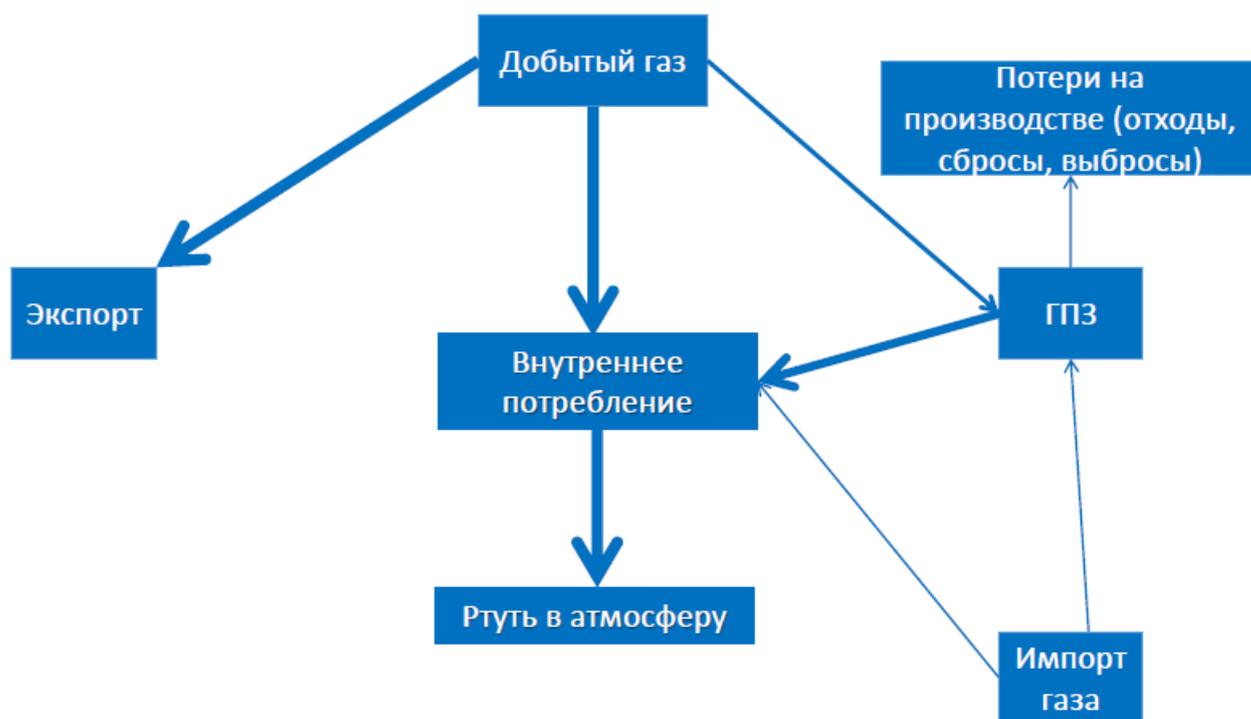


Рис. 6.3. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок природного газа

В 2012 г. в Российской Федерации добыто 624,95 млрд. м³ свободного газа, на 17,5 млрд. м³ меньше, чем годом ранее. Потери свободного газа при добыче составили 3,8 млрд. м³, доля потерь осталась на уровне предыдущего года – 0,6 %. Значительная часть потерь свободного газа приходится на утечку газа из газовых шапок, разрабатываемых попутно с добычей нефти. Добыто также 36,8 млрд. м³ газа, растворенного в нефти, что на 4,3 млрд.м³ больше, чем в 2011 г [233].

Основная часть добываемого в России газа используется внутри страны и поступает на экспорт без предварительной переработки. Проводится, как правило, только подготовка газа к транспортировке, которая заключается в удалении компонентов, затрудняющих его транспортировку по газопроводу. За 2012 г. экспорт российского газа сократился и составил 193,3 млрд м³, или менее 95 % от уровня 2011 г. Импорт газа сохранил свои показатели на незначительном уровне. Суммарные показатели добычи, экспорта и импорта газа за период 2000-2013 г. приведены в табл. 6.11 [233,268-269].

Таблица 6.11.

Добыча, экспорт и импорт природного газа в России в 2000-2013 г.

Год	Добыча свободно-го газа, млрд. м ³	Добыча растворенно-го газа, млрд. м ³	Экспорт природ-ного газа, млрд. м ³	Импорт природно-го газа, млрд. м ³
2000	569,9	-	193,8	-
2001	566,9	-	181,1	-
2002	581,4	-	185,5	-
2003	601,5	-	190,0	-
2004	611,1	-	200,3	-
2005	620,2	-	207,3	7,0
2006	633,8	-	202,8	8,0
2007	630,1	-	191,9	7,4
2008	640,9	27,3	195,4	7,9
2009	556,1	30,1	168,3	8,3
2010	623,2	-	174,3	4,3
2011	642,4	32,5	186,6	8,0
2012	625,0	36,8	178,7	8,0
2013	-	-	196,4	8,2

Только небольшая часть газа подвергается переработке, так в 2012 г. На ГПЗ поступило лишь около 10 % добытого в РФ природного газа (64,6 млрд.м³), хотя относительно 2011 г. объем переработки вырос на 1,2 %. На перерабатывающие заводы подается как свободный, так и попутный нефтяной газ, количество которого составило 32 млрд.м³. Попутный нефтяной газ в процессе переработки на ГПЗ разделяется на сухой газ, который поставляется в магистральные газопроводы, этан и широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), состоящую из пропана, бутана и пентана с примесями метана, этана, гексана и более тяжелых компонентов. Ch^{Hg} в процессе переработки могут попадать как в газ, так и в фракцию легких углеводородов [271,272].

Расчет извлеченных Ch^{Hg} с газом проводился с учетом показателей средней концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в растворенном и свободном природном газе (0,0024 и 0,0034 мг/т) по формуле:

$$P_r = G_c \times 0,0024 + G_p \times 0,0034, \quad (96)$$

где: G_c – объем добычи свободного газа (т); G_p – объем добычи растворенного газа (т); P_r – общее количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с газом (мг).

Аналогичные расчеты проводятся для экспортированного и импортированного природного газа, но коэффициент содержания Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) применяется тот же, что и для свободного газа, он транспортируется в магистральном трубопроводе:

$$P_э = \Gamma_э \times 0,0024, \quad (97)$$

$$P_и = \Gamma_и \times 0,0024, \quad (98)$$

где: $P_э$ – общий объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), экспортированной с газом (мг); $\Gamma_э$ – объем экспортированного газа (т); $\Gamma_и$ – объем импортированного газа (т); $P_и$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в импортированной газе (мг).

Расчет итогового количества попавших к конечным потребителям Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) вместе с природным газом определяется как сумма показателей объема добычи и импорта Ch^{Hg} с газом за вычетом показателя объема экспортированных с газом Ch^{Hg} :

$$P_{\text{в.п.}} = P_{\text{г}} - P_э + P_и, \quad (99)$$

где: $P_{\text{г}}$ – общее количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), извлеченной с газом (мг); $P_{\text{в.п.}}$ – внутреннее потребление Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с газом (мг); $P_э$ – общий объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) экспортированный с газом (мг); $P_и$ – объем Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в импортированном газе (мг).

При разработке алгоритма приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду Ch^{Hg} при добыче и применении природного газа использованы следующие допущения:

1. Точные значения концентраций Ch^{Hg} в газе неизвестны поэтому использовались оценочные значения для свободного и растворенного газов.

2. В составе свободного газа имеется некоторая доля жирного газа – до 20 % от всего добытого природного газа. Концентрации Ch^{Hg} в нем предположительно выше чем в сухом, но в расчетах это никак не учитывалось.

3. В расчетах не учитывался «эффект Гронингена», а следовательно, в поставках газа реальным потребителям содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) может быть несколько ниже.

6.4. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений при производстве цветных металлов

Ртуть и ее соединения содержатся в качестве примеси в рудах цветных металлов (цинка, меди, никеля и др.).

Производство цинка. Цинк преимущественно связан с комплексными месторождениями колчеданно-полиметаллического геолого-промышленного типа, руды которых содержат, кроме него, в различных концентрациях свинец, серебро, золото и медь. Государственным балансом РФ учтено 150 месторождений с запасами цинка, 20 из них размещены вне баланса. В распределенном фонде недр находится 73 месторождения [233].

Производство цинка состоит из нескольких основных этапов ЖЦ, включающих в себя: добычу руды из недр, проведение обогащения ее на обогатительных фабриках, в процессе которого содержание цинка увеличивается с 1-3 % до 35-54 %, экспорт и импорт металла (см. рис. 6.4) [233].

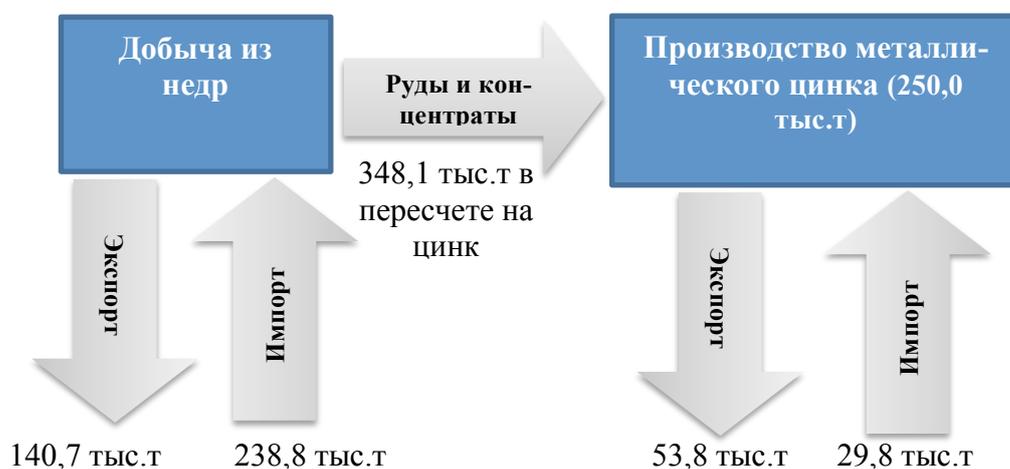


Рис. 6.4. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок процесса добычи цинка (данные на 2012 г.)

Продуктом обогащения руды является рудный концентрат, переработку которого с получением металлического цинка осуществляют металлургические предприятия. В целом, добыча цинка на российских рудниках в 2012 г. сократилась по сравнению с предыдущим годом на 2,9 % и составила 348,1 тыс. т. из

которых около 73 % металла было добыто на цинково-медноколчеданных месторождениях республики Башкортостан, Свердловской, Челябинской и Оренбургской областей и, примерно 23 % – на месторождениях Красноярского, Алтайского и Приморского краев [233].

Выпуск цинксодержащих концентратов на обогатительных фабриках страны в 2012 г. увеличился вдвое и составил 598,7 тыс. т. Ведущим потребителем цинковых концентратов, выпускаемых обогатительными фабриками ОАО «УГМК», является металлургический завод в г. Владикавказ, принадлежащий компании ОАО «Электроцинк». Часть концентратов для дальнейшей переработки направляется в г. Челябинск на завод компании ОАО «Челябинский цинковый завод». Основным поставщиком сырья на ОАО «Челябинский цинковый завод» является горнодобывающее предприятие ТОО «Nova Цинк», разрабатывающее месторождение «Акжал» в Казахстане [233].

Российский импорт цинковых руд и концентратов в 2012 г. увеличился по сравнению с 2011 г. более чем в шесть раз и составил 238,8 тыс. т. Некоторое количество цинковых руд и концентратов отечественного производства вывозится за рубеж. В 2012 г. экспорт составил 140,7 тыс. т, что более чем вдвое превысило показатель 2011 г. Основными экспортерами цинковых руд являются ОАО «ГМК «Дальполиметалл» и ОАО «Сибирь-Полиметаллы», предприятия которых удалены от металлургических центров России. В связи с этим компаниям выгоднее реализовывать сырье и продукцию в соседних азиатских государствах, на которые там есть спрос, чем везти в европейские регионы страны [233].

При обогащении полиметаллических руд и, в частности, цинка, более 90 % ртути переходит в рудный концентрат. Среднее содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в цинковом концентрате горно-обогатительных комбинатов РФ приведено в табл. 6.12 [266] и 6.13.

Таблица 6.12.

Состав цинковых концентратов российских горно-обогатительных комбинатов

Горно-обогатительный комбинат	Содержание цинка, %	Концентрация Сh^{Hg} (в пересчете на ртуть), г/т
Учалинский	45,5	20
Гайский	49,9	100
Башкирский медно-серный комбинат	44,1	30
Новоширокинский рудник	54,0	10
Алтайский	34,5	3
ОАО «Дальполиметалл»	49,1	3

Таблица 6.13.

Данные по переработки цинковых концентратов в 2013 г. на ОАО «Челябинский цинковый завод»

Название обогатительной фабрики	Объем переработки концентрата, тыс. т в 2013 г.	Концентрация Сh^{Hg} (в пересчете на ртуть) в цинковом концентрате, г/т	Сh^{Hg} (в пересчете на ртуть) в концентратах всего, т
1.ОАО «Учалинский ГОК»	113,335	430	48,734
2.ЗАО «ОРМЕТ»	6,719	135	0,907
3.ОАО «Верхнеуральская руда»	0,687	415	0,285
4.ОАО «Александринская горно-рудная компания»	1,434	280	0,401
5.ОАО «Святогор»	18,518	32	0,593
6.ОАО «Сафьяновская медь»	0,185	10	0,002
7.ЗАО «Шемур»	5,293	48	0,254
8.ОАО «Сибирь-Полиметаллы»	34,279	36	1,234
9. ОАО «Сибирь-Полиметаллы»	2,177	180	0,392
10.ОАО «Башкирское ШПУ»	0,064	42	0,003
11.ТОО «Нова Цинк»	62,810	24	1,507
12.ТОО «Актюбинская медная компания»	26,562	36	0,920
13. Жезкентская ОФ ТОО «Казахмыс»	25,457	51	1,298
14. Усть-Таловская ОФ ТОО «Казахмыс»	11,107	70	0,777
Всего:	308,627	-	57,307

Первичное производство цинка в России осуществляется на двух предприятиях – ОАО «Электроцинк» и ОАО «Челябинский цинковый завод», и включает в себя следующие процессы: окисление (обжиг) цинкового концентрата, производство цинка с использованием электрохимического метода и рафинирование (очистка) цинка. Производство первичного цинка обычно сопровождается получением серной кислоты. Общее количество металлического цинка, произведенного в России в 2012 г., уменьшилось на 2,3 % и составило 250 тыс. т. [273].

Эмиссия Ch^{Hg} в подсистемы ОС при первичном производстве цинка, из-за слабой заинтересованности самих производителей, изучено недостаточно. В процессе обжига полиметаллических цинксодержащих концентратов Ch^{Hg} возгоняется и в составе обжиговых газов переходит в сернокислотное производство. Поскольку используемая технология очистки обжиговых газов в промывном отделении сернокислотного производства не обеспечивает полного улавливания Ch^{Hg} , то значительное ее количество поступает в производственную (техническую) серную кислоту. Также значительная часть ртути оседает в ртутно-селенистом шламе, в свинцовом и медном кеке. Общее распределение ртути в цинковом производстве приведено в табл. 6.14 [266].

Таблица 6.14.

Эмиссия и потери Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) при производстве первичного цинка на российских заводах в 2001 г.

Производство цинка, тыс. т	Мобилизация Ch^{Hg} с концентратами цинка, т	Выброс Ch^{Hg} в атмосферу, т	Ch^{Hg} в шламах, т	Ch^{Hg} в серной кислоте, т	Сброс Ch^{Hg} со стоками, т	Ch^{Hg} в свинцовом и медном кеке, т
250	30,93	1,9	8,35	7,73	0,15	5,26

При оценке поступления Ch^{Hg} при производстве цинка известны данные о производстве экспорте и импорте первичного металла и концентратов [274]. Для одного из предприятий - ОАО «Челябинский цинковый завод» - известно суммарное содержание Ch^{Hg} в цинковом концентрате (57,307 т в пересчете на ртуть) и это значение было взято и для остальных заводов. При этом при расчете поступления этой Ch^{Hg} в воду и воздух был учтен тот факт, что на большинстве предприятий, выпускающих цинк присутствует плавильная установка с мокрой газоочисткой и установка по производству серной кислоты, что обеспечивает определенное соотношение ртути в выбросах, сбросах и отходах. В соответствии с рекомендациями ЮНЕП [266] количество Ch^{Hg} , поступающей в различные подсистемы ОС при наличии установки с мокрой газоочисткой следующее: 10 % изначально содержащейся в концентрате Ch^{Hg} выбрасывается в атмосферу; 2 % попадают в гидросферу; 42 % - в побочных продуктах производства, в первую очередь, в серной кислоте; 48 % переходит в почву (отвалы и

отходы). Также для проведения расчетов учитывалось сколько Ch^{Hg} содержится в руде и сколько ее остается в конечной продукции (металле).

К отдельной важной задаче следует отнести недостаток информации о том, какие объемы руд извлекались на конкретных рудниках. Зачастую информация предоставляется предприятиями по переработке, что вносит погрешность в качественное определение места попадания эмиссии Ch^{Hg} в ОС. Расчет извлеченной Ch^{Hg} производился через удельное извлечение Ch^{Hg} в концентрат, как отношение извлеченных Ch^{Hg} к объему производства соответствующего металла в 2001 г.

Результаты расчета общего количества Ch^{Hg} , которые поступает в подсистемы ОС, а также содержатся в побочных продуктах и отходах, представлены в табл. 6.15.

Таблица 6.15.

Распределение Ch^{Hg} в побочных продуктах и отходах

Общее количество извлеченной Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/год	Расчетные поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в подсистемы ОС, побочных продуктах и отходах, т/год				
	Атмосфера	Гидросфера	Почва	Побочные продукты	Отходы
84,712	8,471	1 694	0	35,579	38,968

Для оценки сколько Ch^{Hg} поступает в подсистемы ОС при обогащении руды использовались данные по ОАО «Учалинский ГОК»: в цинковых концентратах ОАО «Учалинский ГОК» содержится 48,734 тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), в медных концентратах 3,232 тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть). Итого 51,966 тонн тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) содержится в полученных концентратах. Объем добычи руды на ОАО «Учалинский ГОК» в 2013 г. составил 6319 тыс.т⁶⁰. Содержание тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в этой руде 9,8 г/т, общий объем тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) извлеченных из недр 61,92 т. $51,966/61,92=83,9\%$ - доля Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) поступающих в концентраты цветных металлов, соответственно оставшиеся 16,1 % тонны Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) распределяются в отходы.

⁶⁰ ОАО "Учалинский ГОК". Годовой отчет по результатам работы за 2012 г.

Так как извлечение Ch^{Hg} в цинковый концентрат соотносилось к общему объему производства металлического цинка, то распределение Ch^{Hg} по подсистемам ОС в последующие годы было принято решение рассчитывать как долю от Ch^{Hg} , мобилизованных в 2001 г. Полученные результаты приведены в табл. 6.16 и 6.17.

Таблица 6.16.

Мобилизация Ch^{Hg} с концентратами при производстве цинка в РФ

Год	Производство цинка, тыс. т	Удельное вовлечение Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в переработку т/тыс. т	Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с цинковыми концентратами, т
2000	242	0,124	29,94
2001	250		30,93
2002	257		31,79
2003	253		31,30
2004	241		29,81
2005	211		26,10
2006	248		30,68
2007	264		32,66
2008	253		31,30
2009	227		28,08
2010	249		30,80
2011	256		31,67
2012	250		30,93

Таблица 6.17.

Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и их поступление в отходы при добыче и переработке цинка в РФ, 2000-2012 г.

Атмосфера, т	Шлам, т	Серная кислота, т	Канализация, т	Свинцовый кек, т	Медный кек, т
1,84	8,08	7,48	0,15	4,49	0,60
1,90	8,35	7,73	0,15	4,64	0,62
1,95	8,58	7,95	0,16	4,77	0,64
1,92	8,45	7,82	0,16	4,69	0,63
1,83	8,05	7,45	0,15	4,47	0,60
1,60	7,05	6,53	0,13	3,92	0,52
1,89	8,28	7,67	0,15	4,60	0,61
2,01	8,82	8,16	0,16	4,90	0,65
1,92	8,45	7,82	0,16	4,69	0,63
1,73	7,58	7,02	0,14	4,21	0,56
1,89	8,32	7,70	0,15	4,62	0,62
1,95	8,55	7,92	0,16	4,75	0,63
1,90	8,35	7,73	0,15	4,64	0,62

Производство никеля. Ch^{Hg} содержится в медно-никелевой руде и из-

влекается вместе с концентратами при обогащении. Часть наиболее богатых руд, минуя стадию обогащения, направляется на плавку [233].

Основные этапы производства никеля представлены на рис. 6.5.



Рис. 6.5. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок процесса добычи никеля (данные на 2012 г.)

Российскую сырьевую базу никеля в значительной степени формируют пять крупных и гигантских месторождений сульфидного медно-никелевого промышленного типа, расположенных на севере Красноярского края, в Норильско-Хараелахской металлогенической зоне [233]. На государственный баланс РФ принято 54 коренных месторождения никеля, в 14 из которых учитываются только забалансовые запасы. В нераспределенном фонде недр находятся 19 объектов; их руды содержат в среднем 0,52 % металла, что сопоставимо с его концентрацией в рудах месторождений, подготавливаемых к отработке, но на четверть меньше, чем в эксплуатируемых. Концентрации Ch^{Hg} в сульфидных медно-никелевых месторождениях приведены в табл. 6.18 [233,266].

Таблица 6.18.

Средние содержания Ch^{Hg} в рудах никелевых месторождений

Месторождение, регион	Кол-во проб	Содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/т	Среднее содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/т
Норильск, п-ов Таймыр	22	0,79-1,38	1,05
Талнах, п-ов Таймыр	15	0,7-2,0	1,30
Аллареченское, Кольский п-ов	16	0,97-1,43	1,17
Ниттис-Кумужье, Кольский п-ов	9	0,68-2,78	1,65

Кроме того, на балансе находятся два техногенных месторождения, рас-

положенных в Мурманской области и на севере Красноярского края.

Добытые руды подвергаются обогащению с получением медно-никелевых и коллективных концентратов на собственных обогатительных фабриках компании, расположенных в непосредственной близости от шахт и карьеров. Богатые вкрапленные руды Печенгских месторождений с концентрацией никеля более 1,5 %, равно как и часть «медистых» и сплошных руд норильских объектов поступают напрямую на металлургический передел без обогащения. В 2012 г. «Норильским никелем» выпущено 4,67 млн т концентратов, содержащих 213,6 тыс. т никеля (см. табл. 6.19) [233,266].

Таблица 6.19.

Производство никеля и эмиссия Ch^{Hg} на предприятиях ОАО «Норильский Никель» в 2001 г.

Производство никеля, тыс. т	Объемы мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с концентратами никеля, т	Выброс Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу, т	Содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шлаках, шлаках и в канализацию, т	Количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) уловленной с пылью, т
218,0	5,90	3,10	1,43	1,37

Данные по другим производителям, представлены в табл. 6.20.

Таблица 6.20.

Производство никеля и эмиссия Ch^{Hg} на предприятиях (кроме ОАО ГМК Норильский Никель)

Предприятие	Производство никеля, тыс. тонн	Никель в руде, %	Извлечение никеля в товарный продукт, %	Всего никеля в руде, тыс. тонн	Пере-но руды, тыс. тонн	Кол-во Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в руде, кг
«Режникель»	0,299	1,00	89,5	0,334	33,407	3
«Уфалейникель»	7,107	0,90	88,1	8,06	896,328	80
«Южуралникель»	9,779	1,03	75,5	12,952	1257,505	113
ОАО «Уралэлектромедь»	0,954	-	-	-	-	-
Всего:					2187,24	196

При среднем содержании Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) 0,09 г/тонну никелевой руды поступление Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в подсистемы ОС, происходит следующим образом: 90 % Ch^{Hg} поступает в виде выбросов в атмосферу, а 10 % переходит в отходы.

Так как извлечение Ch^{Hg} вместе с никелем соотносилось к объему производства никеля, то распределение Ch^{Hg} по подсистемам ОС в последующие годы было принято решение рассчитывать как долю от Ch^{Hg} , мобилизованных в 2001 г. Полученные результаты приведены в табл. 6.21 и 6.22.

Таблица 6.21.

Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с никелевыми концентратами на предприятиях ОАО «Норильский никель», 2000-2012 г.

Год	Производство никеля, тыс. т	Удельное вовлечение Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) т/тыс. т	Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с медными концентратами, т
2000	217,0	0,02706	5,87
2001	218,0		5,90
2002	239,0		6,47
2003	239,0		6,47
2004	243,0		6,58
2005	244,0		6,60
2006	257,0		6,95
2007	234,4		6,34
2008	232,3		6,29
2009	232,8		6,30
2010	235,5		6,37
2011	237,2		6,42
2012	233,6		6,32

Таблица 6.22.

Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и ее поступление в отходы при добыче и переработке никеля на предприятиях ОАО «Норильский никель», 2000-2012 г.

Атмосфера, тонн	Шламы, шлаки и канализация, т	Уловленная пыль, т
3,09	1,42	1,36
3,10	1,43	1,37
3,40	1,57	1,50
3,40	1,57	1,50
3,45	1,59	1,53
3,47	1,60	1,53
3,65	1,69	1,61
3,33	1,54	1,47
3,30	1,52	1,46
3,31	1,53	1,46
3,35	1,54	1,48
3,37	1,56	1,49
3,32	1,53	1,47

Производство меди. Основные этапы производства меди представлены на рис. 6.6.



Рис. 6.6. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок производства меди

В Российских недрах заключено 91,4 млн т балансовых запасов меди. По добыче меди страна находится на седьмой позиции. Структура российской сырьевой базы меди составляют сульфидные медно-никелевые (40 % запасов России) и колчеданные (19 %) месторождения. Основное количество запасов меди Российской Федерации сконцентрировано в Красноярском и Забайкальском краях, а наибольшими перспективами для их наращивания обладает Дальневосточный федеральный округ, где выявлено почти 60 % российских ресурсов меди высокой категории достоверности [233].

Государственным балансом запасов РФ учтено 159 коренных месторождений меди; в 11 из них запасы только забалансовые. В распределенном фонде числится 102 объекта, в том числе все значимые российские месторождения меди. Балансом также учитываются пять техногенных месторождений, расположенных в Мурманской и Свердловской областях; их суммарные запасы составляют 80,4 тыс. т меди. Разведанные запасы меди техногенных месторождений снизились на 3 тыс. т. [233].

Потребление металла в РФ на протяжении трех последних лет находится на уровне 24 тыс. т в год (менее 1,5 % мирового). Российские горнорудные предприятия практически исчерпали потенциал увеличения добычи. Добыча меди в России в 2012 г. сократилась по сравнению с предыдущим годом на 1,7

% и составила 841,8 тыс. т. Разрабатывались 44 коренных (36 преимущественно медных и восемь комплексных) и два техногенных месторождения. Ch^{Hg} присутствуют в медных рудах в качестве примеси и извлекается в процессе добычи и обогащения. Среднее содержание Ch^{Hg} в некоторых месторождениях приведено в табл. 6.23 [233,266].

Таблица 6.23.

Средние содержания Ch^{Hg} в рудах медных месторождений РФ

Месторождение, регион	Кол-во проб	Содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/т	Среднее содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/т
Учалы, Южный Урал	7	3,2-19,75	9,8
Им. XIX партсъезда, Южный Урал	9	4-27	12,0
Сибай, Южный Урал	8	3,7-23,10	11,2
Гайское, Южный Урал	14	5-27	13,0
Урупское, Северный Кавказ	13	6,34-13,76	8,9
Им. 50 лет октября, Зап. Казахстан	7	0,92-2,04	1,3
Кусмурун, Зап. Казахстан	11	4,3-16,70	9,2
Джезгазган, Центр. Казахстан	15	2,8-3,68	3,1
Удокан, Забайкалье	11	0,77-1,68	1,1
Коунрад, Центр. Казахстан	8	0,76-1,02	0,9

Медные и медьсодержащие руды перерабатываются на фабриках горно-обогатительных предприятий, принадлежащих компаниям, осуществляющих добычу. В 2012 г. в России было произведено 580,9 тыс. т меди в концентратах – около 572,9 тыс. т из вкрапленных сульфидных руд и 8 тыс. т из шлаков, что сопоставимо с уровнем прошлого года (585,4 тыс. т) [233].

В 2012 г. выпуск рафинированного металла составил 887,4 тыс. т, уменьшившись на 4 % по сравнению с 2011 г. Из руд и концентратов произведено около 732,4 тыс. т рафинированной меди, из вторичного сырья – около 155 тыс. т. [233].

Доля рафинированной меди, производимой в РФ из вторичного сырья – лома и отходов цветных металлов, составляет в последние годы 15-20 % (в 2012 г. – 17,5 %). В 2012 г. из России экспортировано 254 тыс. т рафинированной меди – почти на 40 % больше, чем в 2011 г. [233].

Потребление рафинированной меди в РФ в 2012 г составило 633 тыс. т;

это более 70 % произведенного в стране металла. В РФ металл используется, в основном, для изготовления медной проволоки. Ведущим источником российской меди в настоящее время являются месторождения сульфидного медно-никелевого типа в Красноярском крае, а в будущем намечены перспективы наращивания добычи, связанные, главным образом, с освоением Удоканского месторождения медистых песчаников в Забайкалье [233].

При рассмотрении общего объема распределения ртути при производстве меди за период 2000-2012 г. можно отметить умеренный рост объемов производства в течение 10 лет от 242 тыс. т (2001 г.) до почти 380 тыс. т (2012 г.). Мобилизация Ch^{Hg} с концентратами меди также соответствует уровню производства чистой меди (см. табл. 6.24) [233,266].

Таблица 6.24.

Производство черновой меди заводами Урала из концентратов, и эмиссия Ch^{Hg} в 2001 г.

Производство меди, тыс. т	Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с концентратами меди, т	Выброс Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу, т	Количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шлаках, т	Количество Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в шлаках, т	Объемы поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в канализацию, т
242,0	22,96	1,95	6,21	0,46	0,38

Результаты расчета общего количества Ch^{Hg} , которые поступает в подсистемы ОС, а также содержатся в побочных продуктах и отходах, представлены в табл. 6.25.

Таблица 6.25.

Распределение Ch^{Hg} в побочных продуктах и отходах

Общее количество извлеченной Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), т/год	Расчетные поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в подсистемы ОС, побочных продуктах и отходах, т/год				
	Атмосфера	Гидросфера	Почва	Побочные продукты	Отходы
29,917	2,992	0,598	0	12,566	13,763

Так как извлечение Ch^{Hg} в медный концентрат уральских медных заводов соотносилось к объему производства черновой меди этими предприятиями, распределение Ch^{Hg} по подсистемам ОС в последующие годы было принято

решение рассчитывать как долю от Ch^{Hg} , мобилизованных в 2001 г. Полученные результаты приведены в табл. 6.26 и 6.27.

Таблица 6.26.

Мобилизация ртути с медными концентратами на уральских предприятиях в РФ в 2000-2012 г.

Год	Производство меди, тыс. т	Удельное вовлечение Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в переработку т/тыс. т	Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с медными концентратами, т
2000	252,0	0,09487	23,91
2001	242,0		22,96
2002	268,0		25,43
2003	230,2		21,84
2004	283,9		26,93
2005	278,9		26,46
2006	324,5		30,79
2007	347,1		32,93
2008	272,3		25,83
2009	321,8		30,53
2010	345,1		32,74
2011	375,9		35,66
2012	379,9		36,04

Таблица 6.27.

Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и их поступление в отходы при добыче и переработке меди на уральских предприятиях в РФ, 2000-2012 г.

Атмосфера, т	Шламы, т	Шлаки, т	Канализация, т
2,03	6,47	0,48	0,39
1,95	6,21	0,46	0,38
2,16	6,88	0,51	0,42
1,86	5,91	0,44	0,36
2,29	7,29	0,54	0,44
2,25	7,16	0,53	0,44
2,62	8,33	0,62	0,51
2,80	8,91	0,66	0,54
2,20	6,99	0,52	0,43
2,60	8,26	0,62	0,50
2,79	8,86	0,66	0,54
3,04	9,65	0,72	0,59
3,07	9,75	0,73	0,59

6.5. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений от химических производств

Основные ХТС, в которых использовались Ch^{Hg} , - это производства хлора и щелочи, а также мономера винилхлорида. До 99 г. на двух предприятиях применялась металлическая ртуть в производстве витамина В₂ (рибофлавина). Сульфат ртути (II) использовался до 2000 г. в качестве катализатора для изготовления красок (1-аминоантрацен). Производство ртутьорганических пестицидов в СССР было начато на химическом заводе «Синтез» в г. Дзержинске Нижегородской области в 1955 г. (5 т), на котором уже к 1960 г. производилось до 200 т пестицидов в год. Через 20 лет это производство стало сокращаться и в 1989 г. снизилось до 50 т. Производство гранозана на этом заводе было закрыто в 1989 г. В СССР ртутные катализаторы использовались для производства ацетальдегида, но данное предприятие было расположено в Казахстане (г. Темиртау, Карагандинская область) [266].

6.5.1. Хлор-щелочное производство с использованием ртутной технологии

Около 30 % хлора в РФ производилось с использованием ртутного электролиза, остальная часть – с применением диафрагменного и мембранного методов. В настоящее время в РФ работают три производства по выпуску каустической соды и хлора ртутным методом⁶¹:

- ОАО «Каустик» г. Стерлитамак, Республика Башкортостан (с 1977 г.);
- ОАО «Каустик» г. Волгоград, Волгоградская область (с 1968 г.);
- ООО «ГалоПолимер» г. Кирово-Чепецк Кировская область (с 1955 г.).

В 2012 г. потребление ртути в качестве катализатора на хлорно-щелочных производствах составляло 39,7 т. Подробные значения о распределении ртути о подсистемах ОС приведены в табл. 6.28, данные получены на основе материального баланса ртути в хлорно-щелочном производстве [275,276].

⁶¹ Импорт отдельных товаров. ЕМИСС. <https://www.fedstat.ru/indicator/data.do?id=37395>

Таблица 6.28.

Баланс ртути на хлорно-щелочных производствах в 2012 г.

Предприятие	Потребление ртути, т/год	Эмиссия в продукты, т/год	Эмиссия в воду, т/год	Эмиссия в атмосферу, т/год	Твердые отходы, т/год	Мех. потери, т/год
ОАО «Каустик», г. Волгоград	0,6673	0,029	0,0366	0,1347	0,487	-0,02
ОАО «Каустик», г. Стерлитамак	2,5875	0,03968	-	0,059916	0,0016	2,486304
ООО «ГалоПолимер» г. Кирово-Чепецк	36,4864	0,00806	0,00962	0,165	36,2776	0,02612
Итого, кг/год	39,7412	0,07674	0,04622	0,35962	36,7662	2,49242

Необходимо отметить, что под механическими потерями понимается потеря ртути в процессе перегрузки ее в электролизеры. Основное количество ртути использовалось на Кирово-Чепецком предприятии и почти вся ртуть (36,3 т) в виде нерастворимого сульфида депонировалась на специализированном полигоне. Имеется некоторая неточность данных, которая проявляется в виде отрицательных значений у Волгоградского предприятия.

По результатам статистических отчетов, представленных XII, также известны объемы потребления Ch^{Hg} и их распределение по подсистемам ОС за 1997 и 2002 г. (см. табл. 6.29) [266].

Таблица 6.29.

Баланс Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) на хлорно-щелочных производствах РФ в 1997 и 2002 г.

Предприятие	Год	Потребление ртути, т/год	Эмиссия в продукты, т/год	Эмиссия в воду, т/год	Эмиссия в атмосферу, т/год	Твердые отходы, т/год	«Механические потери», т/год
ООО «ГалоПолимер» г. Кирово-Чепецк	1997	12,587	0,027	0,00127	0,108	12,43	0,02
	2002	15,133	0,031	0,000125	0,147	14,94	0,02
ОАО «Каустик», г. Волгоград	1997	27,846	0,090	0,0017	0,646	2,9	24,21
	2002	6,38	0,080	0,0008	0,389	1,4	4,51
ОАО «Каустик», г. Стерлитамак	1997	9,131	0,242	0,000768	0,889	-	8,00
	2002	4,630	0,022	0,000139	0,441	0,007	4,16
ОАО «Саянск-хим-пласт», г. Саяны	1997	24,424	0,031	-	0,653	10,36	13,38
	2002	70,828	0,080	-	0,238	22,9	47,61

Предприятие	Год	Потребление ртути, т/год	Эмиссия в продукты, т/год	Эмиссия в воду, т/год	Эмиссия в атмосферу, т/год	Твердые отходы, т/год	«Механические потери», т/год
Итого, кг/год	1997	73,986	0,390	0,000374	2,296	25,69	45,61
	2002	96,978	0,213	0,0011	1,215	39,26	56,29

В связи с высокой экологической нагрузкой и большими экономическими затратами на различные защитные мероприятия, в 2006 г. было прекращено получение хлора и каустической соды на ОАО «Саянскхимпласт» г. Саянск. Кроме того, технология ртутного электролиза в 1980-90-х г. была остановлена на следующих производствах:

- ПО «Капролактам» (г. Дзержинск, Нижегородская область) мощностью ~10 тыс. т/год щелочи (в 1982 г.);
- ОАО «Каустик», производство «Кребс» (г. Стерлитамак, Республика Башкортостан) мощностью 86 тыс. т/год щелочи (в 1988 г.);
- ОАО «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область), мощностью 100 тыс. т/год щелочи (в 1998 г.).

Также в 1990-х годах были закрыты небольшие производства и установки по получению каустической соды и хлора, действовавшие на целлюлозно-бумажных комбинатах в г. Светогорске (Ленинградская обл.), Новодвинске и Коряжме (Архангельская обл.) и Комсомольске-н/Амуре (Хабаровский край.) [266,276].

Для непосредственного расчета использования и эмиссии Ch^{Hg} в ОС необходимы показатели, приведенные выше (табл. 6.28 и 6.29), но из-за того, что они отсутствуют в доступных источниках информации, данный способ расчета не используется. Заменить его может способ, который выявляет связь потребления и эмиссии Ch^{Hg} с производством и объемом производства щелочи, но с учетом того, что удельные величины не постоянны и с годами меняются. Расчет этих данных наиболее оптимально производить следующим методом на основе интерполяции: Весь временной диапазон разбивается на два периода 1997-2001 г. и 2002-2012 г. В каждом из них вычисляется разница между годами и делится на число лет в отрезке:

$$P_{\Delta}=P_n + P_{n-5}/5, \quad (100)$$

$$P_{\Delta}=P_n - P_{n-10}/10, \quad (101)$$

где: P_n – значение использования или поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС в последний год временного отрезка (мг); P_{Δ} – значение разницы использования или поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС между годами (мг).

В каждом из отрезков показатель использования или эмиссии ртути получается разнонаправленным, в первом – тенденция роста, а во втором – снижения. Поэтому полученные значения прибавляются или отнимаются в зависимости от значения эмиссии или объема использования ртути в предыдущий год:

$$P_{n-4}= P_{n-5}+P_{\Delta}, \quad (102)$$

$$P_{n-4}= P_{n-5}-P_{\Delta}, \quad (103)$$

где: P_n – значение использования или эмиссии ртути в последний год временного отрезка (мг); P_{Δ} – значение разницы использования или эмиссии ртути между годами (мг).

Расчеты по первому периоду проводятся на основе данных по четырем работавшим предприятиям, во втором же использовались данные трех заводов. За период 2003-2006 к ним прибавлялись значения использования и эмиссии Саянского предприятия от 2002 г. как постоянная величина. В табл. 6.30 приведены значения за период 1997-2012г.г.

Таблица 6.30.

Расчет потребления и эмиссии ртути в хлорно-щелочном производстве

Год	Итоговое потребление	Итоговая эмиссия в продукты	Итоговая эмиссия в атмосферу	Итоговые твердые отходы	Итоговые мех. потери
1997	73,986	0,390	2,296	25,690	45,610
1998	78,584	0,355	2,080	28,404	47,746
1999	83,182	0,320	1,864	31,118	49,882
2000	87,780	0,285	1,648	33,832	52,018
2001	92,378	0,250	1,432	36,546	54,154
2002	96,978	0,213	1,215	39,260	56,290
2003	98,330	0,207	1,153	41,289	55,680
2004	99,690	0,201	1,091	43,331	55,060
2005	101,050	0,195	1,029	45,373	54,440
2006	102,410	0,189	0,967	47,415	53,820
2007	32,942	0,103	0,667	26,557	5,590
2008	34,302	0,097	0,605	28,598	4,970

Год	Итоговое потребление	Итоговая эмиссия в продукты	Итоговая эмиссия в атмосферу	Итоговые твердые отходы	Итоговые мех. потери
2009	35,662	0,091	0,543	30,640	4,350
2010	37,022	0,085	0,481	32,682	3,730
2011	38,382	0,079	0,419	34,724	3,110
2012	39,741	0,077	0,360	36,766	2,492

При проведении расчета итоговых показателей потребления и эмиссии ртути в хлорно-щелочном производстве допускается несколько погрешностей. Во-первых, в действительности, возможно, были существенные колебания объемов потребления ртути на предприятиях, что не отражено в модели, во-вторых, в расчетах допускается некоторое усреднение количеств ртути для всех остальных лет.

6.5.2. Производство мономера винилхлорида с использованием дихлорида ртути как катализатора

В бывшем СССР в 1960-1970-х г. введены в эксплуатацию 7 производств винилхлорида, использующих ацетилен в качестве исходного сырья. Общая мощность этих производств (Стерлитамак, Усолье-Сибирское, Новомосковск, Дзержинск, Волгоград) составляла около 260 тыс. т в. Большая часть этих производств к настоящему времени закрыта [266,277]. В период с 2000 г. были закрыты производства мономера винилхлорида:

- ОАО «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область),
- ОАО Новомосковская акционерная компания «Азот» (НАК «Азот»),

Тульская область

Доля производства винилхлорида каталитическим гидрохлорированием ацетилена с использованием ртутьсодержащего катализатора в общем объеме производства в России за период с 2008 по 2013 г. снизилась с 14,3 до 10,5 % [266,277].

По состоянию на конец 2013 г. использование ртутьсодержащего катализатора (HgCl_2 /активированный уголь) осуществлялось на двух Волгоградских предприятиях: ОАО «Каустик» и ОАО «Химпром». В период с 2008 по 2012 г. на предприятиях, производящих винилхлорид, было использовано более 350 т

катализатора, содержащего около 34 т ртути (см. табл. 6.31) [277].

Таблица 6.31.

Использование и эмиссия ртути при производстве мономера винилхлорида за 2002-2013 г.

Год	Вход ртути в производстве ВХ	Выход ртути с производства ВХ			
	Ртути, т/год	Рецикл, т/год	В шламах, т/год	В сточных водах, т/год	В выбросах в атмосферу, т/год
2002	15,500	3,565	11,780	0,004	0,004
2008	8,646	1,995	6,643	0,004	0,004
2009	6,485	1,497	4,982	0,003	0,003
2010	6,533	1,508	5,019	0,003	0,003
2011	6,485	1,497	4,982	0,003	0,003
2012	6,196	1,429	4,761	0,003	0,003
2013	5,956	1,374	4,576	0,003	0,003
2008-2013	55,801 (100,0 %)	12,865 (23,07 %)	42,743 (76,60 %)	0,023 (0,05 %)	0,023 (0,05 %)

На ХП, производящих винилхлорид методом гидрохлорирования ацетилена, организованы системы очистки и разбавления воды для снижения концентрации, обеспечивающие достижение остаточного содержания Ch^{Hg} в сточных водах и сбрасываемых в атмосферу газах, на уровне, не превышающем ПДК [277].

Отработанный катализатор гидрохлорирования ацетилена, содержащий около 3 % массовой доли сулемы, полностью направляется на переработку в специализированную организацию ОАО НПП «Кубаньцветмет» для извлечения и повторного использования ртути [277].

Для составления рядов всех значений использования ртути и эмиссии необходимы данные за 2003-2007 г., а также данные за 2000-2001 г. Данные за 2000 и 2001 г. взяты те же, что и за 2002 г., а для расчета показателей методом интерполяции используем те же формулы, что и в расчетах, использованных для эмиссии ртути при хлорно-щелочном производстве. Отличаться будет только временной отрезок:

$$P_{\Delta} = P_n + P_{n-6}/6, \quad (104)$$

где: P_n – значение использования или эмиссии ртути в последний год временного отрезка (мг); P_{Δ} – значение разницы использования или эмиссии ртути между годами (мг).

P_{Δ} отнимается ее от значений за 2002 г:

$$P_{n-4} = P_{n-5} - P_{\Delta}, \quad (105)$$

Аналогичным образом рассчитываются значения не только поступившей ртути на предприятия, но и выход ртути на рециклинг и отходы (см. табл. 6.32)

Таблица 6.32.

Потребление, рециклинг и отходы ртути при производстве винилхлорид мономера

Год	Использовано ртути, т/год	Ртуть отгруженная на рециклинг, т/год	Ртуть в шламах, т/год
2000	15,500	3,565	11,780
2001	15,500	3,565	11,780
2002	15,500	3,565	11,780
2003	14,328	3,303	10,924
2004	13,156	3,041	10,068
2005	11,984	2,779	9,212
2006	10,812	2,517	8,356
2007	9,640	2,255	7,500
2008	8,466	1,995	6,643
2009	6,485	1,497	4,982
2010	6,533	1,508	5,019
2011	6,485	1,497	4,982
2012	6,196	1,429	4,761
2013	5,956	1,374	4,576

При расчетах использовано одно основное приближение: в значениях потребления, рециклинга и отходов ртути при производстве винилхлорид мономера за 2002 г. учитывалось 4 работающих предприятия, когда как в 2008 работало только три. Таким образом, в один из годов в промежутке между 2002 и 2008 г. было скачкообразный спад использования ртути. Данная модель этого спада не отображает и не учитывает.

6.6. Алгоритм приобретения дополнительных данных по поступлению в окружающую среду ртути и ее соединений из приборов и устройств бытового и промышленного назначения

6.6.1. Ртутные термометры

В настоящее время в России единственным производителем ртутных термометров является ОАО «Термоприбор» (г. Клин, Московская область) как правопреемник Клинского термометрового завода, который свою первую продукцию выпустил в 1956 г. В первые годы после пуска Клинский завод серийно производил до 100 наименований (видов) ртутных термометров, а также другие ртутные приборы (барометры, манометры, переключатели и выключатели), на изготовление которых использовалось до 100-130 т ртути в год. В 1990 г. потребление ртути на заводе составило 93,2 т. [266].

В бывшем СССР в 1990-1998 г. объемы производства и, соответственно, потребления ртути на ОАО «Термоприбор» постепенно снижались, а затем с 1998 г. стали возрастать. В 1998-2002 г. до 97-98 % производимой здесь продукции составлял медицинский термометр, а остальная часть приходилась на долю промышленных (технических) термометров (табл. 6.33). Производство ртутных барометров, манометров и переключателей на заводе полностью прекращено [266].

Таблица 6.33.

Производство ртутных термометров и использование ртути в РФ 1998-2002 г.

Год	Производство медицинских термометров			Производство прочих термометров			Всего ртути, т	Техн. потери, т
	Кол-во, млн. шт.	Содержание ртути, г	Кол-во ртути, т	Кол-во, млн. шт.	Содержание ртути, г	Кол-во ртути, т		
1998	7,2560	2	14,512	0,1926	3,865	0,744	15,256	0,1
1999	8,4305	2	16,861	0,1974	3,967	0,783	17,644	0,115
2000	10,9577	2	21,861	0,2217	4,633	1,027	22,943	0,150
2001	11,6955	1,85	21,915	0,2803	8,552	2,397	24,034	0,157
2002	13,1773	1,85	21,636	0,2706	4,4	1,201	25,579	0,167

С 1971 г. и, примерно, до середины 1990-х г. производство ртутных тер-

мометров осуществлялось также на заводе «Стеклоприбор» (ныне ЗАО «ЕВРОГЛАСС») в пос. Голынки (Руднянский район Смоленской области). В последние годы функционирования производства ежегодно использовалось до 19 т ртути [266].

Поскольку нет достоверных данных о внутреннем потреблении ртути в процессе производства и использования термометров, мы на основе имеющихся данных за 2000-2002 г. предположим, что внутренне потребление термометров составляет примерно 14 млн. штук в год. Исходя из среднего содержания ртути в одном термометров в 1,85 грамм, потребление ртути на эти цели составляет порядка 27 тонн в год.

6.6.2. Ртуть-содержащие источники света

В общем объеме потребления товаров, содержащих ртуть, наибольшая доля приходится на ртутьсодержащие источники света, что достигается, в первую очередь, за счет коммунального сектора народного хозяйства [278,279].

В России основными производителями ртутных ламп (разрядных люминесцентных ламп низкого давления) являются ОАО «Лисма» (г. Саранск, Республика Мордовия) и ОАО «Свет» (г. Смоленск). Объемы производства в указанных организациях находятся на уровне 35 млн. ламп в год. Смоленский электроламповый завод ОАО «Свет» в 2003 г. вошел в состав германского концерна OSRAM [278,279].

Ртутные лампы – компактные люминесцентные лампы в небольшом количестве (до 500-600 тыс. шт./год) изготавливаются в ОАО «Лисма-ВНИИИС». Кроме того, на Саранском электроламповом заводе (ОАО «Лисма-СЭЛЗ») ⁶², на Саранском заводе специальных источников света и электровакуумного стекла (ОАО «Лисма-СИС-ЭВС») и в ОАО «Лисма-ВНИИИС» осуществлялся выпуск ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления (около 5,8 млн. шт. в год) [266,279].

Другие российские производители (5-6 предприятий) ртутных ламп (в

⁶² Сайт Саранского электролампового завода. <http://www.selz.ru/>

основном высокого давления и специального назначения) обладают незначительными производственными мощностями (как правило, до 150-200 тыс. ламп в год). По имеющимся сведениям, на некоторых из них производство ртутных ламп высокого давления осуществляется с использованием готовых разрядных трубок (ртутных горелок), поставляемых из-за рубежа [279].

Сведения, характеризующие уровни содержания Ch^{Hg} в основных типах ламп, выпускаемых российскими электроламповыми заводами⁶³, приведены в табл. 6.34, в которой систематизированы данные о содержании ртути в лампах крупнейших светотехнических компаний – Philips, Osram (Siemens) и General Electric Lighting, производящих свыше 65 % всех выпускаемых в мире ртутных ламп [279,280,281].

Таблица 6.34.

Содержание Ch^{Hg} в основных типах ртутных ламп российских электроламповых заводов

Тип ламп	Количество ртути в лампе, мг
Люминесцентные (трубчатые)	40-65 (среднее 52)
Люминесцентные компактные	5
Высокого давления (типа ДРЛ)	75-350
Высокого давления (типа ДРТ)	50-600
Металлогалогенные	40-60
Натриевые высокого давления	30-50
Неоновые трубки не менее	10

Используемая на российских электроламповых предприятиях технология изготовления указанных ламп изначально базировалась на введении в каждое изделие от 80 до 120 мг металлической ртути⁶². Именно такое количество металла помещается в автомат-дозатор, причем в каждую лампу, в конечном счете, попадает примерно 50-80 мг ртути (остальная ртуть теряется в ходе технологического процесса) [266,281].

Современные компактные люминесцентные лампы (образца 2008 г.) не содержат жидкой ртути. При этом общее количество ртути в амальгаме находится на уровне 2-3 мг. В табл. 6.35 приведена информация об объемах производства⁶³ ртутьсодержащих ламп в 2005-2010 г. [281].

⁶³ Россия: рынок электроламп. <http://subscribe.ru/archive/business.marketnews>.

Таблица 6.35.

Объемы производства ртутьсодержащих ламп в 2005-2010 г. (тыс. шт.)

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Люминесцентные	61823,2	62911,6	79109,5	74772,7	75614,3	92200,0
Лампы разрядные высокого давления	4070,2	3322,7	4302,5	3839,7	3678,1	4290,0

Объёмы выпуска натриевых и металлогалогенных ламп в Российской Федерации в 2010 г. составили 570,0 тыс. шт. и 90,0 тыс. шт. соответственно, при оцениваемой ёмкости российского рынка 2,0 млн шт. натриевых ламп и 1,1 млн шт. металлогалогенных ламп. Доля натриевых ламп российского производства в 2010 г. составила 28,4 %, доля российских металлогалогенных ламп – 8,0 % [281].

Анализ внешнеэкономической деятельности участников светотехнического рынка проведён в направлении изучения и оценки внешнеторговых операций российских производителей, экспортёров и импортёров. Динамика объёмов импорта изделий за 2008-2010 г.⁶³ приведена в натуральном выражении в табл. 6.36 [281].

Таблица 6.36.

Объем импорта ртутьсодержащих источников света в РФ

Группа ламп (млн. шт.)	2008	2009	2010
Люминесцентные лампы	59,9	39,5	45,5
Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	51,3	62,2	172,2
Ртутные лампы высокого давления	4,4	2,8	5,3
Металлогалогенные лампы	0,5	0,5	1,0

Оценка видимого внутреннего потребления российского рынка ртутьсодержащих ламп в Российской Федерации осуществлена в натуральном выражении на основе сведений об объёмах производства, экспорта и импорта за 2005–2010 г. по формуле:

$$E_{\text{л}} = \Pi_{\text{л}} - \text{Э}_{\text{л}} + \text{И}_{\text{л}}, \quad (106)$$

где: $E_{\text{л}}$ – внутреннее потребление ртутьсодержащих ламп (шт); $\Pi_{\text{л}}$ – объёмы производства ламп (шт); $\text{Э}_{\text{л}}$ – экспорт ламп (шт); $\text{И}_{\text{л}}$ – импорт ламп (шт).

Результаты расчётов приведены в табл. 6.37.

Таблица 6.37.

**Оценка объемов ртутьсодержащих источников света,
присутствующих на российском рынке**

Наименование, млн. шт.	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Люминесцентные с термокатодом, двухцокольные	86,462	101,477	139,498	116,975	93,506	119,815
Лампы люминесцентные прочие (в т.ч. КЛЛ)	6,3699	13,887	32,796	51,173	60,853	173,478
Лампы ртутные	8,777	6,174	9,479	7,856	6,193	9,924
Лампы натриевые	3,0464	0,4132	1,0956	1,4401	1,054	2,0092
Лампы металлогалогеновые	5,965	0,175	0,4064	0,6553	0,54	1,122

Поскольку известны концентрации ртути в лампах различного типа можно рассчитать минимальный объем ртути, использовавшейся для их производства (см. табл. 6.38).

Таблица 6.38.

Количество ртути, присутствующей в люминесцентных лампах, произведенных в РФ

Наименование	Содержание ртути в лампе, мг	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Люминесцентные с термокатодом, двухцокольные	52	4,496	5,277	7,254	6,083	4,862	6,230
Лампы люминесцентные прочие (в т.ч. КЛЛ)	5	0,032	0,069	0,169	0,256	0,304	0,867
Лампы ртутные	250	2,194	1,544	2,370	1,964	1,548	2,481
Лампы натриевые	40	0,122	0,017	0,044	0,058	0,042	0,080
Лампы металлогалогеновые	50	0,298	0,009	0,020	0,033	0,027	0,056

Таким образом, можно оценить общее содержание ртути в лампах за период 2005-2010 г. Данные за предыдущие и последующие годы можно получить интерполировав и экстраполировав соответственно эти результаты.

Полученные результаты поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС были обобщены по федеральным округам (табл. 6.39).

Таблица 6.39.

Поступление Ch^{Hg} (кг/год) в пересчете на ртуть в различные подсистемы ОС по федеральным округам

Федеральный округ Скорость поступления ртути	Южный	Центральный	Уральский	Северо-Кавказский	Северо-Западный	При-волжский	Дальневосточный	Сибирский
Атмосфера	1104	2368	1771	548	1014	1971	8471	13099
Гидросфера	144	82	1056	639	75	1495	3893	5620
Почва	5265	865	18679	193	343	685	127785	36118

И по субъектам Российской Федерации (табл. 6.40).

Таблица 6.40.

Скорость поступления Ch^{Hg} (кг/год) в пересчете на ртуть в различные подсистемы ОС по субъектам федерации

Регион/округ	атмо-сфера	гидро-сфера	отходы	Регион/округ	атмо-сфера	гидро-сфера	отходы
	кг/год	кг/год	кг/год		кг/год	кг/год	кг/год
Центральный федеральный округ	4745	82	38879	Дальневосточный федеральный округ	8510	3893	128135
Белгородская область	8	3	97	Республика Саха (Якутия)	998	473	21240
Брянская область	73	3	80	Камчатский край	21	1	20
Владимирская область	114	3	217	Приморский край	212,59	8,63	254,53
Воронежская область	134	5	148	Хабаровский край	237	57	2617
Ивановская область	65	2	69	Амурская область	6442	3135	94110
Калужская область	58	2	64	Магаданская область	24	0,3	17
Костромская область	39	1,4	42	Сахалинская область	116	1	77
Курская область	65	2	71	Еврейская авт.область	21,5	0,4	16
Липецкая область	68	2,6	78	Чукотский авт.округ	440	217	9784
Московская область	453	15	485	Сибирский федеральный округ	14774	5620	278420
Орловская область	2316	1,6	36370	Республика Алтай	14	0,4	13
Рязанская область	125	3	74	Республика Бурятия	386	156	7020
Смоленская область	57	2	63	Республика Тыва	29	0,7	36
Тамбовская область	62,5	2,3	69	Республика Хакасия	33	1,1	35
Тверская область	78	2,8	86	Алтайский край	207	5	833
Тульская область	188	3	95	Забайкальский край	1205	556	25013
Ярославская область	87	3	81	Красноярский край	7583	3634	187907
г. Москва	676	24	689	Иркутская область	3921	1249	56352
Северо-Западный федеральный округ	1458	75	9374	Кемеровская область	822	6	528
Республика Карелия	38	1,3	40	Новосибирская область	317	6	446
Республика Коми	626	3	303	Омская область	178	5	172
Архангельская область	103	12	149	Томская область	80	2,2	66
Ненецкий авт. округ	4	0,09	3	Уральский федеральный округ	9373	1956	90506
Вологодская область	71	2,5	76	Курганская область	54	2	58
Калнинградская обл.	55	2	59	Свердловская область	2122	390	42353
Ленинградская область	132	4	113	Тюменская область включая автономные округа	201	7	206
Мурманская область	65	2	8249	Ханты-Мансийский авто-	91	3	92

Регион/округ	атмо-сфера	гидро-сфера	отходы	Регион/округ	атмо-сфера	гидро-сфера	отходы
	кг/год	кг/год	кг/год		кг/год	кг/год	кг/год
				номный округ			
Новгородская область	37	1,3	40	Ямало-Ненецкий авт.округ	32	1,1	32
Псковская область	39	1,4	43	Челябинская область	6874	1553	47765
г. Санкт-Петербург	288	10	299	Приволжский федеральный округ	11783	1495	101859
Южный федеральный округ	1575	144	5827	Республика Башкортостан	9945	1429	30331
Республика Адыгея	27	0,9	28	Республика Марий Эл	42	1,5	43
Республика Калмыкия	18	0,6	18	Республика Мордовия	48	1,7	54
Краснодарский край	744	86	330	Республика Татарстан	227	8	236
Астраханская область	59	2,12	63,28	Удмуртская Республика	87	3,1	95
Волгоградская область	301	45	4962	Чувашская Республика	72	2,6	78
Ростовская область	427	9	426	Пермский край	168	6	173
Северо-Кавказский федеральный округ	3641	639	14215	Кировская область	256	12	92
Республика Дагестан	166	6	176	Нижегородская область	200	7	209
Респ. Ингушетия	26	0,9	25	Оренбургская область	236	4	70018
Кабардино-Балкарская Республика	50	1,8	52	Пензенская область	79	3	87
Карачаево-Черкесская Республика	385	72	2161	Самарская область	202	7	203
Республика Северная Осетия-Алания	2781	549	11547	Саратовская область	148	5,5	158
Чеченская Республика	75	2,7	78	Ульяновская область	74	2,7	81
Ставропольский край	159	6	173	ИТОГО:	55860	13904	667216

6.7. Выводы

1. В результате сбора и приобретения недостающих дополнительных данных были получены показатели использования или мобилизации Ch^{Hg} , а также значения эмиссии по подсистемам ОС на временном отрезке 2000-2012 г.

2. Разработанные алгоритмы приобретения дополнительных данных позволяют не только оценивать текущую ситуацию с поступлением Ch^{Hg} в подсистемы ОС и по всем цепям поставок продукции, но и составлять прогнозы на будущее.

3. Полученные результаты поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС обобщены по федеральным округам (см. табл. 6.39) и по субъектам РФ (см. табл. 6.40).

ГЛАВА 7. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕШЕНИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБАХ

7.1. Методические основы разработки и компьютерный анализ различных сценариев поступления в окружающую среду ртути

Составление автором прогноза обращения Ch^{Hg} основано на трех сценариях: «Базовом», «Минаматская конвенция» и «Замена угля на газ».

В «Базовом» сценарии заданы условия, при которых извлечение Ch^{Hg} с цветными металлами оставалось на уровне 2012 г. Использование Ch^{Hg} на ХП сохранялось на уровне 2012 г., поскольку технологии являются устаревшими, расширение этих ХП маловероятно. Потребление ртутьсодержащих ламп и термометров также сохранялось на уровне 2012 г., в виду насыщенности внутреннего рынка. Вместе с тем, учитывался рост потребления угля, нефти и природного газа прогнозируется в 2, 1,3, и 1,35 раза соответственно, согласно развитию энергетической стратегии России до 2030 г.⁶⁴

На рис. 7.1 приведена диаграмма изменения объемов мобилизации Ch^{Hg} в РФ в период за 2000-2030 г. Некоторое снижение отмечается после 2006 г. в связи с закрытием производства каустической соды и хлора с использованием ртути на предприятии ОАО «Саянскхимпласт», когда объем мобилизации Ch^{Hg} составил максимальный уровень в 272 тонны. Поэтому в 2007 г. мобилизация Ch^{Hg} снизилась до 210 тонн. Прогнозируемый рост активного использования угля и нефти, а также их продуктов в производстве и сжигании ведет к увеличению объема мобилизации Ch^{Hg} и составит 252 тонны в 2030 г.

⁶⁴ Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р. <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/>.

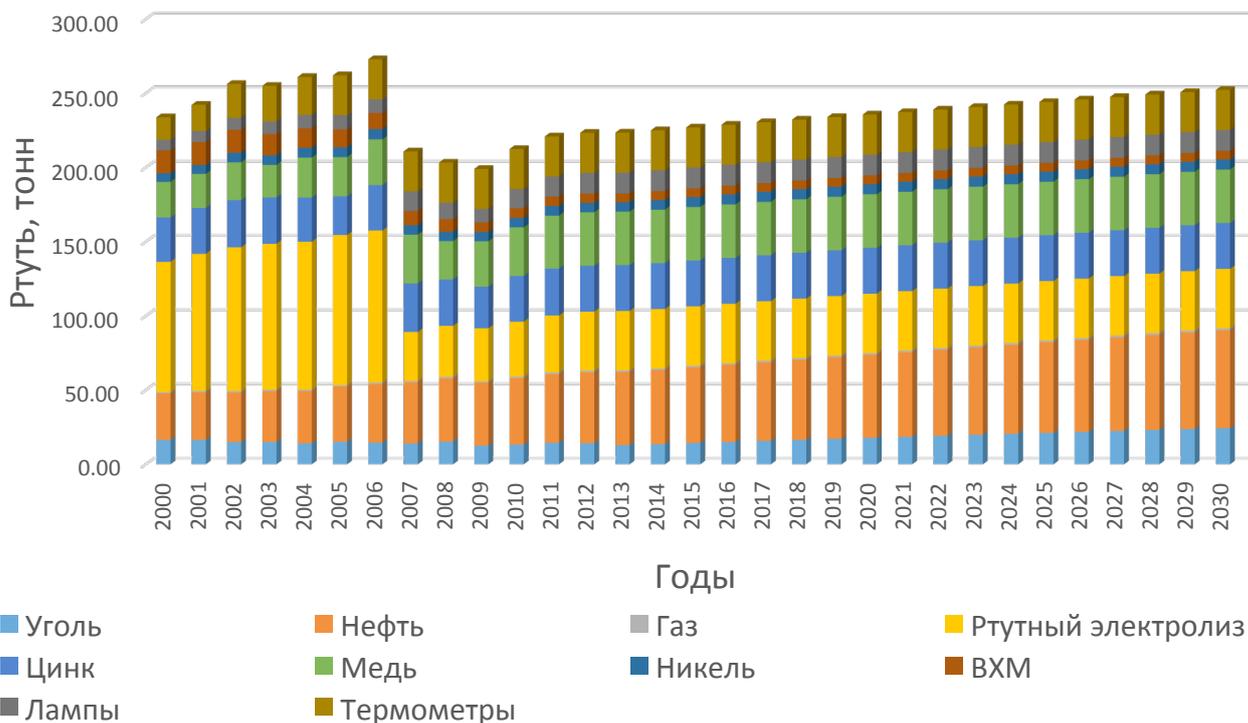


Рис. 7.1. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в России 2000-2030 г.

Необходимо отметить, что распределение источников мобилизации Ch^{Hg} за период претерпела определенные изменения в период 2000-2012 г. (рис. 7.2, 7.3). Значительно сократились доли категорий использования ртути в хлорно-щелочном производстве и производстве винилхлорида мономера с 35,7 % и 6,6 % до 17,8 % и 2,7 % соответственно и возросли категории извлечения ртути с медными концентратами и при производстве термометров с 13,3 % и 6,5 % до 17,5 % и 9,8 % соответственно.

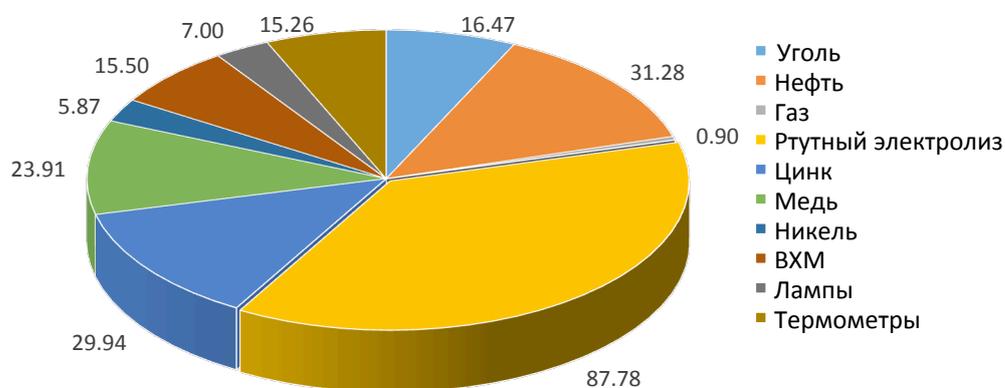


Рис. 7.2. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} по категориям источников (2000 г.)

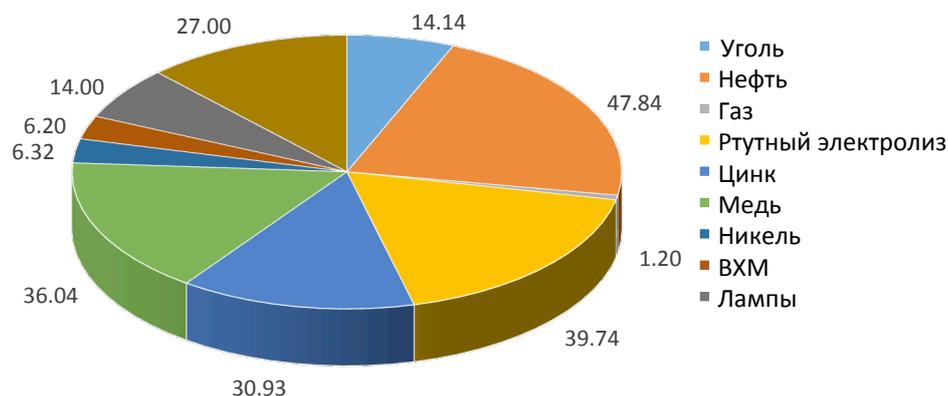


Рис. 7.3. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} по категориям источников (2000 г.)

Основными направлениями эмиссии Ch^{Hg} в ОС являлись эмиссия в атмосферу и в твердые отходы, в том числе шламы, шлаки, отходы пылегазоочистки. Сброс Ch^{Hg} вместе с сточными водами, и в качестве примеси в продукции был на протяжении всего периода не значительным. Распределение Ch^{Hg} по подсистемам ОС за период 2000-2012 г. и прогнозный период 2012-2030 г. также значительно изменилось.

За период 2000-2012 г. общая эмиссия ртути в атмосферу несколько сократилась с 26,3 тонн до 24,0 тонн в год (рис. 7.4). В большей степени на это повлияло снижение выбросов на хлорно-щелочных производствах. Тем не менее, в прогнозном периоде ожидается увеличение эмиссии ртути до 34,0 тонн в год. К 2030 г. относительный рост составит 41 %, когда как рост вовлечения ртути составит 13 %, что является благоприятным фактом.

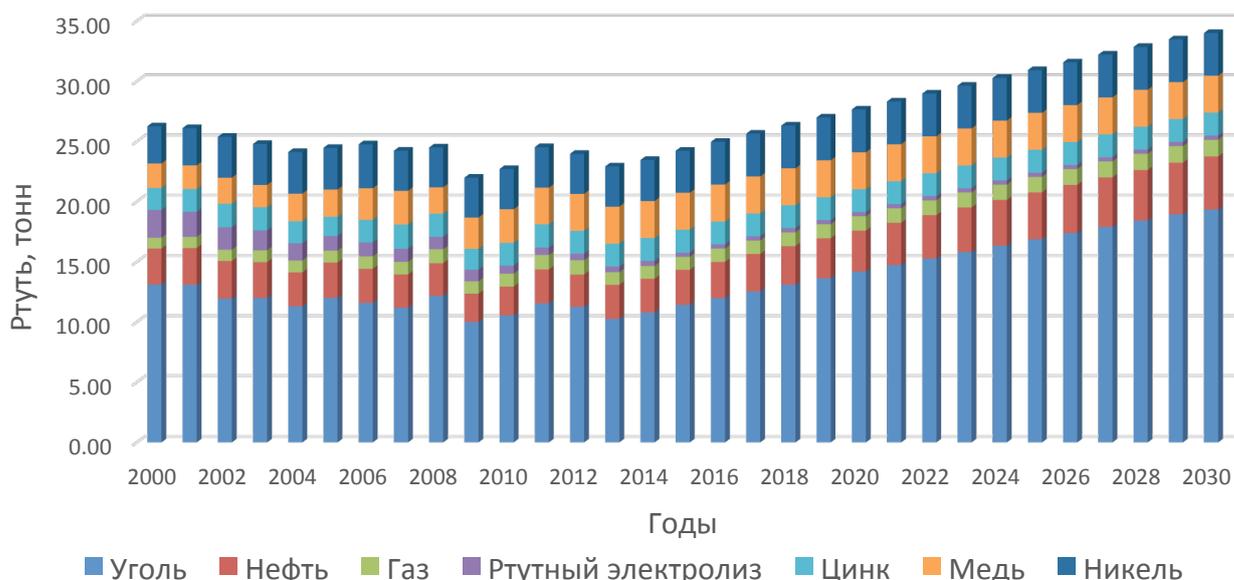


Рис. 7.4. Столбчатая диаграмма динамики эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосфере в 2000-2030 г.

Эмиссия ртути в отходы в отрезке времени с 2000 по 2012 г. значительно сократилась (со 141 тонны до 105 тонн в год) (рис. 7.5). Этот спад объясняется снижением использования ртути в качестве катализатора электролиза в 2007 г. Относительно небольшое прогнозное увеличение к 2030 г. объясняется ростом переработки угля (с 105 тонн до 110 тонн), а также тем, что использование нефти и газа способствует эмиссии Ch^{Hg} исключительно в атмосферу. Наиболее значимый вклад общее количество отходов приходится на категорию использования ртути в хлорно-щелочной промышленности, однако большая часть отходов образуется на ОАО «Галополимер» (36,2 тонн), которые изолируются от ОС гидроизолирующим слоем и слоем фосфогипса. Таким образом, действительный вклад хлорно-щелочных производств в образование опасных отходов значительно меньше [282].

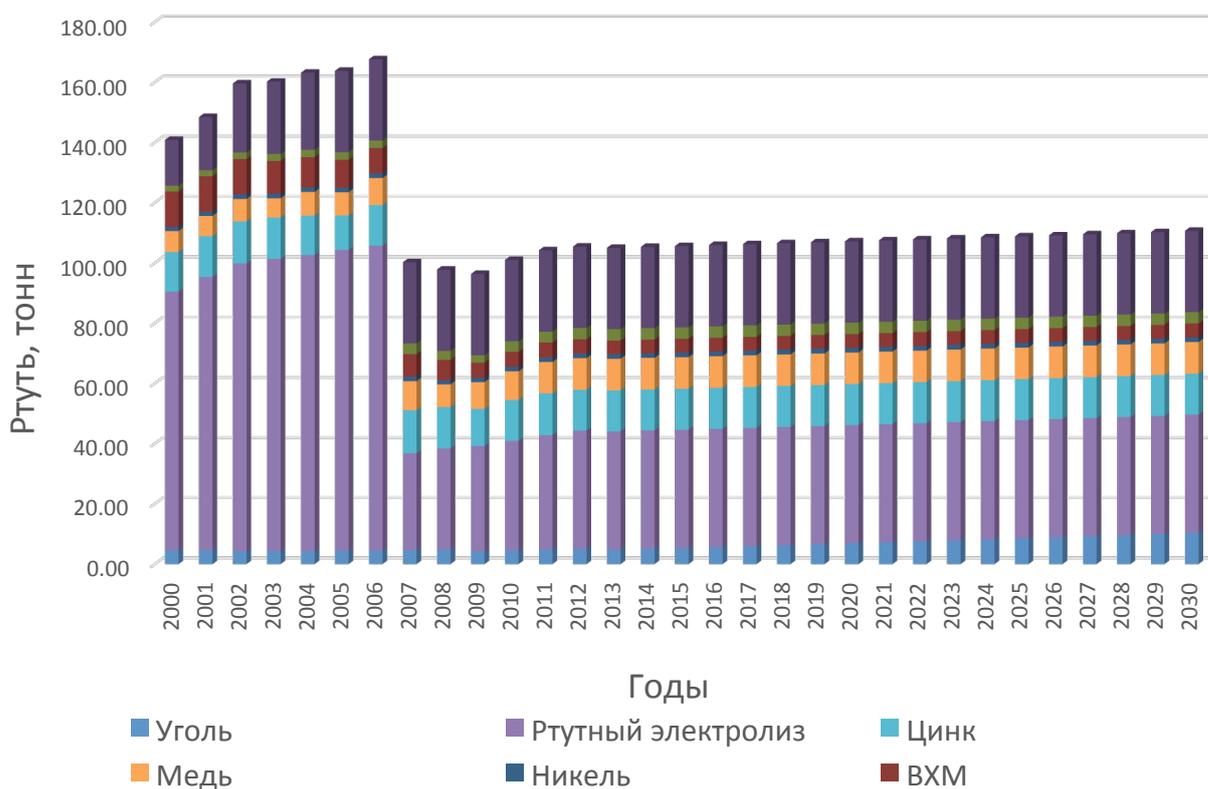


Рис. 7.5. Столбчатая диаграмма динамики эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в отходы в 2000-2030 г.

В качестве второго сценария был разработан сценарий «Минаматская конвенция». В нем были представлены условия, аналогичные условиям «Базового» – рост потребления угля, нефти и газа, стагнация производства цветных металлов. Отличием были категории, связанные с потреблением Ch^{Hg} на ХП и использованием их в приборах. Согласно Минаматской конвенции о ртути сторона обязуется прекратить использовать Ch^{Hg} в хлорно-щелочных производствах в 2025 г., а при производстве винилхлорид мономера, термометрах и лампах в 2020 г. Эти условия и были заложены в сценарий «Минаматская конвенция» (рис. 7.6).

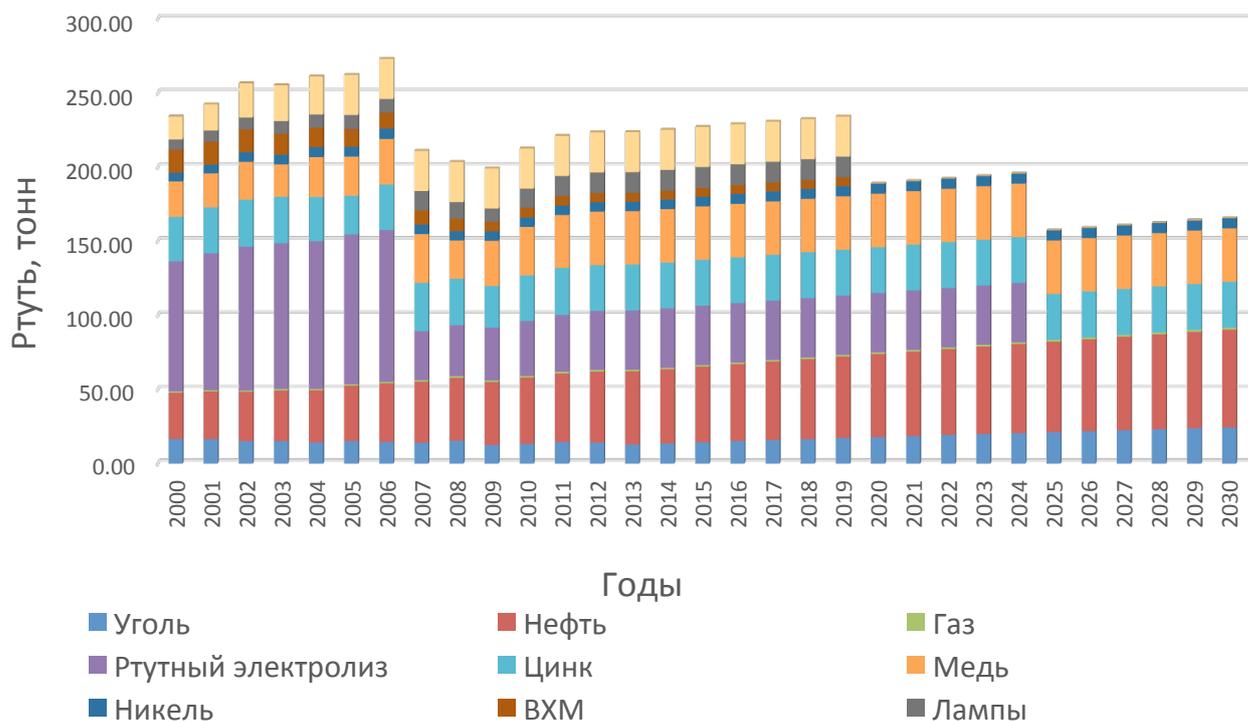


Рис. 7.6. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в сценарии «Минаматская конвенция»

Выполнение условий конвенции значительно скажется на обороте Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), который сократится с 223 тонн до 165 тонн с сохранением тренда на увеличение, поэтому для РФ исполнение Минаматской конвенции не является окончательным решением проблемы ртутного загрязнения. Необходимо также отметить что, структура источников поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС значительно изменится в прогнозном периоде при реализации сценария «Минаматская конвенция» (см. рис. 7.7 и 7.8). Вырастет как количественно, так и доленое значение категорий извлечения Ch^{Hg} в качестве примеси с углем и нефтью с 14 (5 %) до 24 (14,5 %) тонн и с 48 (17,5 %) до 66 (40 %) тонн соответственно.

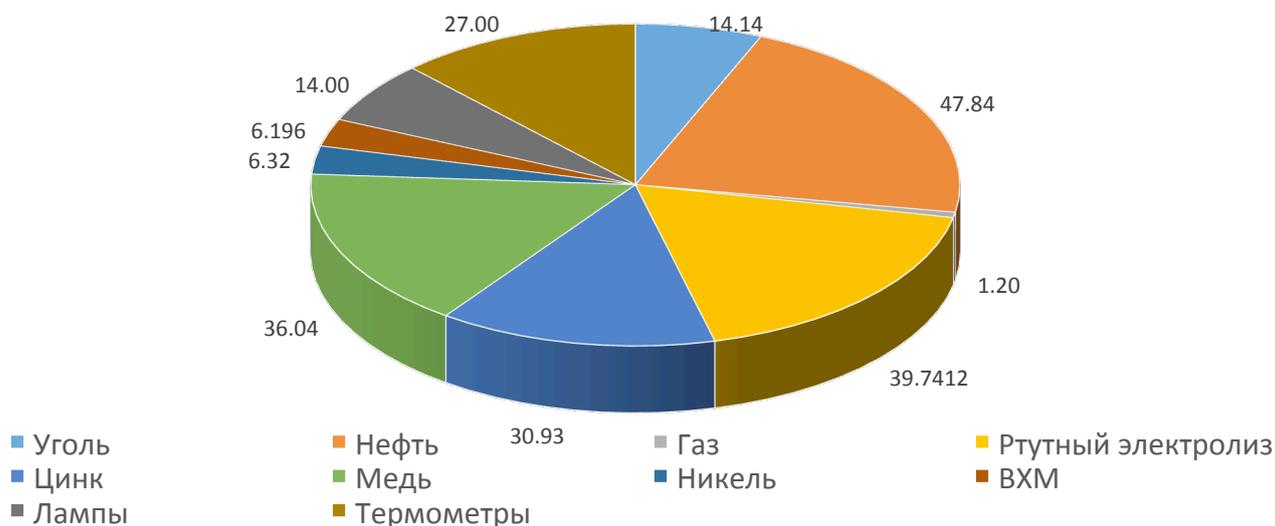


Рис. 7.7. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) по категориям источников в 2012 г. в сценарии «Минаматская конвенция»

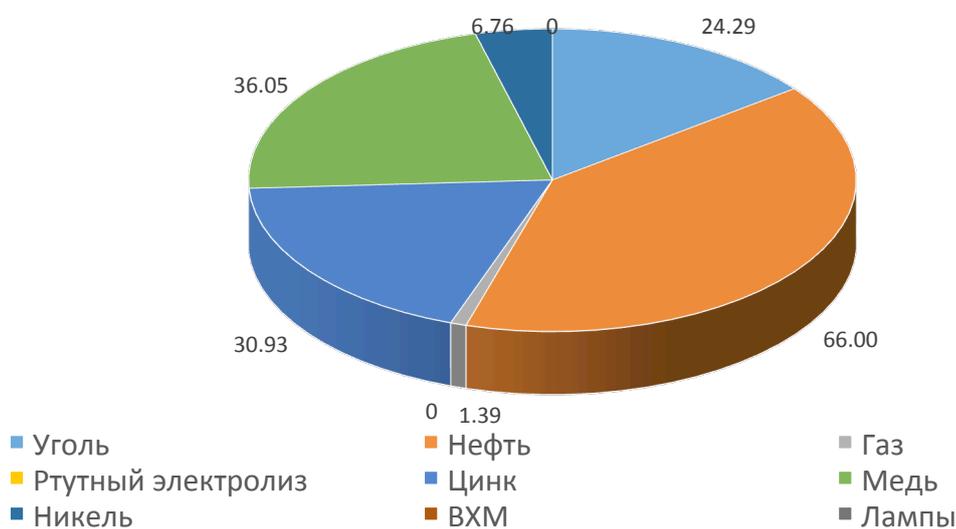


Рис. 7.8. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) по категориям источников в 2030 г. в сценарии «Минаматская конвенция»

Изменение эмиссии Ch^{Hg} в атмосферу в прогнозном периоде до 2030 г. не будет значительным (см. рис. 7.9) относительно периода 2000-2010 г. поскольку закрытие хлорно-щелочных производств практически не скажется на общую эмиссию Ch^{Hg} в атмосферу. Однако влияние на количество Ch^{Hg} поступающей в отходы будет более значительным (см. рис. 7.10) и, по сравнению с «Базовым» сценарием, составит 34 % от уровня 2012 г.

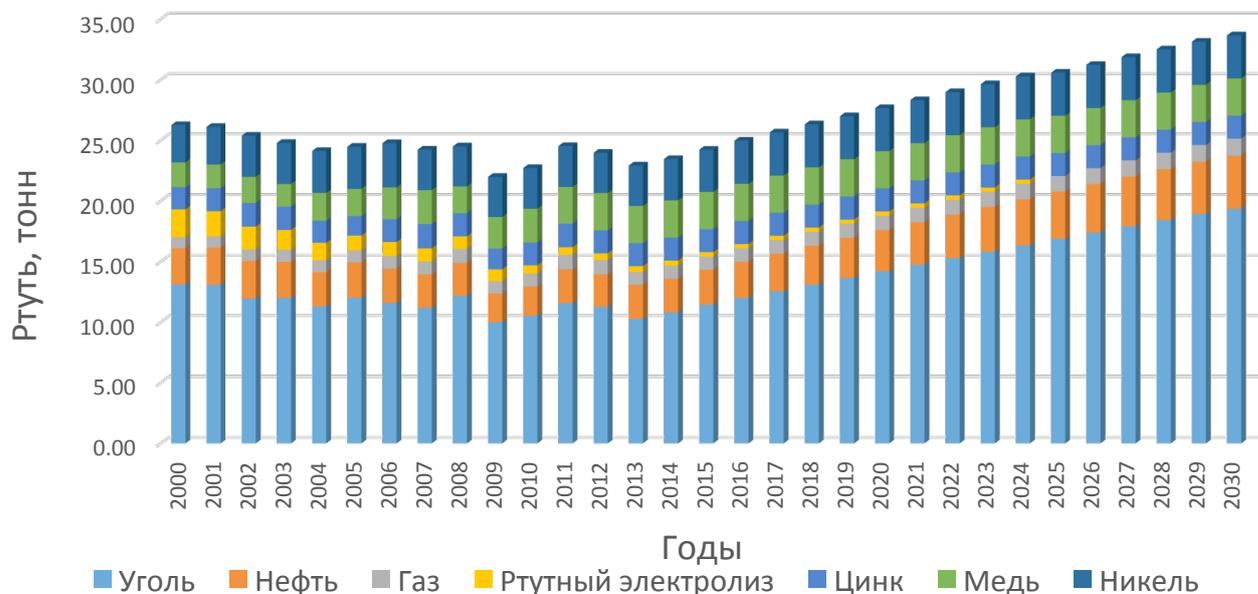


Рис. 7.9. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу в сценарии «Минаматская конвенция»

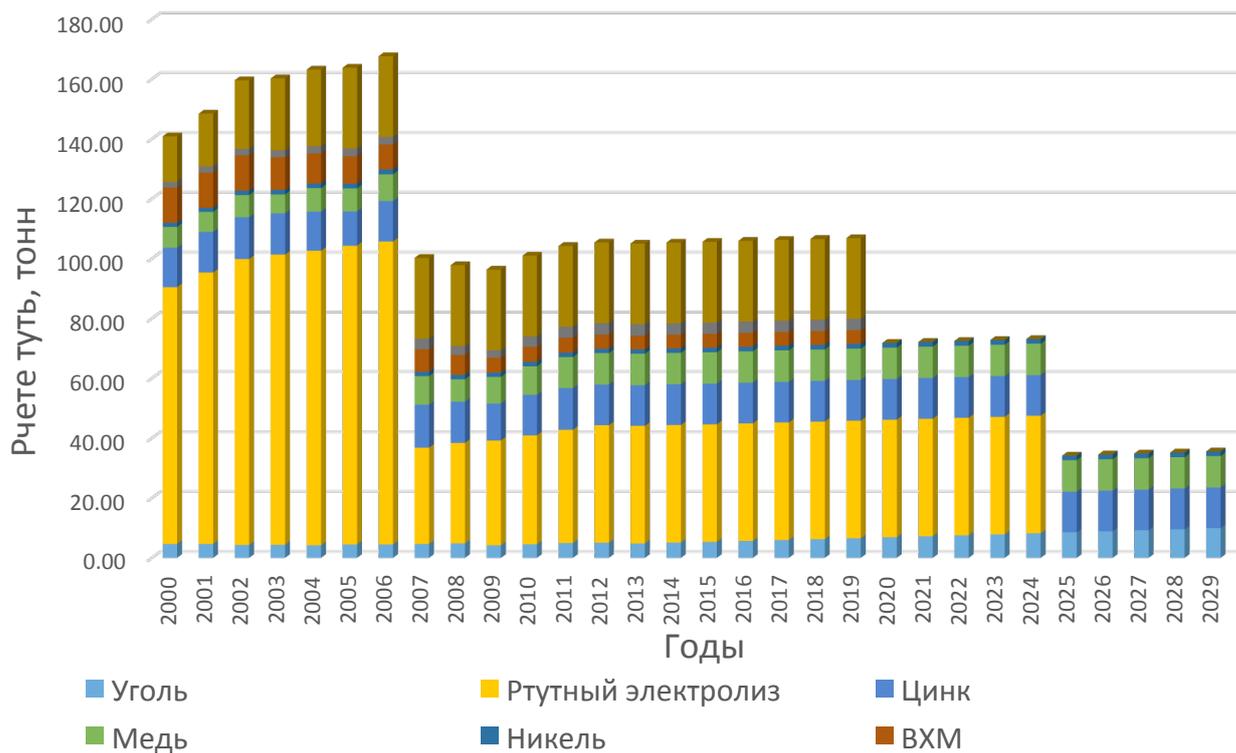


Рис. 7.10. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в отходы в сценарии «Минаматская конвенция» в 2000-2030 г.

Также был рассмотрен еще один гипотетический сценарий - сценарий замены угля на газ. В этот сценарий были заложены те же параметры, что и в «Базовом» сценарии и добавлялось постепенное, снижение потребления угля, и

пропорциональное увеличение потребления газа. В результате прогнозные значения объемов мобилизации Ch^{Hg} практически не изменились (см. рис. 7.11).

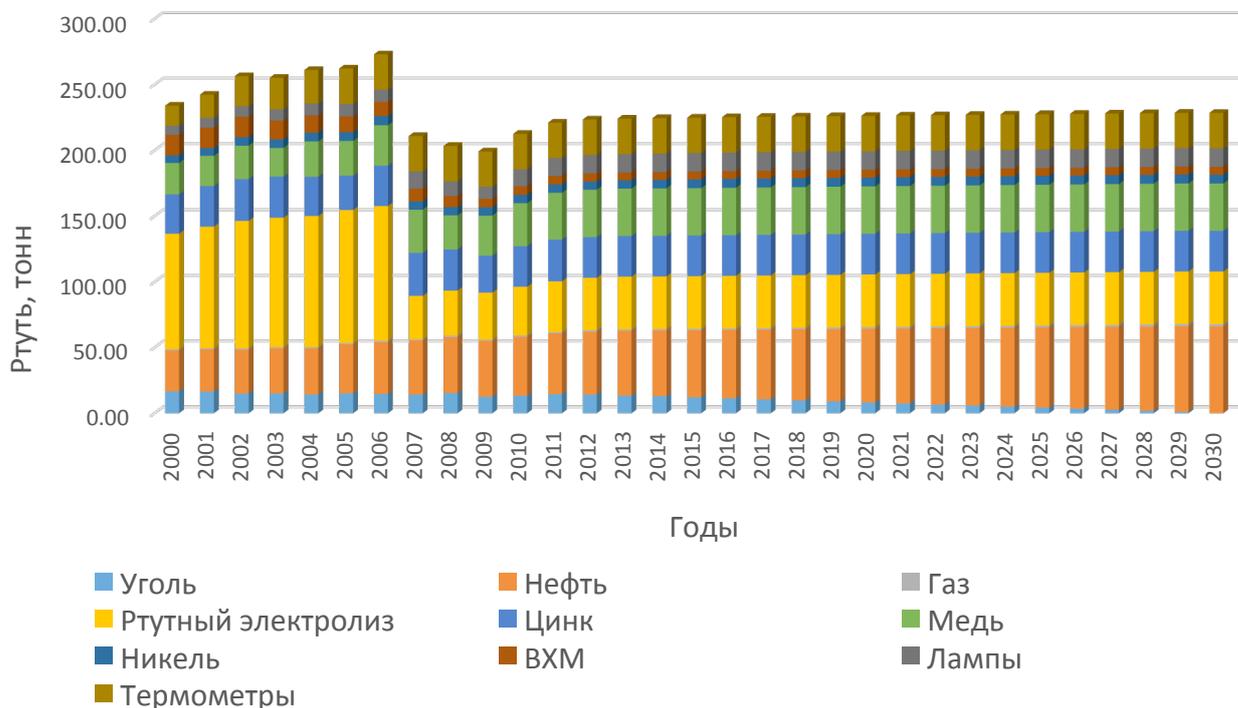


Рис. 7.11. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в сценарии «Замена угля на газ»

Но значительно сокращаются объемы поступления Ch^{Hg} в атмосферу с 24 до 15 тонн (37,5 %) (рис. 7.12).

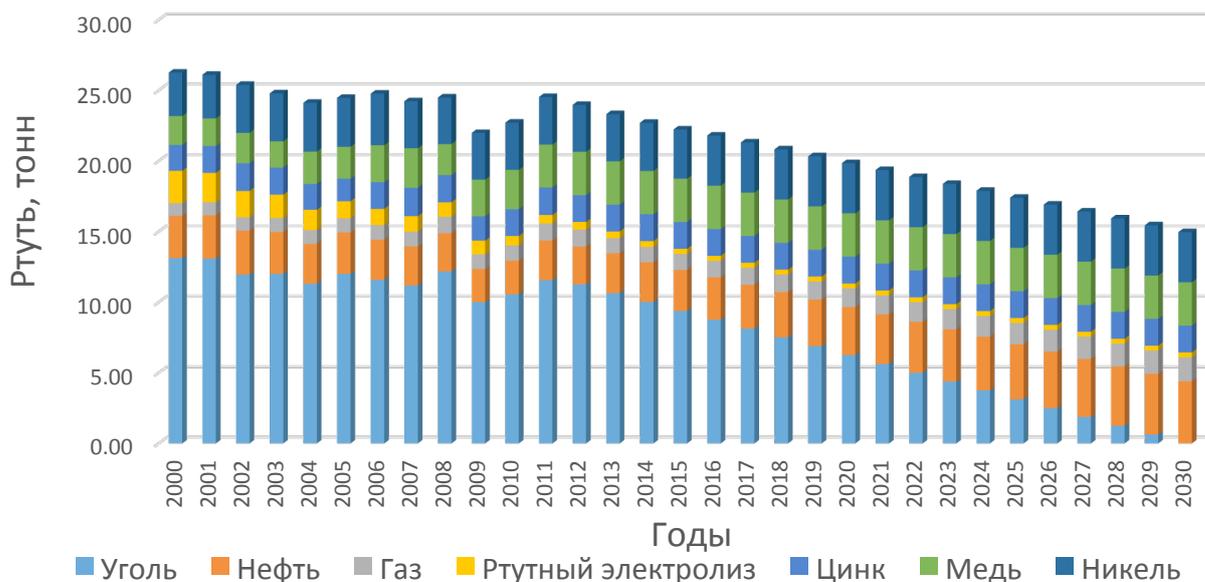


Рис. 7.12. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу в сценарии «Замена угля на газ»

7.2. Алгоритм компьютерного анализа воздействия на окружающую среду ртути в России с использованием универсального комплекса программ «USEtox»

Автором разработан алгоритм компьютерной оценки загрязнения природных объектов Ch^{Hg} порядок использования модели USEtox состоит из следующих этапов:

Этап 1. Вычислить значения количественных параметров, характеризующих каждый регион.

Этап 2. Разработать матрицу коэффициентов, характеризующих устойчивость Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС.

Этап 3. Рассчитать скорости поступления выбросов Ch^{Hg} в различные подсистемы ОС.

Значение «химического следа» ртути и ее соединений (ChF^{Hg}) вычисляется по разработанной автором формуле (15):

$$\text{ChF}^{\text{Hg}} = \max \left\{ \frac{V_a^{\text{Hg}}}{V_{a,\text{sys}}}; \frac{V_w^{\text{Hg}}}{V_{w,\text{sys}}}; \frac{M_s^{\text{Hg}}}{M_{s,\text{sys}}} \right\}, \quad (107)$$

где: V_a^{Hg} – объем воздуха, требующегося для разбавления до безопасных концентраций Ch^{Hg} , выбрасываемых в атмосферу; $V_{a,\text{sys}}$ – имеющийся в системе ОС (исследуемой георафической области) объем воздуха; V_w^{Hg} – объем воды, требующейся для разбавления сбрасываемых в водоем Ch^{Hg} до безопасных концентраций; $V_{w,\text{sys}}$ – запас воды в системе ОС (исследуемой георафической области); M_s^{Hg} – требующийся для разбавления объем почвы; $M_{s,\text{sys}}$ – объем имеющейся почвы.

При этом требуемый объем атмосферы для разбавления Ch^{Hg} , попадающих в воздух в исследуемой георафической области, V_a^{Hg} рассчитывают по формуле:

$$V_a^{\text{Hg}} = m_a^{\text{Hg}} / (\text{Lim}_a^{\text{Hg}} \times 10^{-3}), \quad (108)$$

где: m_a^{Hg} – масса Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), находящихся в атмосфере над исследуемой территорией, (кг); Lim_a^{Hg} – предельно-допустимая концентрация для Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в воздухе населенных мест ($\text{мг}/\text{м}^3$).

Требуемый объем гидросферы для разбавления Ch^{Hg} , попадающих в во-

доемы гидросферы в исследуемой географической области, V_w^{Hg} рассчитывают по формуле:

$$V_w^{Hg} = m_w^{Hg} / (Lim_w^{Hg} \times 10^{-3}), \quad (109)$$

где: m_w^{Hg} – масса Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), содержащаяся в водных объектах на исследуемой территории (без учета накопленного ущерба прошлых лет), (кг); Lim_w^{Hg} – предельно-допустимая концентрация для Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в воде рыбохозяйственных водоемов (мг/л).

Требуемое количество почвы для разбавления Ch^{Hg} , попадающих в почву в исследуемой географической области, M_s^{Hg} рассчитывается следующим образом:

$$M_s^{Hg} = m_s^{Hg} / (Lim_s^{Hg} \times 10^{-3}), \quad (110)$$

где: m_s^{Hg} – суммарная масса Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть), содержащаяся в почве (кг) на исследуемой территории (рассчитывается без учета накопленного ущерба прошлых лет); Lim_s^{Hg} – предельно-допустимая концентрация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в почве (мг/кг)

Для расчета пределов Lim_a^{Hg} , Lim_w^{Hg} и Lim_s^{Hg} в расчетах использованы следующие гигиенические нормативы [82]: ПДК атм.в. среднесуточная = 0,0003 мг/м³ (в пересчете на ртуть); ПДК рыб.хоз. = 0,00001 мг/л; ПДК п = 2,1 мг/кг.

Пересчет значений «химического следа» ртути и ее соединений проводился с учетом следующих предпосылок:

1. Для гидросферы учитывался общий объем водных ресурсов для каждого региона (в км³/год).

2. Расчет имеющегося в исследуемой системе ОС – географической области, объема атмосферы проводился на единицу объема воздушной среды:

$$V_{a,sys} = S \times h, \quad (111)$$

где: S – площадь земной поверхности, известная для каждого региона (м²); h – высота, м (для расчета принята 1 км);

3. При расчете имеющейся в исследуемой системе ОС – географической области, массы почв не учитывалась классификация типов почв по регионам. Расчет средней массы почвы проводился по формуле:

$$M_{s,sys} = S \times k \times \rho, \quad (112)$$

где: S – площадь земной поверхности, известная для каждого региона (m^2); k – глубина, см (для расчета принята 10 см); ρ – плотность почв ($г/см^3$).

Расчет ChF^{Hg} проводился отдельно по федеральным округам Российской Федерации и по субъектам федерации. Для расчета содержания ртути в подсистемах ОС использовался универсальный комплекс программ «USEtox» [140]. Для проведения расчетов в модели использовались следующие физико-химические параметры Ch^{Hg} (см. табл. 7.1).

Таблица 7.1.

Физико-химические параметры Ch^{Hg} , используемые при расчетах в USEtox

Параметр	Значение
Молекулярный вес, M	200,59 г/моль
Константа Генри (при 25°C)	$1 \cdot 10^{-20}$ Па* m^3 /моль
Коэффициент распределения октанол-вода, K_{ow}	0 (принят по умолчанию)
Коэффициент распределения растворенный органический углерод-вода, K_{DOC}	$2,51 \cdot 10^5$ л/кг
Коэффициент распределения взвесь-вода, K_{pSS}	$2,00 \cdot 10^5$ л/кг
Коэффициент распределения осадочные отложения – вода, K_{pSd}	$7,94 \cdot 10^4$ л/кг
Коэффициент распределения почва – вода,	$6,30 \cdot 10^3$ л/кг
Скорость деградации в воздухе, $K_d^{возд.}$	$1 \cdot 10^{-20}$ с ⁻¹
Скорость деградации в воде, $K_d^{вода}$	$1 \cdot 10^{-20}$ с ⁻¹
Скорость деградации в осадочных отложениях, $K_d^{ос.}$	$1 \cdot 10^{-20}$ с ⁻¹
Скорость деградации в почве, $K_d^{п.}$	$1 \cdot 10^{-20}$ с ⁻¹
Фактор биоаккумуляции в рыбе/биоте, BAF	4500 л/кг (рыбы)

С использованием представленных (см. табл. 7.1) физико-химических параметров Ch^{Hg} ; параметров исследуемых географических областей - федеральных округов (см. табл. 2.1 и 2.2); модифицированной модели USEtox; разработанным автором алгоритмом направленного переноса Ch^{Hg} с водными массами (главе 2, п. 2.4), были рассчитаны коэффициенты миграции между подсистемами ОС и коэффициенты переноса Ch^{Hg} из рассматриваемой подсистемы за пределы географической области (см. табл. 7.2).

Таблица 7.2.

Результаты расчетов коэффициентов миграции и переноса Ch^{Hg} для различных подсистем ОС (день⁻¹)

	СКФО	ЦФО	ДФО	СФО	УФО	СЗФО	ПФО	ЮФО
Коэффициент миграции ртути из атмосферы в гидросферу $k_{a \rightarrow w}^{\text{migr}}$	$2,98 \cdot 10^{-3}$	$3,82 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$9,05 \cdot 10^{-3}$	$9,05 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент миграции ртути из гидросферы в атмосферу $k_{w \rightarrow a}^{\text{migr}}$	$4,81 \cdot 10^{-23}$	$4,06 \cdot 10^{-23}$	$3,85 \cdot 10^{-23}$	$2,27 \cdot 10^{-23}$	$2,93 \cdot 10^{-23}$	$3,74 \cdot 10^{-23}$	$3,74 \cdot 10^{-23}$	$2,27 \cdot 10^{-23}$
Коэффициент миграции ртути из гидросферы в почву $k_{w \rightarrow s}^{\text{migr}}$	$3,00 \cdot 10^{-6}$	$2,05 \cdot 10^{-6}$	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$6,98 \cdot 10^{-7}$	$3,65 \cdot 10^{-7}$	$9,16 \cdot 10^{-8}$	$9,16 \cdot 10^{-8}$	$6,98 \cdot 10^{-7}$
Коэффициент миграции ртути из почвы в гидросферу $k_{s \rightarrow w}^{\text{migr}}$	$1,68 \cdot 10^{-6}$	$1,59 \cdot 10^{-6}$	$1,87 \cdot 10^{-6}$	$1,82 \cdot 10^{-6}$	$1,06 \cdot 10^{-6}$	$2,13 \cdot 10^{-6}$	$2,13 \cdot 10^{-6}$	$1,82 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент миграции ртути из атмосферы в почву $k_{a \rightarrow s}^{\text{migr}}$	0,238	0,173	0,252	0,233	0,204	0,217	0,217	0,233
Коэффициент миграции ртути из почвы в атмосферу $k_{s \rightarrow a}^{\text{migr}}$	$2,02 \cdot 10^{-26}$	$1,68 \cdot 10^{-25}$	$1,61 \cdot 10^{-25}$	$9,52 \cdot 10^{-26}$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	$1,28 \cdot 10^{-25}$	$1,28 \cdot 10^{-25}$	$9,52 \cdot 10^{-26}$
Коэффициент переноса ртути из атмосферы k_a^{transb}	$3,17 \cdot 10^{-5}$							
Коэффициент переноса ртути из гидросферы k_w^{transb}	0,139	0,0916	0,14	0,139	0,0276	0,0423	0,0423	0,139
Коэффициент переноса ртути из почвы k_s^{transb}	$4,93 \cdot 10^{-7}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$3,76 \cdot 10^{-7}$	$4,01 \cdot 10^{-7}$	$4,22 \cdot 10^{-7}$	$4,03 \cdot 10^{-7}$	$5,01 \cdot 10^{-7}$	$4,01 \cdot 10^{-7}$

7.3. Системный анализ результатов компьютерного расчета «химического следа» ртути и ее соединений

В результате применения комплекса программ USEтохи и разработанного автором алгоритма расчета констант скоростей переноса и миграции Ch^{Hg} в водной среде с использованием ГИС (см. глава 2, п.2.4) получены следующие результаты расчета ChF^{Hg} для выбранных географических областей. Результаты расчета ChF^{Hg} по федеральным округам РФ представлены в табл. 7.3:

Таблица 7.3.

Результаты расчета ChF^{Hg} по федеральным округам РФ

Федеральные округа	Подсистемы ОС										ChF^{Hg}
	Атмосфера			Поверхностные пресные воды гидросферы			Почвы не отнесенные к сельскохозяйственным				
	V_a^{Hg} , км ³	V_a^{sys} , км ³	$\frac{V_a^{Hg}}{V_a^{sys}}$	V_w^{Hg} , км ³	V_w^{sys} , км ³	$\frac{V_w^{Hg}}{V_w^{sys}}$	m_s^{Hg} , т	M_s^{Hg} , т	M_s^{sys} , т	$\frac{M_s^{Hg}}{M_s^{sys}}$	
Северо-Кавказский	16,0	$2,0 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	19,8	4,3	4,6	$1,8 \cdot 10^4$	$8,6 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^6$	2,0	4,6
Центральный	34,3	$7,8 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	75,7	23,0	3,2	$5,0 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^7$	$3,9 \cdot 10^7$	0,6	3,2
Дальневосточный	123,6	$6,4 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	178,6	154,3	1,2	$1,6 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^8$	0,1	1,2
Сибирский	200,4	$5,4 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	381,6	130,0	3,0	$3,5 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^8$	$6,8 \cdot 10^8$	0,2	3,0
Уральский	91,8	$1,9 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	634,1	227,3	2,8	$1,3 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^8$	0,3	2,8
Северо-Западный	14,7	$2,0 \cdot 10^6$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	39,2	126,5	0,3	$1,0 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^8$	0,02	0,3
Приволжский	102,9	$1,2 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	264,9	51,8	5,1	$1,8 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^7$	1,3	5,1
Южный	10,1	$5,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	26,2	31,5	0,8	$7,8 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^6$	0,5	0,8

Результаты расчетов показывают (см. табл. 7.3), что превышение лимитов для усредненных по округам концентраций имеет место в двух округах для почвы и почти во всех округах для водоемов рыбохозяйственного назначения. Из табл. 7.3 видно, что наибольшее воздействие на ОС, оказывают Ch^{Hg} , поступающие в результате антропогенной деятельности человека в гидросферу. Наглядно-графические результаты расчета ChF^{Hg} для федеральных округов представлены в виде лепестковых диаграмм (рис. 7.13).

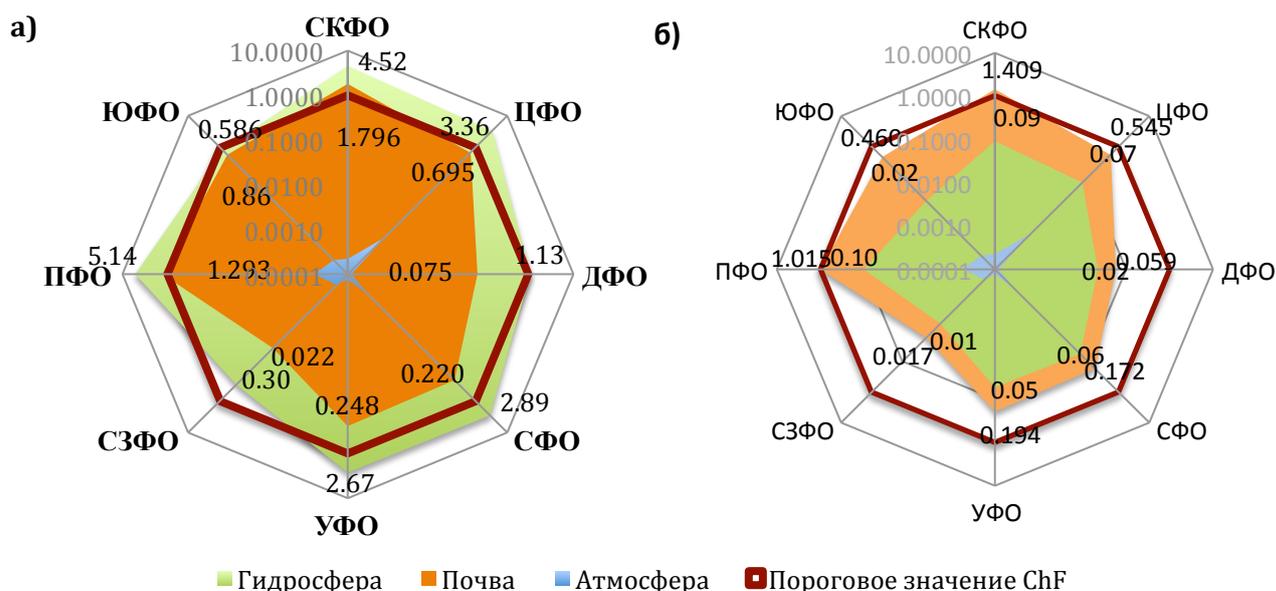


Рис. 7.13. Лепестковые диаграммы результатов оценки ChF^{Hg} в федеральных округах РФ, осуществленной с использованием разработанной методологии при использовании для гидросферы в качестве Lim а) ПДК рыб.хоз. = 0,00001 мг/л б) ПДКхоз.быт. = 0,005 мг/л

На диаграмме (рис. 7.13а) отображена ситуация, когда в качестве предела взята ПДК для рыбохозяйственных водоемов которая установлена на уровне предела обнаружения (0,00001 мг/л) и результаты расчетов показывают, что практически во всех федеральных округах существует риск превышения данной ПДК и соответственно негативного воздействия на гидробионтов. На диаграмме (рис. 7.13б) ПДК для гидросферы взята для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых водоемов (0,0005 мг/л), и полученные результаты говорят о низком риске на региональном уровне воздействия на здоровье человека.

Приведенные выше расчеты (по федеральным округам) (см. табл. 7.3) переданы для использования Министерству природных ресурсов Российской Федерации при разработке Национального плана действий по минимизации ртутного загрязнения, и в дальнейшем использованы в качестве одного из критериев при приоритизации опасности источников загрязнения.

Дополнительно для оценки достоверности расчетные данные сравнивались с экспериментальными данными по содержанию Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС (см. Глава 5, п.5.3). При системном анализе полученных результатов расчета, можно отметить сходимость значений между расчетными и справочными данными, в первую очередь для пресных вод гидросферы. Тем не менее, в федеральных округах РФ, в которых $\text{ChF}^{\text{Hg}} > 1$, присутствуют территории с содержанием Ch^{hg} в водоемах, превышающей ПДК, иногда в несколько раз. Причины несоответствия расчетных и фактических данных могут состоять в следующем:

1. Расхождения могут быть обусловлены применением справочных данных, которые не отображают реальной картины поступления Ch^{Hg} в рассматриваемых подсистемах ОС.

2. В модели не учитывался накопленный ущерб прошлых лет, который в ряде регионов (особенно в местах присутствия бывших хлор-щелочных производств) может привести также к существенным искажениям.

3. Найденные результаты измерений относятся к конкретным географическим местам и могут не адекватно отражать состояние территории в целом, в

то время как методика оценки «экологического следа» и/или «химического следа» больше направлена на оценку состояния именно территории в целом.

Для уточнения полученных результатов содержания Ch^{Hg} в подсистемах ОС и принимая во внимание, что федеральные округа РФ имеют значительные площади, аналогичные расчеты проведены и для субъектов РФ. В представленных ниже расчетах для подсистемы ОС «атмосфера» выделена в качестве самостоятельной подсистемы подсистема «городской воздух», площадь которой - A_{urban} рассчитывается по уравнению [283]:

$$A_{urban} = \left(\frac{N_{urban}}{10^{-1,5983+0,578 \cdot \log(N_{urban})}} \right)^2 / 10^6, \quad (113)$$

где: N_{urban} – численность городского населения.

Также подсистема ОС «почва» разделена на две подсистемы: отдельно «сельскохозяйственные почвы» и «почвы другого назначения». Результаты расчетов ChF^{Hg} по субъектам РФ представлены на лепестковой диаграмме (см. рис. 7.14.) .

Из лепестковой диаграммы на рис. 7.14 видно, что $\text{ChF} > 1$ и, следовательно, существует высокий риск недопустимой нагрузки на подсистемы ОС, такие как пресные водоемы и почвы (не сельско-хозяйственного назначения) в: Республике Башкортостан (пресные водоемы); Оренбургской области (пресные водоемы и почвы иного назначения); Орловской области (пресные водоемы и почвы иного назначения); Ленинградской области (пресные водоемы); Волгоградская область (пресные водоемы и почвы иного назначения); Республика Северная Осетия-Алания (пресные водоемы); Свердловская область (пресные водоемы); Челябинская область (пресные водоемы); Республика Бурятия (пресные водоемы); Забайкальский край (пресные водоемы); Красноярский край (пресные водоемы); Иркутская область (пресные водоемы); Амурская область (пресные водоемы); Чукотский автономный округ (пресные водоемы).

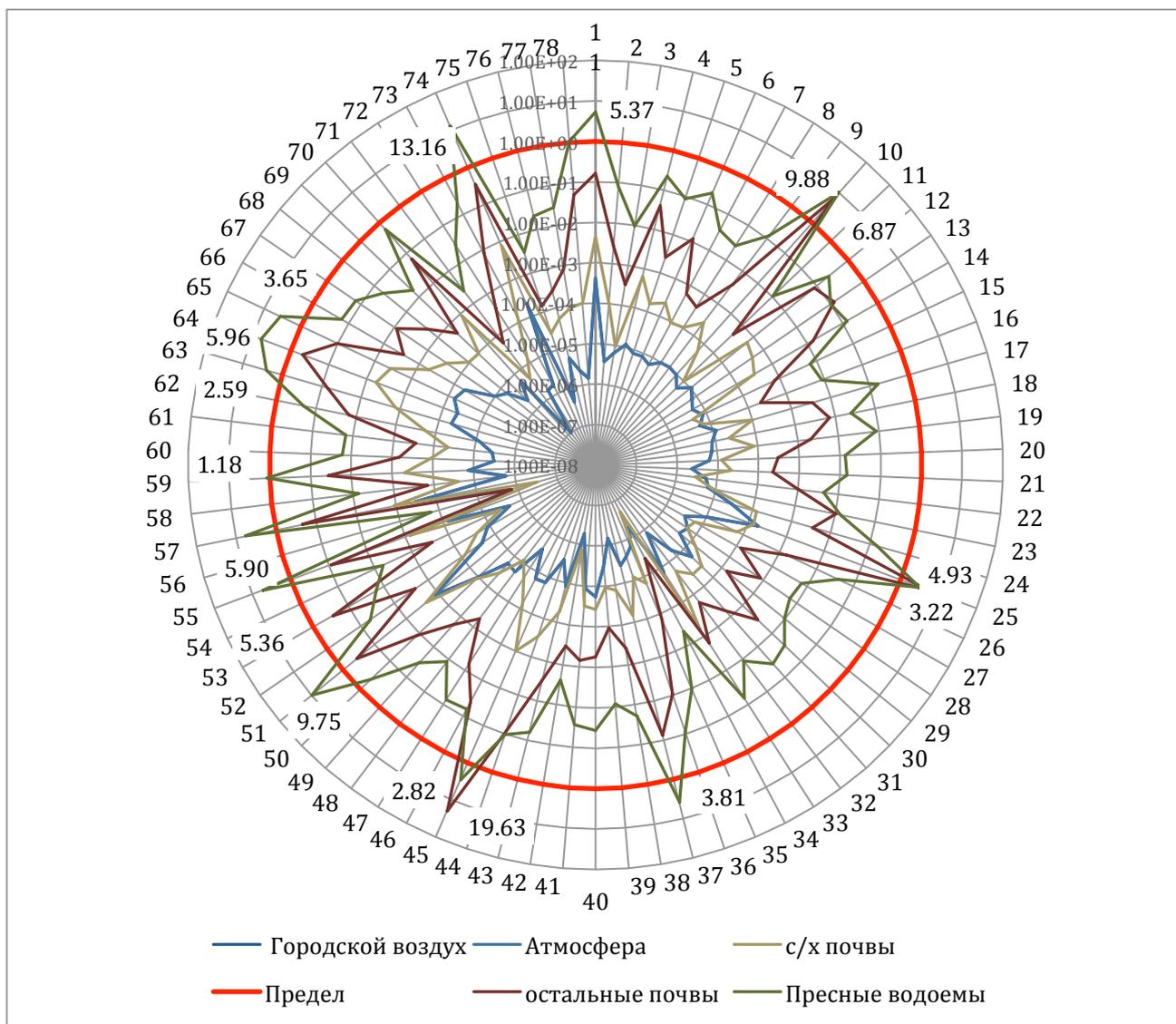


Рис. 7.14. Лепестковая диаграмма результатов оценки ChF^{Hg} в субъектах РФ

1 Респ. Башкортостан	22 Курская область	43 Краснодарский край	61 Республика Хакасия
2 Республика Марий Эл	23 Липецкая область	44 Астраханская область	62 Алтайский край
3 Республика Мордовия	24 Московская область	45 Волгоградская область	63 Забайкальский край
4 Республика Татарстан	25 Орловская область	46 Ростовская область	64 Красноярский край
5 Удмуртская Республика	26 Рязанская область	47 Республика Дагестан	65 Иркутская область
6 Чувашская Республика	27 Смоленская область	48 Республика Ингушетия	66 Кемеровская область
7 Пермский край	28 Тамбовская область	49 Кабардино-Балкарская Республика	67 Новосибирская область
8 Кировская область	29 Тверская область	50 Карачаево-Черкесская Республика	68 Омская область
9 Нижегородская область	30 Тульская область	51 Республика Северная Осетия-Алания	69 Томская область
10 Оренбургская область	31 Ярославская область	52 Чеченская Республика	70 Респ. Саха (Якутия)
11 Пензенская область	32 Республика Карелия	53 Ставропольский край	71 Камчатский край
12 Самарская область	33 Республика Коми	54 Курганская область	72 Приморский край
13 Саратовская область	34 Архангельская область	55 Свердловская область	73 Хабаровский край
14 Ульяновская область	35 Вологодская область	56 Тюменская область	74 Амурская область
15 Белгородская область	36 Калининградская обл.	57 Челябинская область	75 Магаданская область
16 Брянская область	37 Ленинградская область	58 Республика Алтай	76 Сахалинская область
17 Владимирская область	38 Мурманская область	59 Республика Бурятия	77 Еврейская авт. ок
18 Воронежская область	39 Новгородская область	60 Республика Тыва	78 Чукотский авт. ок
19 Ивановская область	40 Псковская область		
20 Калужская область	41 Республика Адыгея		
21 Костромская область	42 Республика Калмыкия		

7.4. Методика разработки критериев принятия решений по приоритизации уровня опасности природно-техногенных источников поступления в окружающую среду ртути и ее соединений

Методика выбора критериев принятия решений по приоритизации уровня опасности природно-техногенных источников поступления Ch^{Hg} в ОС состоит из следующих этапов: 1) оценка опасности поступающей от различных источников Ch^{Hg} для человека и ОС; 2) оценка возможного влияние изменения климата и организационно-регуляторных мер на поступление Ch^{Hg} в ОС. Для оценки влияния изменения климата на содержание Ch^{Hg} в подсистемах ОС в разработанный алгоритм расчета констант скоростей переноса и миграции Ch^{Hg} (см. Глава 2, п.2.4.) были включены данные с учетом климатических изменений с сайта⁶⁵ (модель INM CM4, сценарии RCP 4.5 и RCP 8.5 на 2045 и 2100 г.).

Применение климатических сценариев в первую очередь показало значительное изменение количества осадков для различных регионов РФ, что, соответственно, приводит к изменению среднегодового многолетнего расхода воды в пресноводных объектах на всей территории РФ. Как показано на диаграмме (рис. 7.15), значительные изменения в 2045 г. произойдут в ДФО, СФО и СЗФО, расходы воды увеличатся в диапазоне 600-1500 км³ в год.

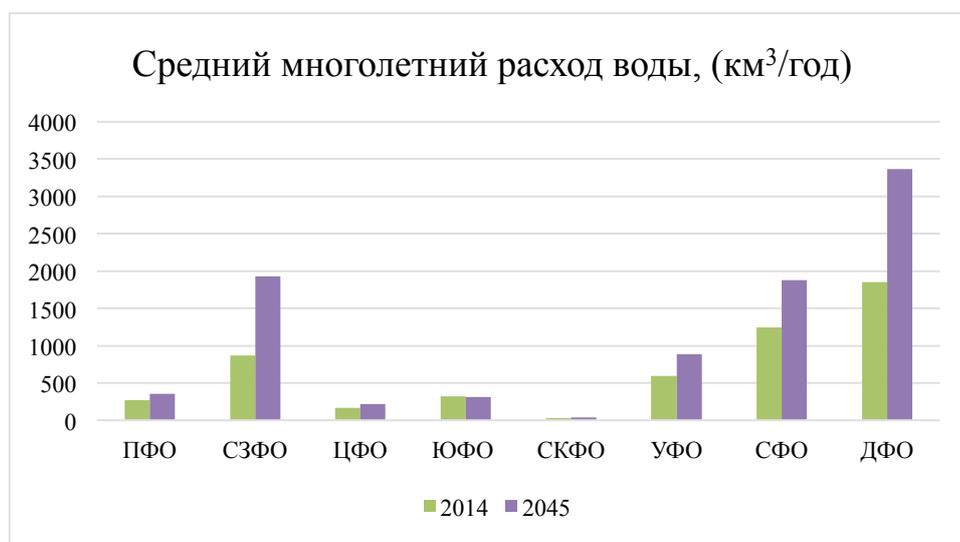


Рис. 7.15. Данные о среднем многолетнем расходе воды (км³/год) в период 2014-2045 г.

⁶⁵ <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5>

Результаты (см. рис. 7.15) показали, что вследствие значительного увеличения количества осадков, будет снижаться концентрация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в федеральных округах в атмосфере (до 22 %), пресных водоемов (до 12 %) (рис. 7.16) и почве (до 40 %) (рис. 7.17), но при этом концентрация Ch^{Hg} будет возрастать в морях и океанах.

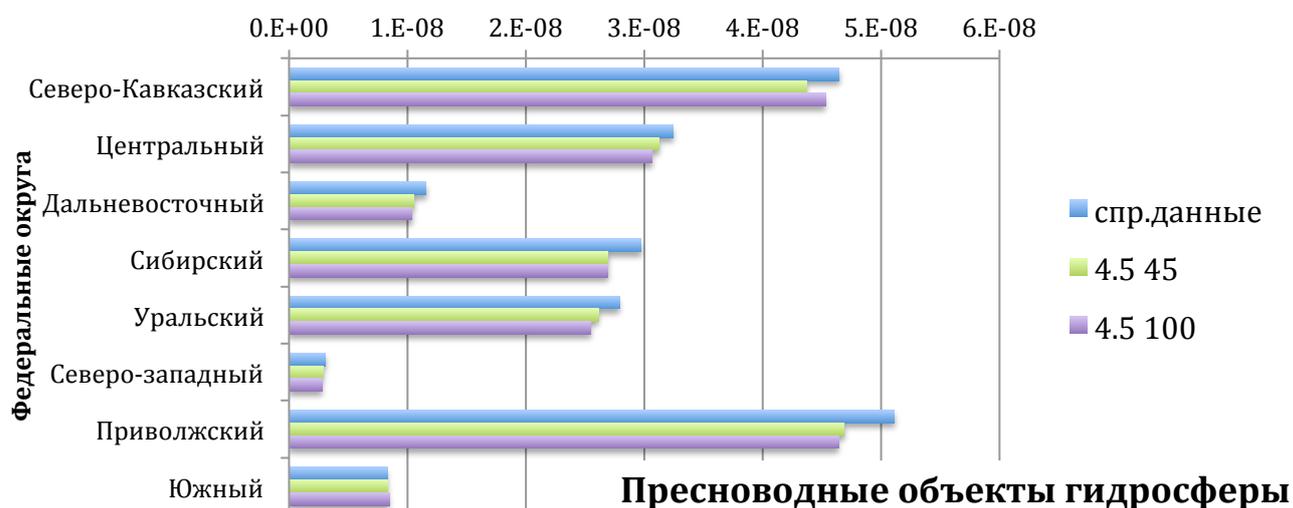


Рис. 7.16. Диаграмма влияния климатических изменений на содержание ртути в пресноводных объектах гидросферы

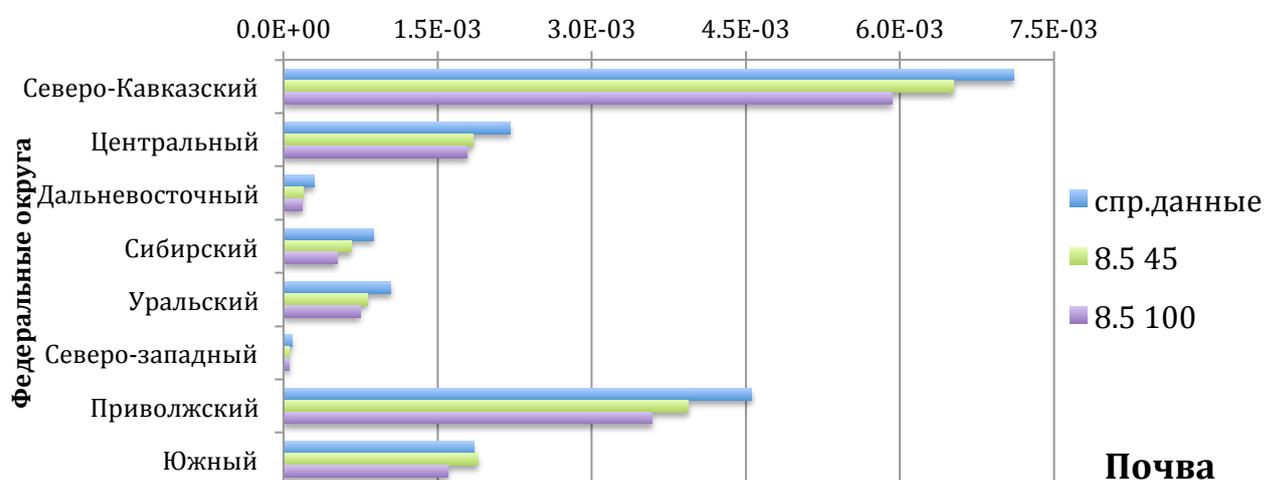


Рис. 7.17. Диаграмма влияния климатических изменений на содержание ртути в почве

Однако, несмотря на снижение в ряде федеральных округов, усредненные концентрации по-прежнему будут превышать установленные лимиты, и для их снижения потребуются дополнительные регулятивные меры.

Из трех рассмотренных в разделе 7.1 сценариев поступления в подсистемы ОС ртути и ее соединений, наиболее реалистичным и эффективным яв-

ляется сценарий «Минаматской конвенции».

Возможные изменения в Ch^{Hg} к 2045 г. при применении регуляторных ограничений, требуемых при ратификации РФ Минаматской конвенции о ртути, дополненные возможными климатическими изменениями представлены на лепестковой диаграмме (см. рис. 7.18).

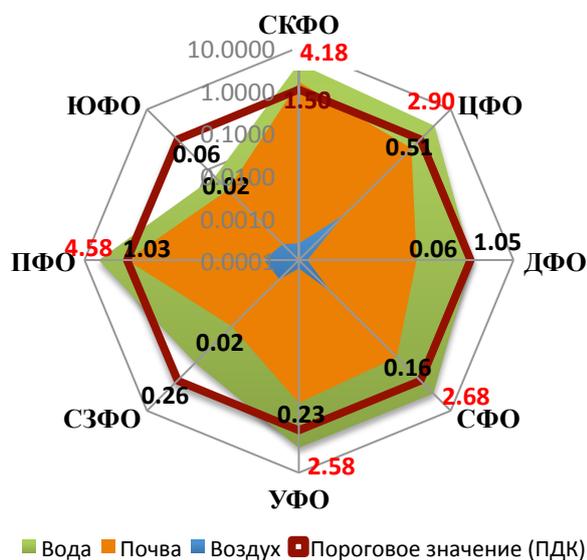


Рис. 7.18. Лепестковая диаграмма возможного изменения Ch^{Hg} к на уровне ФО в 2045 г. при с учетом климатических изменений и регуляторных ограничений, обусловленных ратификацией РФ Минаматской конвенция о ртути

Для решения задачи по приоритизации уровня опасности природно-техногенных источников поступления в окружающую среду Ch^{Hg} автором оценен вклад каждого источника в негативное ВОС и сопоставлен:

- 1) с результатами оценки Ch^{Hg} ;
- 2) с численностью населения, проживающего в округе, и, соответственно, подвергающегося воздействию.

Результаты системного анализа триродно-техногенных источников поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС представлены в табл. 7.4. В табл. 7.4 подсистемы ОС в федеральных округах испытывающие повышенную нагрузку выделены красным. Розовым отмечены основные источники поступления Ch^{Hg} в регионах. Самые густо населенные округа это: северо-кавказский, центральный, северо-западный, приволжский и южный федеральные округа.

Таблица 7.4.

Сводные результаты системного анализа поступления Ch^{Hg} от различных типов источников по федеральным округам

Источники поступления Ch^{Hg} в ОС	СКФО			ЦФО			ДФО			СФО			УФО			СЗФО			ПФО			ЮФО		
	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва	воздух	вода	почва
Металлургия, т/год	3,1	0,6	13,6	2,3	$2 \cdot 10^{-4}$	36,5	0,02	0,005	0,1	1,7	0,13	41,5	7,6	1,53	71,2	0,56	0,04	0,04	8,5	9,7	1,4	100	0,08	
Лампы и приборы, кг/год	530	20	550	2151	80	2232	350	13	363	1075	40	1116	795	30	825	765	29	794	794	1664	62	1727	775	804
Нефтепродукты, кг/год	16			39	1,4		21			35	1,3		22	0,1		23	0,8			32	3,6	15	0,9	
Кладбища и крематории, кг/год			28	29		159	7		22	18		74	19		35	9,8		56			146	15	50	
Цементное производство, кг/год				8																		435		
Топливо, кг/год				178		36	350	0,4	263	1507		1367	155		435	66		31		24		19	174	168
Нефть, кг/год				36			10			33	0,34		2,5			21				91		23		
Хлор-щелочное производство, кг/год																				225	9,6	135	37	4805
Производство винил хлорида, кг/год																						3	3	
Добыча золота, т/год							7,8	3,9	127	10,4	5,4	234	0,8	0,4	18									
ЦБП, кг/год																158				25,3		0,93		

В результате наиболее приоритетными географическими областями являются северокавказский и приволжский округа, а приоритетными направлениями для минимизации металлургия и промышленные товары (которые исчезнут после ратификации Минаматской конвенции).

7.5. Выводы

В результате сбора доступных данных и процедур, получения недостающих значений составлен прогноз мобилизации и использования Ch^{Hg} в подсистемы ОС и проанализированы три различных сценария изменения поступления Ch^{Hg} в подсистемы ОС в зависимости от различных регулирующих решений:

1. К 2030 г. в соответствии с «Базовым» сценарием (не учитывающим

ратификацию Минаматской конвенции о ртути) построенным на стратегиях развития химического и нефтехимического комплекса и энергетической стратегии России, на период до 2030 г. прогнозируется существенный рост мобилизации Ch^{Hg} .

2. Прирост мобилизации Ch^{Hg} будет в большей степени отражаться на объемах поступления ртути в атмосферу, чем в твердые отходы.

3. Ратификация Россией Минаматской конвенции будет содействовать решению проблемы сокращения объемов обращения Ch^{Hg} , что приведет к значительному (35 %) сокращению эмиссии Ch^{Hg} в отходы.

4. Возможная замена угля на природный газ в качестве топливно-энергетического ресурса приведет к постепенному и значительному (37 %) сокращению эмиссии Ch^{Hg} в атмосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

В диссертационной работе получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Разработана комплексная методика оценки воздействия химических веществ на окружающую среду в глобальном или региональном масштабе с использованием оценок «химического следа», позволяющая провести с использованием системного анализа ОВОС для большого количества ХВ, находящихся в одновременном обращении на исследуемой территории, в региональном и/или глобальном масштабах, отличающаяся учетом концепций «планетарных границ» и «экологического следа», применением методологии оценки ЖЦ, математических моделей миграции и трансформации ХВ в подсистемах ОС, что позволяет учитывать не только поступление ХВ в ОС, но и изменение количества ХВ в результате: миграции из одной подсистемы ОС в другую, деградации и/или вынесения за пределы или внесения в границы исследуемого объекта ХВ в результате трансграничного переноса.

2. Разработан алгоритм расчета констант скоростей переноса ХВ в гидросфере, с использованием ГИС, который позволяет учесть пространственную дифференциацию констант на исследуемой территории за счет направленного переноса пресноводных масс.

3. Разработана комплексная методика системного анализа социо-эколого-экономических индикаторов и трендов воздействия ХВ на ОС и здоровье человека, отличающаяся использованием больших массивов данных от представителей ХП и населения, что позволяет оценивать возможность внесения качественных изменений в организацию производства и потребления ХВ в РФ, в результате применения «зеленых» технологий, энергоресурсоэффективных ХТС и цепей поставок, а население достаточно слабо осведомлено об опасных свойствах используемых ХВ (однако при этом примерно 50 % населения способно распознать, опасные Ch для ОС).

4. Разработаны логико-вычислительные алгоритмы поддержки принятия решений по снижению воздействия ХВ на ОС: обработки информации по ОВОС химических предприятий (ЛВА -1); поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ХТС (ЛВА-2); выбора приоритетности по опасному ВОС химических веществ в глобальном и региональном масштабах (ЛВА-3); многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных ХВ (ЛВА-4).

Результаты применения разработанных ЛВА обработки информации по ОВОС показали эффективность использования программ добровольных общественных инициатив, в том числе, международной общественной программы «Ответственная Забота», как инструментов снижения ВОС химических веществ.

5. Разработаны ЛИМ поступления Ch^{Hg} в ОС от различных природно-техногенных источников и алгоритмы принятия решений по приобретению дополнительных данных о поступлении в ОС ртути и ее соединений, которые позволяют количественно определять объемы поступления Ch^{Hg} в различных подсистемах ОС для федеральных округов и регионов.

6. На основе обработки больших массивов данных и с использованием разработанной комплексной методики ОВОС определено, что наибольшая нагрузка от Ch^{Hg} приходится на гидросферу и особенно велик риск превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов (Ch^{Hg} для рыбохозяйственных водоемов Северо-Кавказского, Центрального, Дальневосточного, Сибирского, Уральского и Приволжского федеральных округов).

7. На основе результатов системного анализа сценариев поступления Ch^{Hg} в различные подсистемы ОС и разработанных компьютерных инструментов для ОВОС химических веществ, обоснованы критерии принятия решений по приоритизации уровня опасности природно-техногенных источников поступления Ch^{Hg} в ОС и предложены научно-обоснованные предложения для Министерства природных ресурсов РФ по формированию национального плана действий по минимизации воздействия Ch^{Hg} на ОС и здоровье человека, кото-

рый является необходимым документом при ратификации РФ «Минаматской конвенции о ртути».

8. Основные положения выводы и рекомендации диссертационной работы включены в научно-исследовательские отчеты ОАО «НИИ Атмосфера» охраны атмосферного воздуха», выполненные в рамках гранта РСА/2013/030 GLF-2310-2760-4C83 «Пилотный проект по формированию кадастра выбросов ртути в РФ» от 02.02.2013.

9. Основные результаты диссертационной работы практически использованы при сборе, накоплении и обобщении информации, необходимой для формирования кадастра источников поступления ChHg в подсистемы ОС в РФ и разработке критериев их приоритизации.

10. С использованием результатов диссертационной работы подготовлены соответствующие научно-обоснованные предложения для Минприроды РФ по формированию национального плана действий требуемого при ратификации Минаматской конвенции о ртути.

11. Научно-исследовательские разработки автора по оценке опасности ХВ используются в деятельности ООО «Колтек-ЭкоХим» и ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации оборонной продукции и технологий».

12. Основные научно-практические результаты диссертационной работы практически использованы при разработке оригинальных лекционных и учебно-методических материалов при обучении студентов по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование» и проведении курсов повышения квалификации для работников промышленности, читаемых автором в РХТУ им. Д.И.Менделеева в период с 2012 г. по настоящее время.

СПИСОК ОСНОВНЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БД – база данных

ВВП - Валовой внутренний продукт

ВОС – воздействие на окружающую среду

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

ГИС – географическая информационная система

КЗСА - количественная зависимость "структура-активность"

ЛВА – логико-вычислительный алгоритм

ЛИМ – логико-информационная модель

ЛПВ – лимитирующий показатель вредности (токс. – токсикологический; с.-т. – санитарно-токсикологический; орг. - органолептический; рефл. – рефлекторный; рез. - резорбтивный; рефл.-рез. - рефлекторно-резорбтивный, рыбхоз. - рыбохозяйственный (изменение товарных качеств промысловых водных организмов) ; общ. – общесанитарный).

ЛОС – летучие органические соединения

МНД – максимальная недеиствующая доза

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ОС – окружающая среда

ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду

ПАВ – поверхностно-активные вещества

ПДК – предельно допустимая концентрация

СГС – согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химической продукции

СПМРХВ - Стратегический подход к международному регулированию химических веществ

ХВ – химическое вещество

ХП – химическое (ие) предприятие (ия)

ХПК – химическое потребление кислорода

ВСФ – коэффициент биоконцентрации

CL₅₀ – среднесмертельная концентрация
Ch^{Hg} – ртуть и ее соединения
ChF^{Hg} – «химический след» для ртути и ее соединения
EC₅₀ – среднееэффективная концентрация
GLP (Good Laboratory Practice) – надлежащая лабораторная практика
HC₅(NOEC) – концентрация, при которой ущерб наносится не более чем
5 % популяции каждого из обитающих на исследуемой территории видов
logK_{ow} – логарифм коэффициента распределения октанол/вода

СПИСОК РУССКОЯЗЫЧНЫХ АББРЕВИАТУР

- АТЭС – Азиатско-тихоокеанское экономическое сотрудничество
- ВТО – Всемирная торговая организация
- ГОСТ – государственный стандарт
- ДОПОГ – Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов
- ЕС – Европейский Союз
- ИЮПАК – Международный союз по теоретической и прикладной химии
- КНР – Китайская Народная Республика
- МОТ – Международная организация по охране труда
- ООН – Организация объединенных наций
- ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития
- ПП – производственные правила
- РАН – Российская академия наук
- РНФ – Российский научный фонд
- РФ – Российская Федерация
- СНГ – Союз независимых государств
- СССР - Союз Советских Социалистических Республик
- США – Соединенные Штаты Америки
- ЦК КПСС – Центральный комитет Коммунистической партии Советского Союза
- ФАО - Продовольственная и сельскохозяйственная организация
- ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде

СПИСОК АНГЛОЯЗЫЧНЫХ АББРЕВИАТУР

EPA – Агентство по охране окружающей среды США

EUROFER – Европейская ассоциация производителей стали

CLP (Classification, Labelling, Packing) – регламент № 1272/2008 Европейского Парламента и Совета по классификации, маркировке и упаковке химических веществ и их смесей

ICCM - Международная конференция по управлению химическими веществами

NOEC (No observed effect concentration) – самая высокая из известных, полученных в ходе экспериментов, значений концентраций, для которой не наблюдается статистически значимого смертельного или другого эффекта

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) – Регламент 1907/2006 Европейского Парламента и Совета по регистрации, оценке, разрешению и ограничению химических веществ

ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

Алгоритм - набор процедур и инструкций, описывающих порядок действия для достижения требуемых результатов, в том числе результатов по управлению обращением или оценки воздействия на окружающую среду опасных химических веществ.

Автохтонные вещества - растворенные и взвешенные вещества, образующиеся в самом водоеме в результате биохимических, физических, химических и геодинамических процессов.

Биоаккумуляция - чистый результат накопления, трансформации и устранения вещества через все пути поступления в организм (воздух, вода, седименты/почва и пища).

Биодоступность (или биологическая доступность) - степень проникновения вещества в организм и его распределения в какой-либо области организма. Биодоступность зависит от физико-химических свойств вещества, анатомических и физиологических особенностей организма, фармакокинетики и путей поступления в организм.

Биоконцентрация - чистый результат накопления, трансформации и устранения вещества из организма при его поступлении через воду, измеряемый как отношение концентрации вещества в организме к его равновесной концентрации в воде.

Высвобождение ртути - переход ртути, из связанного состояния в земной коре, в высококомобильные соединения, находящиеся в атмосфере, воде и почве и способные накапливаться в биоте.

Высококачественное аналитическое исследование - результат лабораторного эксперимента для которого имеется надлежащее методическое описание, позволяющее проверить соблюдение критериев достоверности и надежности, одним из которых является воспроизводимость результатов эксперимента с надлежащей точностью. Высококачественное аналитическое исследование начинается с анализа литературных данных и заканчивается представлением

отчета по заранее согласованной форме в соответствии с требованиями стандартов.

Высококачественные данные - данные, в отношении которых соблюдены и описаны критерии достоверности и надежности примененного метода испытаний или исследований.

Географическая информационная система (ГИС) –распределенная компьютерно-информационная система сбора, хранения, преобразования, обработки и визуализации пространственных или географических данных.

Достоверность – обоснованность, доказательность и бесспорность знания. Применительно к результатам эксперимента достоверным считается эксперимент результаты которого не вызывают сомнений.

Жизненный цикл химического вещества - последовательность стадий существования химического вещества в окружающей среде включая: получение исходного сырья, подготовку к производству, производство, применение (включая использование в составе продукции), утилизацию или повторное использование и удаление химических веществ. К полному жизненному циклу химического вещества относятся также процессы транспортировки и хранения химических веществ. В окружающей среде в жизненный цикл включаются процессы миграции химического вещества между подсистемами окружающей среды, переноса за пределы исследуемой географической области (территории) или в исследуемую географическую область, деградации химического вещества.

Зеленая химия - направление научной деятельности в химической науке, включающее открытие и синтез веществ, производство и применение химических процессов и продукции, обеспечивающих уменьшение или исключение вредного воздействия химических веществ или технологий на окружающую среду и здоровье человека, а также рациональное использование всех видов природных ресурсов, на различных этапах жизненного цикла химических веществ.

Идентификация химического вещества - процесс определения типа

химического вещества (монокомпонентное, мультикомпонентное), способа его синтеза, наличия примесей в химическом веществе и установление на различных этапах «цепи поставок», или жизненного цикла вещества, однозначного соответствия с конкретными нормативными идентификаторами химических веществ, которыми являются: химическое наименование химического вещества по номенклатуре Международного союза по чистой и прикладной химии - ИЮПАК (если объектом исследования является смесь химических веществ, то указывается химические наименования компонентов, определяющих опасность смеси); идентификационный номер Европейского Союза и номер Chemical Abstracts Service - CAS (номер химического вещества в реестре Химической реферативной службы, США); техническое или торговое наименование; способ получения вещества и его компонентный состав (наличие примесей).

Кларки элементов – это система усреднённых содержаний, характеризующих распространённость химических элементов в крупной геохимической системе (в земной коре, литосфере, атмосфере, гидросфере, биосфере, на Земле в целом или в космосе). Выражается в массовых, объёмных, атомных процентах (%), промилле (‰), миллионных частях (г/т) или по отношению к содержанию одного из элементов, наиболее распространённого, например кремния.

Компьютерная модель – программно-информационная реализация алгоритмов решения систем уравнений математических моделей.

Концептуальная модель системы обращения химических веществ - специальное наглядно-графическое отображение взаимосвязей и сущности возможных основных процессов и явлений, происходящих при обращении химических веществ, как на глобальном (планетарном), так и на локальном (региональном) уровнях.

Логико-вычислительный алгоритм – алгоритм, в котором представлена однозначно определенная последовательность выполняемых логических операций и вычислений.

Математическая модель – совокупность математических соотношений, уравнений, неравенств и т.п., описывающих основные закономерности, прису-

щие изучаемому процессу, объекту, явлению или системе.

Математическое моделирование – метод изучения свойств некоторых реальных систем как объектов математических моделей.

Методология – совокупность методов, правил выполнения исследований, правил назначения и применения методов, а также этапы и последовательность применения методов исследования.

Методика – совокупность этапов применения метода исследования, приемов проведения какой-либо работы.

Метод – прием, способ или инструмент действия.

Надежность данных – устойчивость данных, устанавливаемая при повторных измерениях некоторой переменной, а также посредством контроля ошибки измерений, и обеспечивающая интерсубъективность данных, т.е. возможность получения одинаковых данных разными исследователями. На степень надежности данных оказывают влияние источник и характер данных, а также условия их получения.

Обращение химических веществ - совокупность бизнес-процессов и технологических процессов, процедур и мероприятий, осуществляемых при получении и использовании химических веществ в деятельности человека на протяжении всего их жизненного цикла, а также процесс их участия в физико-химических явлениях, протекающих в подсистемах окружающей среды.

Оценка воздействия на окружающую среду химических веществ (Environmental Impact Assessment of Chemicals) - определение характера и степени опасности всех потенциальных видов влияния на природную среду обращающихся на исследуемой территории химических веществ и оценка экологических, социальных и экономических последствий этого воздействия.

Планетарные границы (planetary boundaries) - границы воздействия человека на окружающую среду, в пределах которых риск негативного воздействия или последствий на глобальном уровне минимален.

Программа «Ответственная забота» (Responsible Care® program) – международная добровольная инициатива предприятий химического комплекса

по непрерывному улучшению и достижению совершенства производственно-экологического менеджмента химических предприятий по управлению производством, управлению качеством охраны окружающей среды, обеспечения здоровья и безопасности работников и населения, а также социальной ответственности при реализации принципов и концепции устойчивого развития.

Ключевые показатели производительности (Key performance indicator – KPI) – определенные на глобальном уровне показатели, рассчитываемые на основе первичных исходных данных о производственно-финансово-организационной и экономической деятельности предприятия, позволяющих оценивать фактическое состояние и изменение показателей эффективности всех бизнес-процессов экономической, социальной и экологической деятельности.

Подсистемы окружающей среды - рассматриваемые при анализе воздействия на окружающую среду как отдельные составляющие окружающей среды подсистемы - атмосфера (в которой в ряде случаев в качестве отдельного компонента может выделяться городской воздух), гидросфера (причем пресные и морские водоемы представляются и оцениваются отдельно), почва (как часть литосферы) и биота.

Система обращения с отходами – развернутая совокупность мероприятий и действий по сбору, транспортировке, переработке, вторичному использованию или утилизации отходов и контролю всех бизнес-процессов и технологических процессов воздействия на отходы.

Системный подход - методологическое направление в области общей теории систем разработки общей стратегии и методологии, а также неформализованных, или эвристических, и формализованных методов комплексного исследования процессов, явлений и объектов, рассматриваемых как сложные системы разных типов и классов.

Системный подход предполагает, что взаимосвязь и взаимодействие элементов, процессов и явлений, происходящих в некоторой системе (объекте), обеспечивает появление у этой системы (объекта) принципиально новых свойств, которые не присущи ее отдельным элементам, подсистемам, процес-

сам и явлениям.

Системный подход основан на одном из важнейших законов диалектического материализма – законе всеобщей взаимосвязи, взаимодействия и взаимообусловленности явлений и объектов в окружающей среде.

Фактор FF (англ. fate factor) - матрица факторов существования химического вещества в окружающей среде, учитывающий миграцию, трансформацию и перенос химического вещества в окружающей среде, в том числе, его способность к биоразложению и биодegradации.

Химический след (англ. chemical footprint) – количественная мера, описывающая наличие в подсистеме окружающей среды пространства, необходимого для разбавления химического загрязнения, обусловленного деятельностью человека, до уровня ниже заданных граничных условий (или установленных пределов).

Химическое вещество (англ. chemicals) - либо химический элемент либо химическое соединение, существующее в природе или полученное искусственно (последнее в рамках данной работы называется химическим веществом антропогенного происхождения).

Экологический след (англ. ecological footprint) - определенная площадь биологически продуктивной территории, которая необходима для производства используемых человеком ресурсов и ассимиляции отходов (бытовых и производственных).

«Экологический след» измеряется в «глобальных зеленых гектарах». В соответствии с определением, данным Всемирным фондом дикой природы⁶⁶: «Экологический след – это условное понятие, отображающее потребление человечеством ресурсов биосферы, которое количественно измеряется размером площади (в гектарах) биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства используемых человеком ресурсов, а также для поглощения, и переработки образующихся отходов».

⁶⁶ <http://wwf.ru/resources/footprint/about>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

-
1. Медоуз Д. Х., Рандерс Й., Медоуз Д. Л., Пределы роста: 30 лет спустя,
 2. Steffen W., Richardson K., Rockström J. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet//Science Express. 2015, №347 (6223), p.736
 3. Waters C.N., Zalasiewicz J., Summerhayes C. et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene//Science. 2016, № 351(6269), p.137.
 4. Путин С.Б., Самарин В.Д. Комплексная система химической безопасности России: теоретические основы и принципы построения. М.: Издательство "Машиностроение", 2010. 280 с.
 5. Мешалкин В.П., Бутусов О.Б., Гнаук А. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем: Учеб. пособие. М. ; Берлин ; Генуя : Химия, 2008. 357 с.
 6. Мошев Е.Р., Мешалкин В.П., Кантюков Р.А. и др. Эвристическо-вычислительные инструменты компьютеризированной интегрированной логистической поддержки промышленных трубопроводных систем //Прикладная информатика. 2015. № 2 (56). с.110-120.
 7. Кантюков Р.А., Мешалкин В.П., Горюноква А.А. и др. Математическое и компьютерное моделирование загрязнения атмосферы при разрыве газопроводов. Тула: Инновац. технологии, 2014. 188 с. (Наука - производству и предпринимательству).
 8. Белозерский А.Ю., Бутусов О.Б., Мешалкин В.П. и др. Математическое моделирование распространения радиоактивных загрязнений при разрушении хранилищ радиоактивных отходов //Бъдещите изследованиа – 2014 (Перспективные научные исследования): Матер. 10-й междунар. науч.-практ. конф. София, 2014. Т.39. с.43-46.

-
9. Мешалкин В.П., Бутусов О.Б., Панарин В.М. Компьютерная оценка воздействия на окружающую среду магистральных трубопроводов : Учеб. пособие. М.: Химия, 2008. 444 с.
10. Мешалкин В.П. Методика анализа и прогнозирования опасных ситуаций на объектах газохимического комплекса // Основные направления повышения ресурсоэнергоэффективности и экологической безопасности газотранспортных систем: Сб. тр. Науч.-практ. сем. в рамках 26 Междунар. Чугаевской конф. Казань, 2014. с. 7-13.
11. Бутусов О.Б., Мешалкин В.П. Компьютерное моделирование и управление процессами загрязнения воздушного бассейна выбросами промышленных предприятий // Технология металлов. 2008. № 2. с.44-51.
12. Butusov O., Meshalkin V.P. Mathematical simulation and optimization of forest management with consideration of carbon balance//Energy for Sustainable Future: Abstr. 2 Workshop. Veszprem, 2008. p. 251-255.
13. Panarin V., Meshalkin V.P. New energy-saving technologies in the chemical industry//Energy for Sustainable Future: Abstr. 2 Workshop. Veszprem, 2008. P. 287-290.
14. Моисеев Н.Н. Модели экологии и эволюции. М.: Знание, 1983. 64 с.
15. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 319 с.
16. Теория прогнозирования и принятия решений: учебное пособие/под редакцией С.А Саркисяна. М.: Высшая школа, 1977. 351 с.
17. Экологический мониторинг окружающей среды: В 2-х т. / Комиссаров Ю.А., Гордеев Л. С., Эдельштейн Ю.Д., Вент Д. П.. М.: Химия, 2005.
18. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л., Дунаевский Л.В. Экономика природопользования. Эффективность. Ущерб. Риски. М.: Наука, 1998. 252 с.
19. Потравный И.М., Новоселов А.Л., Алныкина Е.М. Модели истощения природных ресурсов и оценки прошлого ущерба от загрязнения окружающей среды//Плехановский научный бюллетень. 2015. № 2 (8). с. 53-78.

-
20. Саркисов П.Д., Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. и др. Системный анализ безопасного обращения химической продукции: методы и подходы к прогнозированию и классификации опасностей//Теоретические основы химической технологии. 2013. Т. 47. № 1. с. 26
21. Савицкая Т.В. Системный анализ и управление безопасностью химических производств с использованием новых информационных технологий: дис. ... докт. техн. наук. М., 2004. 591 с.
22. McKinney M.L., Schoch R.M., Yonayjak L. Environmental Science: Systems And Solutions. Burlington: Jones & Bartlett Learning Inc., 2007
23. Мешалкин В.П., Бутусов О.Б., Гнаук А.Г. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем: Учеб. Пособие. М.: ИНФРА, 2010. 357 с.
24. Posthuma L., Zwart D. De. Predicted effects of toxicant mixtures are confirmed by changes in fish species assemblages in Ohio, USA, rivers//Environ. Toxicol. Chem. 2006. T.25. №4, с. 1094-1105.
25. Posthuma L., Zwart D. De. Predicted mixture toxic pressure relates to observed fraction of benthic macrofauna species impacted by contaminant mixtures//Environ. Toxicol. Chem. 2012. T.31, №9, с. 2175-2188.
26. Zijp M. C., Posthuma L., Dik van de Meent. Chemical footprints: thin boundaries support environmental quality management//Environ. Sci. Technol, 2014. № 48. p.13025-13026.
27. Čuček L., Klemeš J.J., Kravanja Z. A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability//J Clean Prod. 2012. № 34.p.9–20.
28. Meshalkin V.P, Klemes J., Bulatov I. et al. Recommendations on environmentally safe performance of a processing plant on the basis of analysis of pollution concentration distributions fields. 16-th International Congress of Chemical and Process Engineering «CHISA 2004». Prague. 2004. v. 4.
29. Rosenbaum R.K., Margni M., Jolliet O. A flexible matrix algebra framework for the multimedia multipathway modeling of emission to impacts//Environment International. 2007. V. 33. p.624–634.

-
30. Ягодин Г.А., Тарасова Н.П. Будущее промышленности в свете концепции устойчивого развития//Экология и промышленность России. 2001. № 3. с.23-25.
31. Тарасова Н. П., Макарова А. С. Оценка уровня химического загрязнения в контексте планетарных границ//Известия Академии наук. Серия химическая. 2016. № 5. с.1383-1394.
32. Коптюг В.А., Матросова В.М., Левашова В. К. Новая парадигма развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты. Изд.2. М.: Academia. 2000. 416 с.
33. Кустов Л.М., Белецкая И.П. "Green Chemistry" – новое мышление//Российский химический журнал. 2004. Т.48, N 6, 3–12.
34. Белецкая И.П., Кустов Л.М. Катализ – важнейший инструмент «зеленой» химии//Успехи химии. 2010. № 79 (6). с.493-515
35. Тарасова Н.П., Нефёдов О.М., Лунин В.В. Химия и проблемы устойчивого развития и сохранения окружающей среды//Успехи химии. 2010. № 79 (6). с.491-492.
36. Зефирова О.Н., Палюлин В.А. История QSAR. Ранние исследования количественной связи между структурой и биологической активностью органических соединений. В кн.: История химии: область науки и учебная дисциплина. Под ред. В.В.Лунина и В.М.Орла. М.: Изд-во МГУ, 2001, с. 60–73.
37. Tundo P., Anastas P., Black D. St C. et al. Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview//Pure Appl. Chem. 2000. № 72. С. 1207
38. Телегина М.В. Поддержка принятия решений при обработке данных производственного экологического мониторинга потенциально химически опасных объектов: дис. ... докт. техн. наук. Ижевск, 2015. 382 с.
39. Степанченко И.В. Поддержка принятия решений для задач экологического мониторинга атмосферного воздуха в городах: дис. ... докт. техн. наук. Волгоград, 2015. 236 с.

-
40. Панова С.А. Методология разработки систем управления инновационным развитием производства крупнотоннажных химических продуктов на основе системного подхода : дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2009. 283 с.
41. Колыбанов К.Ю. Информационные системы экологического мониторинга предприятий химического профиля на базе технологий хранилищ данных: дисс. ... докт. техн. наук. Тамбов, 2007. 292 с.
42. Пляскина И.В. Анализ влияния и разработка научно-методических принципов коррекции неблагоприятных факторов окружающей среды в решении региональных проблем охраны здоровья детского населения: автореферат дис. ... докт.биол.наук. Москва, 2008. 47 с.
43. Островский Г.М., Лаптева Т.В., Зиятдинов Н.Н. Проектирование оптимальных химико-технологических систем в условиях неопределенности// Теоретические основы химической технологии. 2014. № 48 (5). с.527-537.
44. Скобелев Д.О., Макарова А.С., Муратова Н.М. и др. Безопасность химической продукции: Международные и национальные аспекты, ООО «Маркетинг. Информационные технологии». - М.:, 2011, 230 с.
45. APEC Chemical Dialogue (CD) History and Achievements, GlobalChem Conference 2009, Baltimore, Kate Clemans, 6 - 8 April 2009.
46. China's Chemical Industry [Электронный ресурс] // The new forces driving change. Издательство: KPMG China: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.kpmg.de/docs/China-Chemical-Industry-201109.pdf> (дата обращения: 07.01.2016).
47. Онищенко В. В. Законодательство о химическом регулировании Бразилии, Мексики, Китая, Турции // Токсикологический вестник. 2012. No.3 (114). С. 57-63.
48. Chemical Inspection&Regulation Service [Электронный ресурс] // Chemical Compliance in China: [сайт]. [2011]. URL: http://www.cirs-reach.com/China_Chemical_Regulation/Overview_Chemical_Legislation_Regulations_in_China.html (дата обращения: 07.01.2016).

49. Рекомендации ООН ST/SG/AC.10/30/Rev.4 Согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химической продукции (СГС). Четвертое пересмотренное издание [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций: [сайт]. [2011] URL: http://www.unece.org/ru/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/04files_r.html (дата обращения: 19.02.2013).

50. Разработка национальной стратегии внедрения СГС. Методическое руководство по внедрению Согласованной на глобальном уровне системы классификации и маркировки химических веществ (СГС). 1-е изд. Женева: UNITAR, 2005.

51. Klimisch J., Andreae M., Tillmann U. A Systematic Approach for Evaluating the Quality of Experimental Toxicological and Ecotoxicological Data // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 1997. P. 1-5.

52. Meylan W. M., Howard P. H. Atom-fragment contribution method for estimating octanol-water partition coefficients // Journal of Pharmaceutical Sciences. 1995. Vol. 84, No. 1.

53. Hansch, C., Leo A. J. MEDCHEM Project Issue No 26. Claremont, CA: Pomona College, 1985.

54. Зажигалкин А.В., Зверкова Н.В., Макарова А.С. и др. Проблемы нормативно-правового обеспечения безопасного обращения химической продукции в Российской Федерации// Стандарты и качество. 2011. № 1. с. 34-37.

55. Зажигалкин А.В. Нормативно-правовое обеспечение химической безопасности в РФ//Методы оценки соответствия. 2011 № 3. с.8-12.

56. «Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» (Заключена в г. Базеле 22.03.1989). Действующее международное право. Т. 3.- М.: Московский независимый институт международного права, 1997. С. 700 - 720.

57. Федеральный закон от 25.11.1994 N 49-ФЗ «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» // Собрание законодательства РФ – 1994. – 28 ноября.

58. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). OJ L 312, 2008, P. 3–30.

59. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 28.07.2012) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступающими в силу с 23.09.2012). // Совет Федерации – 1998. – 24 июня.

60. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 N 80 «О введении в действие Санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.7.1322-03» (вместе с «СанПиН 2.1.7.1322-03. 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.04.2003). // Министерство юстиции – 2003. – 28 мая.

61. Convention 170 and Recommendation 177 concerning safety in the use of chemicals at work. International Labor Organization Publications, International Labour Office, Switzerland, 1990. P. 8

62. ГОСТ 32419-2013. Классификация опасности химической продукции. Общие требования. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 62 с.

63. ГОСТ 32421-2013. Классификация химической продукции, опасность которой обусловлена физико-химическими свойствами. Методы испытаний взрывчатой химической продукции. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 74 с.

64. ГОСТ 32481-2013. Товары бытовой химии в аэрозольной упаковке. Общие технические условия. – Дата введения: 2015-01-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.

65. ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. - Дата введения: 1988-01-01. М.: Издательство стандартов, 1996. – 47 с.

66. ГОСТ 32424-2013. Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Основные положения. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартиформ, 2014. - 16 с.

67. Цыб С.А., Скобелев Д.О., Муратова Н.М. и др. Информационные ресурсы стран-членов ООН и международных организаций в области безопасности химической продукции и веществ. Аналитический обзор. – М.: ОАО "КТС", 2012.

68. Скобелев Д.О., Журба Е.В. Информационные ресурсы экономик АТЭС и других международных организаций: сравнительный обзор и стратегия поиска // Химия и бизнес, 2013. № 4. С.63-65.

69. Мезенцева О.В., Косорукова И.А. Принцип взаимного признания данных - базовый элемент процесса гармонизации // Мир стандартов. 2014. № 3 (84). С.20-24.

70. Скобелев Д.О., Зайцева Т.М., Никишина В.О., Мезенцева О.В., Стоянова Е.В. Надлежащая лабораторная практика (GLP): сравнительный анализ регулирования GLP в разных странах. – М.: ООО «Маркетинг. Информационные технологии», 2011.-168 с

71. Скобелев Д.О., Зайцева Т.М. Козлов А.Д. Перепелица В.Л., Макарова А.С. Лабораторные информационные менеджмент-системы в практике аналитических лабораторий// Измерительная техника. 2010. № 10. С. 66-71.

72. Zwart D. De, Posthuma L. Complex mixture toxicity for single and multiple species: Proposed methodologies//Environ. Toxicol. Chem. 2005. Т. 24. №10, Р. 2665–2676.

73. Гигиенические нормативы. Химические факторы окружающей среды. 7-е изд., доп. и перераб., под ред. Ю. А. Рахманина, В. В. Семеновой, А. В. Москвина, НПО «Профессионал», Санкт-Петербург, 2014, 908 с.

74. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. Дата введения: 01.02.2006. М.: Росгидромет, 2006. - 60 с.

-
75. ГОСТ 27065-86, Качество вод. Термины и определения. Дата введения: 01.01.1987. М.: Издательство стандартов, 1986. - 8 с.
76. Кубатко А. В. Научный подход к определению экологического следа как индикатора устойчивого развития на уровне региональных экономик// Механизм регулирования экономики. 2009. № 1. с.194-203.
77. Posthuma L., Suter G.W., Traas T.P. Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology. Lewis Publishers, Boca Raton, 2002. P. 616.
78. Трейман М.Г., Юдин А.П. Применение «бабл-принципа» для водных объектов на примере акватории реки Нева//Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2014. № 2.
79. Воронков А.Н., Точков А.Г., Вакуленко Р.Я. Направления применения «зеленых» технологий в логистике//Вестник СамГУПС. 2012. 2012. с.62-69.
80. Смирнов В. Г., Маймулов В. Г., Нечипоренко С. П. и др. Расчетные методы оценки опасности и гигиенического нормирования вредных веществ в разных средах. М., 2002. 130 с.
81. Жолдакова З. И., Харчевникова Н. В. Прогноз опасности веществ по зависимости структура-биотрансформация-активность // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева), 2004, № 2. с. 16 - 24.
82. Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А., Авалиани С. Л., Буштуева К. А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / под ред. Рахманина Ю. А., Онищенко Г. Г. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
83. Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского, В. А. Филова. М.: Медицина, 2002. 608 с.
84. Hansch C., Fujita T. ρ - σ - π Analysis. A Method for the Correlation of Biological Activity and Chemical Structure // J. Ann. Chem. Soc. 1964. V.86. P. 1616 - 1626.
85. Rekker, R. F., de Kort, H. M. The hydrophobic fragmental constant; an extension to a 1000 data point set. // Eur. J. Med. Chem. 1979. P. 479 - 488.

-
86. Lyman, W. J. Environmental Exposure from Chemicals, Vol. 1; Neely, W. B., Blau, G. E., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, 1985. P. 13 - 47.
87. Sabljic A., Guesten H., Hermens J. et al. Modeling octanol/water partition coefficients by molecular topology: chlorinated benzenes and biphenyls // *Environ.Sci. Technol.* 1993. P. 1394-1402.
88. Nakagawa Y., Izumi K., Oikawa N. et al. Analysis and prediction of hydrophobicity parameters of substituted acetanilides, benzamides and related aromatic compounds // *Environ. Toxicol. Chem.* 1992. P. 901-916.
89. Bodor N., Huang M.J. An extended version of a novel method for the estimation of partition coefficients // *J. Pharm. Sci.* 1992. P. 272-281
90. Niemi G.J., Basak S.C., Veit G.D. et al. Prediction of octanol/water partition coefficient (KOW) with algorithmically derived variables // *Environ. Toxicol. Chem.* 1992. P. 893-900.
91. Meylan W. M., Howard P. H. Estimating octanol-air partition coefficients with octanol-water partition coefficients and Henry's law constants // *Chemosphere* 61, 2005. P. 640 - 644.
92. Meylan W. M., Howard P. H. Atom/fragment contribution method for estimating octanol-water partition coefficients // *J. Pharm. Sci.* 84, 1995. P. 83 - 92
93. Pedersen F., Tyle H., Niemela J. R. et al. Environmental Hazard Classification: Data Collection and Interpretation Guide for Substances to be Evaluated for Classification as Dangerous for the Environment, 2nd Edition, Nordic Council of Ministers. Copenhagen, 1995.
94. Hilal S. H. Verification and Validation of the SPARC Model. National Exposure Research Laboratory U.S. Environmental Protection Agency. Athens, 2003.
95. Devillers J. et al. Validation of counter propagation neural network models for predictive toxicology according to the OECD principles: a case study. SAR and QSAR//*Environ. Res.* 3, 2006, 265-284
96. Ghose A. K., Viswanadhan V. N., Wendoloski, J. J. Prediction of Hydrophobic (Lipophilic) Properties of Small Organic Molecules Using Fragmental Meth-

ods: An Analysis of ALOGP and CLOGP Methods // *J. Phys. Chem. A* 1998. P. 3762-3772.

97. ГОСТ 32423-2013. Классификация опасности смесевой химической продукции по воздействию на организм. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартинформ, 2014. - 16 с.

98. ГОСТ 32425-2013. Классификация опасности смесевой химической продукции по воздействию на окружающую среду. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартинформ, 2014. - 12 с.

99. Sörlin S., Warde P., in *Nature's End: History and the Environment*, Ed. S. Sörlin, P. Warde, Palgrave MacMillan. London, 2009, P. 1.

100. Sörlin S., Warde P., in *Nature's End: History and the Environment*, Ed. S. Sörlin, P. Warde, Palgrave MacMillan. London, 2009, P. 1.

101. Агеева И. В., Беднова О. В., Вавилов С. Ю. И др. Зеленые технологии для устойчивого развития: учеб. пособие под ред. Н. П. Тарасовой. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2014. 165 с.

102. Bishop R.C. Endangered species and uncertainty: the economic of the safe minimum standard // *Am. J. Agric. Econ.*, 1978, **61**, p.1017.

103. Бутусов О. Б., Мешалкин В. П. Эколого-экономическая оценка воздействия металлургического комбината на природную среду полярного региона // *Север и рынок: формирование экономического порядка: научно-информационный журнал*. 2014. № 3. С. 114–118.

104. Мешалкин В.П., Леонтьев Л.И., Бутусов О.Б. Методология построения системы интегральных индексов для оценки воздействия металлургических комбинатов на лесные массивы. *Энциклопедия инженера-химика*. 2009. № 5. С. 29-35.

105. Perrini F., Tencati A. (2006). A. Sustainability and stakeholder management: The need for new corporate performance evaluation and reporting systems// *Business Strategy and the Environment*. 2006. №15. P. 296-308

106. Rockström J., Steffen W., Noone K. et al. A safe operating space for humanity//*Nature*. 2009. P. 472.

-
107. Running S. W. A measurable planetary boundary for the biosphere//Science, 2012. P. 1458.
108. Tarasova N.P., Smetannikov Yu.V., Balitsky V.Yu. The Limits of Sustainability of Phosphorus Cycle under Global Impact. //World Resource Review, 1995, v. 6, No. 5, p 237.
109. Persson L.M., Breitholtz M., Cousins I.T. et al. Confronting unknown planetary boundary threats from chemical pollution // Environ. Sci. Technol. 2013. P. 12619 – 12622.
110. MacLeod M., Breitholtz M., Cousins I.T. et al. Identifying chemicals that are planetary boundary threats//Environ. Sci. Technol. 48, 2014. P.11057 – 11063.
111. Петросян В.С. Химические спутники Земли и химические бумеранги: проблемы химической безопасности //Химия в интересах устойчивого развития. 2011. Т. 19. № 3. С. 345-358.
112. Wania F., MacKay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants// Environ. Sci. Technol. 1996. Vol. 30. P. 390-395A.
113. Iwata H., Tanabe S., Sakai N. et al. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate// Environ. Sci. Technol. 1993. Vol. 27. P. 1080-1098.
114. Петросян В.С. Химические бумеранги и здоровье населения России //Вестник РАЕН. 2005. Т.5, № 3. С.58-64.
115. Wania F., MacKay D. Global Fractionation and Cold Condensation of Low Volatility Organochlorine Compounds in Polar Regions // Ambio. 1993. Vol. 22. P. 10-18.
116. Ryberg M., Vieira M., Zgola M. et al. Updated US and Canadian Normalization Factors for TRACI 2.1//Clean technologies environmental. 20 14. №16(2) p.329-339.
117. Laurent A., Lautier A., Rosenbaum R.K. et al. Normalization references for Europe and North America for application with USEtox (TM) characterization factors// Life Cycle Assessment. 2011. № 16 (8). P. 728-738.

118. Wackernagel M., Rees W. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. - Philadelphia: New Society Publishers, 1996. P. 160.

119. Serenella S., Erwan S. Planetary boundaries and chemical pollution: A Grail quest?//Chemistry International, 2014, 36 (6), p. 2-4.

120. Fang K., Heijungs R., De Snooa G.R. Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework//Ecological Economics. 2015. № 114.p. 218–226.

121 Rees W. E., Wackernagel M. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 1995.

122. Печуркин Н.С., Сомова Л.А. Техногенная цивилизация: от социально-экономической к экологической неустойчивости // Вестник российской академии наук. 2014. том 84, № 2, с.153-158.

123. Экологический след субъектов Российской Федерации / общ. ред. П. А. Боев. Всемирный фонд дикой природы (WWF). М.: WWF России, 2014. 88 с.

124. UNEP/SETAC. United Nations Environment Programme/Society of Environmental Toxicology and Chemistry [Электронный ресурс]. Life cycle management: How business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable. [cited 2012 December 10]: [сайт]. [2009]. URL: <http://www.unep.fr> (дата обращения: 23.06.2017)

125. Simmons C., Lewis K., Barrett J. Two feet – two approaches: a component-based model of ecological footprinting // Ecological Economics. 2000. № 32(3). p. 375-38.

126. Экологический след субъектов Российской Федерации / общ. ред. П. А. Боев. Всемирный фонд дикой природы (WWF). М.: WWF России, 2014.-88 с.

127. Бегак М. В., Гусева Т. В., Молчанова Я. П. и др. Мониторинг и сокращение углеродного следа российских водоканалов. Методика определения углеродного следа сооружений очистки сточных вод. М.: Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, 2013. 56 с.

-
128. Panko J, Hitchcock K. Chemical footprint, ensuring product sustainability// Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers. 2011. №12. P.12-15.
129. Bjørn A, Diamond M, Birkved M, Hauschild MZ. A chemical footprint method for improved communication of freshwater ecotoxicity impacts in the context of ecological limits// Environmental Science & Technology. 2014. №48(22). P. 13253-62.
130. Володин Е. М. Математическое моделирование Земной системы В. Я. Галин и А. С. Грицун / под ред. Н. Г. Яковлева. -М.: МАКС Пресс, 2016. -328 с.
131. MacLeod M., Scheringer M., McKone T.E. et al. The State of Multimedia Mass-Balance Modeling in Environmental Science and Decision-Making//Environmental Science & Technology. 2010. № 44. P. 8360–8364.
132. Sörme L., Palm V., Finnveden G. Using E-PRTR data on point source emissions to air and water – First steps towards a national chemical footprint Original Research Article//Environmental Impact Assessment Review. 2016. №56. p.102-112
133. Rochat D, Margni M, Jolliet O. Continent-specific intake fractions and characterization factors for toxic emissions: does it make a difference?//Int J Life Cycle Assess. 2004. №11. p.55–63.
134. Jolliet O, Margni M, Humbert S et al. IM-PACT2002+: a new life cycle impact assessment methodology//Int J Life Cycle Assess. 2003. №8. p.324–330.
135. Hauschild M., Potting J., Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment, the EDIP2003 Methodology, 2005.
136. Goedkoop M., Spriensma R. The Ecoindicator 99 - a Damage Oriented Method - for Life Cycle Impact Assessment. 2001.
137. Henderson A.D., Hauschild M.Z., van de Meent D. et al. USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties//Int J Life Cycle Assess. 2011. №16.p.701–9.

-
138. Van Hoof G., Schowanek D., Feijtel T.C.J. Comparative life-cycle assessment of laundry detergent formulations in the UK//Tenside Surf. Deterg. 2003. №40 (5), p.266–275.
139. Hauschild M. Z., Huijbregts M., Jolliet O. et al. Building a model based on scientific consensus for life cycle impact assessment of chemicals: the search for harmony and parsimony //Environ. Sci. Technol. 2008. № 42 (19), p. 7032.
140. Rosenbaum R. K., Bachmann T. M., Gold L. S. et al. USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment //Int. J. Life Cycle Assess. 2008. №13 (7). p. 532.
141. Westh T.B., Hauschild M.Z., Birkved M. et al. The USEtox story: A survey of model developer visions and user requirements//Int J Life Cycle Assess. 2015. № 20(2). P.299-310.
142. Van de Meent D., Huijbregts M.A.J. Calculating life-cycle assessment effect factors from potentially affected fraction-based ecotoxicological response functions //Environ. Toxicol. Chem. 2005, № **24 (6)**, p.1573-1578.
143. Gandhi N., Diamond M. L., Van de Meent D. et al. New method for calculating comparative toxicity potential of cationic metals in freshwater: application to copper, nickel, and zinc//Environ. Sci. Technol. 2010. № **44 (13)**, p. 5195-5201.
144. Larsen H., Hauchild M. Z. Evaluation of ecotoxicity effect indicators for use in LCIA//Int. J. Life Cycle Assess. 2007. № **12 (1)**, p. 24-33.
145. Pennington D.W., Payet J., Hauschild M. Z. Aquatic ecotoxicological indicators in life cycle assessment. Environmental Toxicology and Chemistry//Environ. Toxicol. Chem. 2004. № **23 (7)**. p. 1796-1807.
146. Borucke M., Moore D., Cranston G. et al. Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework//Ecol. Indic. 2013. № 24. p. 518-533.
147. Liang S., Wang Y., Cinnirella S. et al. Atmospheric Mercury Footprints of Nations//Environ. Sci. Technol. 2015. № 49. 3566–3574.

148. Вейнберг Д. Ртутное загрязнение – введение в проблемы для НПО [Электронный ресурс]. IPEN [сайт]. [2007]. URL: http://www.ecoaccord.org/pop/mercury/ipen_mercury_intro_booklet.pdf (дата обращения: 03.02.2017).

149. Вредные вещества в окружающей среде. Редактор-организатор В.А. Филов. Элементы I-V групп периодической системы и их неорганические соединения: Спав.-энц. Изд. / под ред. В.А. Филова и др. – СПб.: НПО «Профессионал», 2012. – 464 с.

150. Гавриш С.В., Давление насыщенных паров над амальгамой щелочных металлов в разрядных лампах, Прикладная механика и теоретическая физика, 2011г. Т. 52 №6, с. 92-99.

151. Mattila T., Doctoral Dissertation, Aalto University, Helsinki, Finland, 2013. P. 120.

152. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. М.: Стандартинформ, 2010. – 23 с.

153. Притужалова О.А. Экологическая оценка жизненного цикла продукции. Сравнительный экобаланс упаковки из комбинированных материалов в Федеративной республике Германия и Российской Федерации. Дис. ... канд.геогр. наук. – Тюмень, 2007.

154. Potting J, Hauschild M.Z. Spatial differentiation in life cycle impact assessment-a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA // Int J Life Cycle Assess. 2006. Volume 11. P. 11–13

155. Morten B. Chemical fate modeling//Презентация с USEtox short course – chemical fate modeling. DTU Management Engineering, Technical University of Denmark, 9 апреля 2010.

156. ГОСТ 32538-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоконцентрации на рыбах в проточных аквариумах. – Дата введения: 01.08.2014. М.: Стандартинформ, 2014. – 24 с.

157. Harbers J. V., Huijbregts M. A. J., Posthuma L. et al. Estimating the impact of high-production-volume chemicals on remote ecosystems by toxic pressure calculation//Environ. Sci. Technol. 2006. T.40. № 5, с.1573-1580.

158. Stempel S., Scherzinger M., Ng C. et al. Screening for PBT chemicals among the “existing” and “new” chemicals of the EU//Environ. Sci. Technol. 2012. № 46(11). p.5680-5687.

159. CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs) Chemical Safety Assessments, Supply Chain Communication and Downstream User Compliance; CEFIC: Brussels, Belgium, 2012.

160. Buser A. M., MacLeod M., Scheringer M. et al. Good modeling practice guidelines for applying multimedia models in chemical assessments //Integr. Environ. Assess. Manage. 2012. № 8 (4). p. 703-708.

161. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013 год. – М. Росгидромет, 2014. ISBN 978-5-904320-06-5

162. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году». – М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015. – 473 с.

163. Zijp M.C., Posthuma L., Dik van de Meent. Definition and Applications of a Versatile Chemical Pollution Footprint Methodology // Environmental Science & Technology. 2014. № 48. p.10588-10597.

164. Potting J, Blok K. Spatial aspects of life-cycle impact assessment. In: Udo de Haes HA, Jensen AA, Klöpffer W, Lindfors L-G (eds) Integrating impact assessment into LCA // Society of Environmental Toxicology & Chemistry. 1994. Brussels, P. 91–98.

165. Potting J, Blok K. Life-cycle assessment of four types of floor covering // J Cleaner Prod. 1995. № 3(4). P. 201–213.

166. Potting J., Schöpp W., Blok K. et al. Site-dependent life-cycle impact assessment of acidification//J Indust Ecol. 1998. № 2(2). P. 63–87.

-
167. Huijbregts MAJ, Seppälä J. Towards region-specific, European fate factors for airborne nitrogen compounds causing aquatic eutrophication // *Int J Life Cycle Assess.* 2000. № 5(2). P. 65–67
168. Helmes R.J.K., Huijbregts M.A.J., Henderson A.D. et al. Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale// *Int. J Life Cycle Assess.* 2012. № 17, P. 646–654.
169. Bijster M., Guignard C., Hauschild M. et al. USEtox® 2.0 [Электронный ресурс] // Documentation (Version 1). Fantke, P. (Ed.): [сайт]. [2015]. URL: <http://usetox.org> (дата обращения: 23.06.2017).
170. Asselman N.E. Suspended sediment in the river Rhine: The impact of climate change on erosion, transport, and deposition. Doctoral thesis Thesis, Utrecht University, Utrecht, 1997. P. 257.
171. Gandhi N., Diamond M.L., van de Meent D. et al. New method for calculating comparative toxicity potential of cationic metals in freshwater: Application to copper, nickel, and zinc// *Environmental Science and Technology.* 2010. № 44. P. 5195-5201.
172. Vörösmarty C.J., Fekete B.M., Meybeck M. et al. Global system of rivers: its role in organizing continental land mass and defining land-to-ocean linkages // *Global Biogeochem Cycles.* 2000. № 14. P. 599–621.
173. Vörösmarty C. J., Fekete B.M., Meybeck M. et al. Geomorphometric attributes of the global system of rivers at 30-minute spatial resolution (STN-30)// *J Hydrol.* 2000. № 237, p.17–39.
174. Miller Z.F., Pavelsky T.M., Allen G.H. Quantifying river form variations in the Mississippi Basin using remotely sensed imagery // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2014. № 18. P. 4883–4895.
175. Wollheim W.M., Vörösmarty C.J., Peterson B.J. et al. Relationship between river size and nutrient removal// *Geophysical Research Letters.* 2006. № 33. P. L06410

-
176. Implementation of Depthdependent Soil Concentrations in Multimedia Mass Balance Models / Hollander A., Hessel L., de Voogt P., van de Meent D. // (2004):. SAR and QSAR in Environmental Research, Volume 15, 2004. P. 457-468.
177. Paterson S., Mackay D. Interpreting chemical partitioning in soil-plant-air systems with a fugacity model. In: Trapp S , McFarlane JC (Editors), Plant Contamination. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, U.S., 1995. P. 191-214.
178. Sala S., Goralczyk M. Chemical footprint: A methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution //Integr. Environ. Assess. Manage. 2013, 9 (4), p. 623-632.
179. Р 1.2.3156-13. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115595> (дата обращения: 16.02.2017).
180. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. 403 с.
181. Горохов А.В., Путилов В.А., Шестаков А.А. Системная динамика в управлении региональным развитием (на примере Мурманской области)// Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. 6-й Международной конф. 2004 г.- Самара: СНЦ РАН, 2004. - С.370-375.
182. Шестаков А.А. Логическое моделирование в условиях неопределенности. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. 182 с
183. Аткиссон А. Как устойчивое развитие может изменить мир. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 455 с.
184. Дайман С.Ю., Островкова Т.В., Заика Е.А. и др. Системы экологического менеджмента для практиков/Под.ред. С.Ю.Даймона.-М.: Изд-во РХТУ им.Д.И.Менделеева, 2004. 248 с.
185. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии: Основы теории, опыт разработки и применения. М.: Химия, 1995. - 368 с.
186. Бубнов В.П. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа: монография / В.П. Бубнов, С.В. Дорожко, С.А. Лаптёнок. – Минск: БНТУ, 2009. 266 с.

187. Мешалкин В.П. Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств: основы теории и наилучшие практические результаты. М. Генуя: Химия, 2009. 393 с.

188 . Ингель Ф.И., Кривцова Е.К., Юрцева Н.А. и др. Учет эмоционального напряжения взрослых и детей при оценке влияния факторов окружающей среды на нестабильность и чувствительность генома. Итоги и перспективы // Гигиена и санитария. 2011. № 5, С. 44-48.

189. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Министерство экономического развития [сайт]. [2013]. URL: <http://government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf> (дата обращения: 11.02.2017).

190. Tarasova N.P., Makarova A.S., Varlamova S.N. et al. The development of Green Chemistry in Russia as a tool to improve the competitiveness of chemical products [an opinion poll]// Journal of Cleaner Production, 2014. № 83, p. 491–496.

191. Morgan Stanley research. Chemicals:“GreenisGood”– The Potential of Bioplastics. 2012. Август 22.

192. Письмо Первого заместителя Председателя Комитета РСПП по техническому регулированию и стандартизации и оценке соответствия А.Н.Лоцманова. Исх.№681 от 30.10.2014 о Концепции системы государственного регулирования обращения химических веществ и химической продукции в промышленности и торговле в Российской Федерации.

193. ГОСТ 31340-2013. Предупредительная маркировка химической продукции. Общие требования. – Дата введения: 2014-08-01. М.: Стандартинформ, 2014.-36 с.

194. Та, GC, Mokhtar, MB, МОКХТАР, НАВМОHD, Ismail, AB & ABU YAZID, MFBH 2010, Analysis of the comprehensibility of chemical hazard communication tools at the industrial workplace//Industrial Health, vol 48, no. 6, pp. 835-844

195. Dalvie M.A., Rother H.-A., London L., Chemical hazard communication comprehensibility in South Africa: Safety implications for the adoption of the globally harmonised system of classification and labelling of chemicals// Safety Science. № 61. Pages 51–58.

196. Hara K., Mori M., Ishitake T.. Results of recognition tests on Japanese subjects of the labels presently used in Japan and the UN-GHS labels// J Occup Health. 2007. № 49(4). P. 260-7.

197. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в российской Федерации за 2013 год. Москва, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2014.

198. Трахтенгерц Э. А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления. 2003. С. 13-28.

199. Simmons, P., Wynne, B. 1993. Responsible Care: Trust, credibility, and environmental management. In K. Fischer & J. Schott (Eds.), Environmental strategies for industry: International perspectives on research needs and policy implications, Washington, DC: Island Press, 1993. P. 201-226.

200. West, B., 2007. Responsible Application of Chemistry: An Introduction to Responsible Care. [Электронный ресурс] // IUPAC. [сайт]. [2017]. URL: <http://old.iupac.org/projects/2006/2006-047-1-022.html> (дата обращения: 10.01.2017).

201. Lee K. E., Goh C. T., Mazlin M. Embracing Responsible Care in Malaysian Chemical Industries, 2014. P.26-27.

202. King, A. A., Lenox, M. J. Industry Self-Regulation Without Sanctions: The Chemical Industry's Responsible Care Program. Academy of Management Journal 43 (4), 2000. P. 698-716.

203. Bélanger, J., Topalovic, P., West, J., et al. 2013. Responsible Care. A Case Study. Berlin, Boston: De Gruyter. Retrieved 18 Oct. 2016. [Электронный ресурс] //De Gruyter. [сайт]. [2017]. URL: <http://www.degruyter.com/view/product/247600> (дата обращения: 10.01.2017).

204 . Bélanger J., Topalovic P., Krantzberg G. et al. Responsible Care: History & Development. [Электронный ресурс] // Department of Civil Engineering [сайт]. [2009]. URL: <http://www.eng.mcmaster.ca/civil/facultypages/krantz11.pdf> (дата доступа: 19.10.2016).

205. Sandman P. M. Responsible Care.® Been There. Done That. What's Next? Harvey Chartrand Interviews "Outrage Expert" Dr. Peter M. Sandman. [Электронный ресурс] // The Peter Sandman Risk Communication [сайт]. [2002]. URL: <http://www.psandman.com/articles/ccpa.htm> (дата доступа: 17.10.2016).

206. Finger S. R., Gamper-Rabindran S. Does industry self-regulation reduce accidents? Responsible Care in the chemical sector//SSRN Electronic Journal, November 2011.

207. Gamper-Rabindran, S., Finger, SR., 2013. Does industry self-regulation reduce pollution? Responsible Care in the chemical industry//J Regul Econ. № 43, p.1–30.

208. Givel, M. Motivation of Chemical Industry Social Responsibility Through Responsible Care// Health Policy. 2007. № 81. P. 85-92.

209. Moffet, J., Bregha, F., Middelkoop, M. J. Responsible Care: A Case Study of a Voluntary Environmental Initiative. In: Webb K (ed) Voluntary Codes: Private Governance, the Public Interest and Innovation. Ottawa: Carleton Research Unit for Innovation, Science & Environment, 2004. P. 177–208.

210. Fransen L., Conzelmann T. Fragmented or cohesive transnational private regulation of sustainability standards? A comparative study//Regulation & Governance 2015. № 9 (3). P. 259-275

211. Lenox, M. J., Nash, J. Industry Self-Regulation and Adverse Selection: A Comparison Across Four Trade Association Programs//Business Strategy and Environment. 2003. № 12 (6). P. 343-356.

212. Мешалкин В. П., Дови' В., Марсанич А. Принципы промышленной логистики. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2002. 722 с.

-
213. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем: Учеб. пособие. Харьков: НГУ "ХПИ", 2006. - 410 с.
214. Anastas P, Eghbali N Green Chemistry: Principle and Practice//Chem.Soc.Rev. 2010. № 39. P. 301-312.
215. Makarova A.S., Baurin D.V., Gordienko M.G., Kudryavtseva E.I. Green chemistry for the optimum technology of biological conversion of vegetable waste// Sustainable Production and Consumption. 2017. № 10. p. 66-73
216. Makarova A.S., Baurin D.V., Gordienko M.G., Kudryavtseva E.I., Grosheva V., Yakubovich L. Algorithm of multi-criterion green process assessment for renewable raw materials bioconversion// Journal of Cleaner Production. 2017. № 162 (20), p. 380–390.
217. Мешалкин В. П., Ходченко С. М. Инжиниринг как многофункциональный вид технического и организационно-технологического творчества // Русский инженер. 2017. № 1 (54). С. 42–47.
218. Simon H. A. The New Science of Management Decision. N.Y.: Harper and Row Publishers, 1960. P. 224.
219. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах. М.: Логос, 2000. – 296 с.
220. The substitution principle // Technical Report 8/07. Swedish Chemicals Agency (KEMI). Stockholm, 2007. – 42 p.
221. O'Brien, M., Making Better Environmental Decisions: An Alternative to Risk Assessment: MIT Press, 2000. P. 352.
222. Rossi M., Tickner J., Geiser K. Alternatives Assessment Framework of the Lowell Center for Sustainable Production, 2006, 24p.
223. The substitution principle. Technical Report 8/07, Swedish Chemicals Agency (KEMI), Stockholm.
224. Edwards S., Rossi M., Civie P. Alternatives assessment for toxics use reduction: A survey of methods and tools. Technical Report 23, The Massachusetts Toxics Use Reduction Institute, Lowell, MA. 2005.

-
225. Clemen, R.T. Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis. Duxbury Press, Belmont, Calif., 2 edition, 1996.
226. Kuczenski B., Geyer R. Safer product alternatives analysis: methods, models, and tools// Report to the Department of Toxic Substances, Donald Bren School of Environmental Science and Management, Santa Barbara, CA. 2011.- 103 p.
227. Department for Communities and Local Government. Multi-criteria analysis: a manual. Technical report, Department for Communities and Local Government, London, 2009.
228. Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Многокритериальный выбор с уменьшением размерности пространства признаков: многоэтапная технология ПАКС // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. №4. С. 88-103.
229. Бескровный И.М. Анализ альтернатив и выбор диагностических гипотез. Ч.II. Модели выбора альтернатив при множественности и неопределенности критериев //Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 33 - 40.
- 230 . Источники выброса ртути в России [Электронный ресурс] // Обзор ситуации в шести городах страны. URL: http://www.ecoaccord.org/pop/mercury/ISTONNIKI_VYBROSA_RTUTI_V_ROSSII.pdf (дата обращения: 05.02.2017).
231. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования.
- 232 . Методология определения и количественной оценки поступлений ртути в окружающую среду. Справочный отчет и руководство по уровню 2 инвентаризации. ЮНЕП, 2013. 340 с.
233. Информационно аналитический центр «Минерал» [Электронный ресурс]. [сайт]. [2014]. URL: <http://www.mineral.ru/> (дата обращения: 2.04.2014).
- 234 . Исследование источников и выбросов ртути и анализ расходов на меры по обеспечению контроля их эффективности. ЮНЕП, 2010. 77 с.
235. Кетрис М.П., Ядович Я.Э. Проблема ртути в углях // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2004. № 10. С. 6-13.

236. Титов Р. Э. Коксование каменных углей и использование продуктов коксования [Электронный ресурс]. Научно-техническая библиотека ТПУ [сайт]. [2015]. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C08/010.pdf> (дата обращения: 05.02.2017).

237. Мешалкин В.П., Кравченко К.А. Управљање великом компанијом: учебник. София: Факултет Техничких наука, 2011. - 282 с.

238. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Процессы переработки сырья и рациональное использование природных ресурсов. Учебн. пособ. Изд-во ТПУ: Томск, 2006. 160 с.

239. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс]. СФУ [сайт]. [2009]. URL: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1821/u_manual.pdf (дата обращения: 07.02.2017).

240. Оборудование электрохимических производств. Учебное пособие. Истомина Н.В., Сосновская Н.Г., Ковалюк Е.Н. Ангарская государственная техническая академия. – 2-е изд., перераб. – Ангарск: АГТА, 2010. – 100 с.

241. Яблокова М.А., Гарабаджиу А.В., Пономаренко Е.А. Технология и оборудование для обезвреживания ртути содержащих твердых бытовых отходов // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 5. – 9 с.

242. Корж В.Д. Биогеохимические аспекты формирования элементного состава вод Мирового Океана // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии (Тр. Биогеохим. Лаборатории, т. 23). М.: Наука, 1999. С. 6–37

243. Степанов И. И. Ртуть - индикатор «горячих» гидротермальных зон и динамических процессов, сопровождающихся деформациями горных пород. Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М: ИМГРЭ, 1996. 53 с

244. Приказ Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18 января 2010 года об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения // Министерство юстиции РФ – 2010. – 9 февраля.

-
- 245 Эйрих С.С. Особенности распределения и миграции ртути в водных экосистемах бассейнов рек Катунь и Томи: дис. ... канд.хим. наук. Барнаул, 1999, 168 стр.
- 246 Овсебян А.Э. Распределение, миграция и трансформация ртути в устьевой области р. Северная Двина: дис. ... канд.геогр.наук. Ростов-на-Дону, 2007, 180 стр.
247. Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Щербов Б.Л. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири// Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 1. С. 117-123.
248. Ермаков В.В. Биогенная миграция ртути в условиях техногенеза биосферы //Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 20–28
249. Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути. - М.: Наука, 1972. 336 с
250. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 550 p.
251. Wedepohl K. H. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 59, No. 7. P. 12171232.
- 252 Коваль П.В., Калмычков Г.В., Гелетий В.Ф., Лавров СМ. Ртуть в Братском водохранилище // Водные ресурсы Байкальского региона: проблемы формирования и использования на рубеже тысячелетий. Мат. научно-практической конф., Иркутск, 6-9 октября 1998 г. Иркутск: Институт географии СО РАН.. 1998. Т. 1. С. 105-106.
253. Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. Содержание тяжелых металлов в почве г. Челябинска//Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 177-184.
254. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема // Биосфера, 2010. Т. 1. № 2. С. 237–247.

255 Маликова И. Н., Аношин Г. Н., Бадмаева Ж. О. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов // Геология и геофизика, 2011. Т. 52. № 3. С. 409-425.

256 Гремячих В. А. Закономерности накопления ртути и биологические последствия действия ее сублетальных доз для гидробионтов: дис.... канд.биол. наук. Борок, 2007. – 117 с.

257 Удоденко Ю. Г. Накопление и распределение ртути в почвах и педобионтах заповедных территорий (на примере Воронежского и Окского заповедников): дис.... канд.биол. наук. Воронеж, 2014. -158 с.

258 Бичева Г.Г. Гигиеническая оценка влияния ртути на здоровье сельского населения, проживающего в зоне техногенного загрязнения: дис.... канд.мед.наук. Иркутск, 2009. – 134 с.

259. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 177-183.

260 Аксёнтов К. И. Ртуть в донных осадках залива Петра Великого: дис.... канд. геол.-минерал.наук: Владивосток, 2013. – 140 с.

261 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 183-187.

262 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 200-202.

263 Дубинина М.В., Елесина В.В., Боброва З.М. Исследование загрязненности почвенного покрова территории г. Магнитогорска // Теория и технология металлургического производства. № 1. 2013. С 55-57.

264. Мухамадиярова Р. В. Экспериментальные исследования геохимического поведения ртути в процессах межрезервуарного обмена: дис. ... канд. геол.-минерал.наук: Москва, 2012. – 218 с.

265. Саркисов П.Д., Мешалкин В.П. Бережливое богатство. Ресурсосбережение – важнейший фактор экономической эффективности работы химических предприятий //Рос. предпринимательство. 2001. № 9. С. 10-15.

266. «Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases». [Электронный ресурс]. UNEP [сайт]. [2017]. URL: <http://www.unep.org/> (дата обращения: 03.02.2017).

267. АСАР. 2005. Оценка поступления ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации. План действий Совета Арктики по предотвращению загрязнения Арктики (АСАР/ПДСА), Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору в сотрудничестве с Датским Агентством по охране окружающей среды. ДАООС, Копенгаген.

268. ЕМИСС – Импорт отдельных товаров – [Электронный ресурс] – 2014. URL: <http://fedstat.ru/indicator/data.do?id=37395/> (дата обращения: 1.06.2014).

269. ЕМИСС – Производство основных видов продукции в натуральном выражении с 2010 года – [Электронный ресурс] – 2014. URL: <http://www.fedstat.ru/indicator/data.do?id=40557&referrerType=1&referrerId=1293014/> (дата обращения: 1.06.2014).

270. Тацкий Ю. Г. Ртуть в секторах промышленности: угольная энергетика. – М.: Инст-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского РАН, 2013.

271. Производство и переработка попутного нефтяного газа в России в 2012 году [Электронный ресурс]. RUPEC [сайт]. [2012]. URL: <http://www.rupec.ru/analytics/27128/> (дата обращения: 1.06.2014).

272. Статистика// Нефтегазовая вертикаль. 2012. №3. С. 81-85.

273. Тарасов, А. В. Экологические проблемы цветной металлургии – пути решения //Электрометаллургия, 2002. № 1. С. 14-19.

274. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 году. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 2013

275. Ягуд Б.Ю Ртуть в секторах промышленности: хлор-щелочное производство : презентация. // матер. науч.-произв. совещ. Российского центра «Хлорбезопасность». – 2013.

276. Ягуд О.Б. Модернизация хлорных производств: в поиске оптимальных решений// «Химия и бизнес»: 2008. № 6-7 (94-95). С.10-13.

277. Трегер Ю.А. Производство винилхлорида в Российской Федерации в свете оценки вклада в ртутное загрязнение окружающей среды в период 2008-2012 г.: презентация– 2013.

278. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты). Киев: Высшая школа, 1990. 56с

279. Зубрицкий, В.С., Кульбеда, Н.А. Обращение со ртутьсодержащими отходами. Ситуация в Республике Беларусь. Зарубежный опыт. Требования экологической безопасности. Под ред. В.В. Ходина // Минск, Бел НИЦ «Экология». 2010. – 56 с.

280. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.

281. Н. И. Емельянов, (научный редактор канд. тех. наук Л. П. Варфоломеев, общий редактор проф. Ю. Б. Айзенберг) Светотехническая промышленность рынок светотехнических изделий в России. М.: верстка и издание РА «ИЛЬФ», 2012.

282. Ягуд Б.Ю Ртуть в секторах промышленности: хлор-щелочное производство: презентация. // матер. науч.-произв. совещ. Российского центра «Хлорбезопасность». – 2013.

283. Apte D., Prabhu S., Katwate U. Preliminary Report on Diversity of Coastal Ecosystems of Maharashtra Part 2: Coastal Plateaus in Ratnagiri District. – Mumbai, Bombay Natural History Society. 2012. pp. 121.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рис. 1.1. Блок-схема процедуры принятия решения для смеси.....	39
Рис. 1.2. Схема визуального определение изменения контролируемых параметров в рамках планетарных границ	43
Рис. 1.3. Блок-схема диаграмм планетарных границ 2009 г. (а) [106] и 2014 (б) [2] г.....	44
Рис. 2.1. Блок-схема обращения ХВ в окружающей среде	57
Рис. 2.2. Укрупненная исходная модель ОС в USEtox.....	64
Рис. 2.3. Пример ввода информации по географическим объектам в модель USEtox.....	66
Рис. 2.4. Пример вводимых данных по ХВ во вкладку «Substance data» универсальной компьютерной модели USEtox.	67
Рис. 2.5. Ввод данных о поступлении оцениваемого ХВ из различных источников	68
Рис. 2.6. Пример, расчета матрицы коэффициентов миграции, деградации и переноса для Ch^{Hg}	68
Рис. 2.7. Предложенная автором модификация модели ОС в USEtox.....	69
Рис. 2.8. Схематичное изображение матрицы коэффициентов, включающей 8 локальных уровней (светло-зеленый цвет) и 2 глобальных (ярко- и темно-зеленый цвет).....	69
Рис. 2.9. Блок-схема логистической модели ЖЦ химического вещества в гидросфере....	72
Рис. 2.10. Блок-схема алгоритма расчета параметров, зависящих только от свойств исследуемого <i>i</i> -го ХВ	77
Рис. 2.11. Блок-схема второго этапа алгоритма, при выполнении которой расчет параметров производится в основном с использованием БД, содержащихся в различных типах карт.....	82
Рис. 2.12. Блок-схема третьего этапа алгоритма расчета констант скоростей переноса ХВ в гидросфере	85
Рис. 3.1. Блок-схема эвристическо-вычислительному алгоритма присваивания класса достоверности источнику информации.....	89
Рис. 3.2. Блок-схема эвристически-вычислительного алгоритма классификации по уровню опасности для ОС индивидуальных ХВ.....	92
Рис. 3.3. Блок-схема эвристически-вычислительного алгоритма классификации по уровню опасности для ОС смеси ХВ.....	93
Рис. 3.4. Семантический граф понятия «химическое вещество»	96
Рис. 3.5. Блок-схема взаимосвязи экологических, экономических, социальных факторов и благополучия граждан при производстве и потреблении ХВ.....	101
Рис. 3.6. Осведомлённость российских ХП о принципах «зелёной» химии, %, внедривших принципы «зелёной» химии (левый) и считающих целесообразным внедрить их (правый) в химико-технологические системы: 1 – упреждение; 2 – экономия атомов; 3 – снижение опасности процессов и продуктов синтеза; 4 – конструирование «зелёных» материалов; 5 – использование менее опасных вспомогательных ХВ; 6 – энергосбережение; 7 – использование возобновляемого сырья; 8 – уменьшение числа промежуточных стадий; 9 – использование каталитических процессов; 10 – биоразлагаемость; 11 – обеспечение аналитического контроля в реальном времени; 12 – предотвращение возможности аварий.....	108
Рис. 3.7. Оценка российскими ХП перспектив и возможностей применения принципов «зеленой» химии как инструмента решения проблем, связанных с	

экологической безопасностью, в баллах (1 балл – минимальный шанс для применения, 7 баллов – максимальный шанс)	111
Рис. 3.8. Коммерческая эффективность применения принципов «зеленой» химии	113
Рис. 3.9. Отношение ХП, ориентирующихся (более 50 % производимой продукции) в основном на российский или зарубежный рынок, к возможности коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии.....	113
Рис. 3.10. Отношение ХП по производству промышленной и бытовой химии к возможности коммерчески эффективно применять принципы «зеленой» химии.....	114
Рис. 3.11. Лепестковая диаграмма основных проблем, для решения которых «зеленая» химия может быть успешно применена в ближайшей перспективе в деятельности ХП, производящих продукцию промышленного или бытового назначения, предназначенную как для реализации в РФ, так и для экспорта.....	115
Рис. 3.12. Лепестковая диаграмма характеризующая отношение ХП к вступлению в ВТО и коммерческой эффективности «зеленой» химии	117
Рис. 3.13. Лепестковая диаграмма преимуществ, которые может обеспечить применение принципов «зеленой» химии ХП крупного, среднего и малого бизнеса в условиях вступления РФ в ВТО.....	118
Рис. 3.14. Направления, в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП, относящихся к крупному бизнесу.....	119
Рис. 3.15. Направления в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП относящихся к среднему бизнесу.	120
Рис. 3.16. Направления в которых инновация были применены, применяются, планируются к применению или считаются целесообразными для применения на ХП относящихся к малому бизнесу.....	120
Рис. 3.17. Сравнение восприятия рисков, связанных с «зеленой» химией российскими ХП и ХП стран-членов ОЭСР	121
Рис. 3.18. Различные уровни распознавания символов опасности в зависимости от исходной информации. (1): символ опасности (число опрошенных $n = 41$) (2): Символ опасности и сигнальное слово ($n = 43$) (3): символ опасности, сигнальное слово и краткая характеристика опасности ($n = 32$) (4): Символ опасности, сигнальное слово, характеристика опасности и меры по предупреждению опасности ($n = 88$).....	131
Рис. 3.19. Количество респондентов из различных стран, давших правильную интерпретацию символов опасности (в %, от числа опрошенных).....	136
Рис. 3.20. Источники получения информации респондентами, позволяющие расшифровать маркировку ХВ (в % от числа опрошенных.....	137
Рис. 4.1. Блок-схема ЛВА-1 оценки эффективности природоохранной деятельности ХП	143
Рис. 4.2. Результаты расчета эффективности реализации программы РС по показателю: размещение токсичных отходов. Графики - размещение опасных отходов на отдельных ХП-участниках программы РС, прямые тонкие линии – линейные приближения определенные для каждого ХП, прямая пунктирная линия – результирующее приближение для отрасли в целом.	145

Рис. 4.3. Динамика размещения опасных отходов по годам а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателя; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом.....	146
Рис. 4.4. Динамика размещения неопасных отходов (V класса опасности) по годам а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателя; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом.....	147
Рис. 4.5. Динамика изменения выбросов основных загрязнителей атмосферы диоксида серы, оксидов азота, летучих органических соединений и оксида углерода. На столбчатых диаграммах а) представлены абсолютные показатели для ХП-участников программы РС, на рисунке; на графиках б) представлены данные, нормированные на тонну производимой продукции или на 1000 рублей выручки; на столбчатых диаграммах в) представлена динамика изменения выбросов для химической отрасли в целом	148
Рис. 4.6. Динамика изменения выбросов парниковых газов в пересчете на CO ₂ а) для ХП-участников программы РС в абсолютных показателя; б) в относительных – на тонну продукции и на 1000 рублей выручки; в) для отрасли в целом	149
Рис. 4.7. ЛВА поддержки принятия решений по выбору наиболее безопасных для окружающей среды ХТС на основе принципов «зеленой» химии.....	154
Рис. 4.8. Возможные последствия ввода в обращение не достаточно изученного ХВ....	158
Рис. 4.9. Сценарий ввода в обращение недостаточно изученного ХВ, когда последствия ВОС проявляются достаточно явно.....	158
Рис. 4.10. Блок-схема ЛВА-4 многокритериального анализа вариантов эквивалентной замены опасных для ОС химических веществ	167
Рис. 5.1. Карта основных источников высвобождения Ch ^{Hg} в ОС.....	177
Рис. 5.2. Карта распределения источников поступления Ch ^{Hg} в ОС по субъектам РФ ...	177
Рис. 5.3. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch ^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании угля.....	179
Рис. 5.4. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 для процессов мобилизации Ch ^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании угля	180
Рис. 5.5. Блок-схема ЛИМ функционального блока А4 «Сжигание угля»	181
Рис. 5.6. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch ^{Hg} в объекты ОС при добыче и использовании газа.....	183
Рис. 5.7. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 для процессов мобилизации Ch ^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании газа.....	184
Рис. 5.8. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch ^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании нефти ...	185
Рис. 5.9. Блок-схема ЛИМ процессов мобилизации Ch ^{Hg} в ОС при использовании нефти.....	186
Рис. 5.10. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов мобилизации Ch ^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и использовании металлов на примере цинка	187
Рис. 5.11. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 процесса добычи и переработки цинка.....	188
Рис. 5.12. Блок-схема ЛИМ функционального блока А3 «Окисление цинкового концентрата».....	189
Рис. 5.13. Блок-схема ЛИМ функционального блока А5 «Производство цинка».....	190

Рис. 5.14. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов поступления Ch^{Hg} в ОС в результате ее использования в промышленных процессах на примере хлор-щелочного производства.....	192
Рис. 5.15. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 «Мобилизация Ch^{Hg} при получении каустической соды, хлора и водород методом электролиза»	192
Рис. 5.16. Основная контекстная диаграмма А0 верхнего уровня функциональной ЛИМ процессов поступления Ch^{Hg} в ОС при производстве ртутьсодержащих приборов (термометры, манометры и т.д.)	194
Рис. 5.17. Блок-схема ЛИМ функционального блока А0 процесса мобилизации Ch^{Hg} при производстве и использовании ртутьсодержащих приборов	194
Рис. 5.18. Максимальные концентрации Ch^{Hg} и кадмия (мкг/дм^3) в водах водпоста г. Мурманска.....	196
Рис. 5.19. Карта оценка загрязнения гидросферы.....	198
Рис. 5.20. Карта оценки загрязнения гидросферы.	199
Рис. 5.21. Карта оценки загрязнения почвы для отдельных объектов в РФ.	199
Рис. 5.22. Карта распределения ChHg в атмосфере	201
Рис. 5.23. Карта распределения ChHg в гидросфере	201
Рис. 5.24. Карта распределения ChHg в почве.....	202
Рис. 5.25. Карта распределения ChHg в атмосфере, гидросфере и почве	204
Рис. 6.1. Укрупненная блок-схема цепи поставок Ch^{Hg} в подсистемы ОС при добыче и применении угля.....	209
Рис. 6.2. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок нефти.....	214
Рис. 6.3. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок природного газа	222
Рис. 6.4. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок процесса добычи цинка (данные на 2012 г.)	225
Рис. 6.5. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок процесса добычи никеля (данные на 2012 г.).....	231
Рис. 6.6. Упрощенная блок-схема основных этапов цепи поставок производства меди.	234
Рис. 7.1. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в России 2000-2030 г.	253
Рис. 7.2. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} по категориям источников (2000 г.).....	253
Рис. 7.3. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} по категориям источников (2000 г.).....	254
Рис. 7.4. Столбчатая диаграмма динамики эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу в 2000-2030 г.	255
Рис. 7.5. Столбчатая диаграмма динамики эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в отходы в 2000-2030 г.	256
Рис. 7.6. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в сценарии «Минаматская конвенция»	257
Рис. 7.7. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) по категориям источников в 2012 году в сценарии «Минаматская конвенция»	258
Рис. 7.8. Круговая диаграмма распределения объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) по категориям источников в 2030 году в сценарии «Минаматская конвенция»	258
Рис. 7.9. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу в сценарии «Минаматская конвенция»	259

Рис. 7.10. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в от-ходы в сценарии «Минаматская конвенция» в 2000-2030 г.....	259
Рис. 7.11. Столбчатая диаграмма объемов мобилизации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в сценарии «Замена угля на газ».....	260
Рис. 7.12. Столбчатая диаграмма объемов поступления Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу в сценарии «Замена угля на газ».....	260
Рис. 7.13. Лепестковые диаграммы результатов оценки ChF^{Hg} в федеральных округах РФ, осуществленной с использованием разработанной методологии при использовании для гидросферы в качестве Lim а) ПДК рыб.хоз. = 0,00001 мг/л б) ПДКхоз.быт. = 0,005 мг/л.....	265
Рис. 7.14. Лепестковая диаграмма результатов оценки ChF^{Hg} в субъектах РФ.....	268
Рис. 7.15. Данные о среднем многолетнем расходе воды ($\text{км}^3/\text{год}$) в период 2014-2045 г.....	269
Рис. 7.16. Диаграмма влияния климатических изменений на содержание ртути в пресноводных объектах гидросферы.....	270
Рис. 7.17. Диаграмма влияния климатических изменений на содержание ртути в почве.....	270
Рис. 7.18. Лепестковая диаграмма возможного изменения ChF^{Hg} к на уровне ФО в 2045 году при с учетом климатических изменений и регуляторных ограничений, обусловленных ратификацией РФ Минаматской конвенция о ртути.....	271

Список таблиц

Таблица 1.1. Результаты оценки опасности ХВ в соответствии с действующими в РФ системами на примере сульфата меди.....	27
Таблица 1.2. Классификация опасности ХВ, обладающих острой токсичностью для биоты подсистемы гидросфера.....	29
Таблица 1.3. Классификация опасности ХВ, обладающих хронической токсичностью для биоты в подсистеме гидросфера.....	29
Таблица 2.1. Исходные данные для расчета по Федеральным округам РФ.....	65
Таблица 2.2. Распределение земель по Федеральным округам РФ.....	65
Таблица 2.3. Информация, требуемая для расчетов FF для органических веществ.....	66
Таблица 2.4. Информация, требуемая для расчетов FF для металлов.....	67
Таблица 3.1. Категории надежности.....	87
Таблица 3.2. Список источников информации, классифицированный по степени доверия к ним опрошенных экспертов.....	90
Таблица 3.3. Преимущества, проблемы и основные цели при использовании ХВ.....	97
Таблица 3.4. Основные цели «зеленого» роста РФ.....	106
Таблица 3.5. Активность практического применения XII принципов «зеленой» химии.....	106
Таблица 3.6. Оценка научно-исследовательского и коммерческого рисков, связанных с применением «зеленой» химии на XII.....	121
Таблица 3.7. Знание символов опасности (в % от числа опрошенных).....	126
Таблица 3.8. Общие сведения о респондентах.....	127
Таблица 3.9. Понимание населением - представителями различных секторов символов опасности.....	128

Таблица 3.10. Идентификация знака опасности на символе респондентами из различных секторов.....	129
Таблица 3.11. Характеристика выборки респондентов из Нигерии	129
Таблица 3.12. Примеры интерпретаций элементов маркировки респондентами.....	133
Таблица 3.13. Результаты понимания респондентами символов опасности.....	134
Таблица 3.14. Количество респондентов (в % от числа опрошенных), правильно подобравших символ к имеющемуся описанию опасности.....	136
Таблица 4.1. Результаты системного анализа оценок ВОС химических предприятий – участников общественной программы РС.....	151
Таблица 4.2. Результаты системного анализа эффективности природоохранной деятельности российских ХП-участников общественной программы РС	152
Таблица 4.3. Условия попадания ХВ в приоритетные загрязнители для ОС	157
Таблица 4.4. Матрица ранговых оценок ХВ.....	160
Таблица 4.5. Присваиваемые балы исследуемому ХВ или ХВ, предлагаемому в качестве альтернативной замены в зависимости от эффектов, оказываемых на ОС и здоровье человека (вариант 1).....	168
Таблица 4.6. Присваиваемые балы исследуемому ХВ или ХВ, предлагаемому в качестве альтернативной замены в зависимости от эффектов, оказываемых на ОС и здоровье человека (вариант 2).....	170
Таблица 4.7. Штрафные баллы, начисляемые в зависимости от класса достоверности источника информации, определенного в соответствии с разработанным автором алгоритмом (см.Главу 3, п.3.1).....	171
Таблица 5.1. Средняя и максимальная концентрация Ch^{Hg} (мкг/дм ³) и средняя и максимальная (в ПДК) в прибрежных водах залива Петра Великого в 2014 г.	196
Таблица 5.2. Средняя и максимальная концентрация Ch^{Hg} (мкг/г и ДК) в донных отложениях прибрежных районов залива Петра Великого в 2014 г.	197
Таблица 5.3. Загрязнение регионов России Ch^{Hg}	202
Таблица 6.1. Среднее содержание Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в углях России	208
Таблица 6.2. Динамика добычи, обогащения и экспорта/импорта угля в России в 2000-2013 г.	208
Таблица 6.3. Коэффициенты эмиссии Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу	210
Таблица 6.4. Распределение Ch^{Hg} по группам потребителей с учетом используемых пылегазоуловительных и очистных системы отходящих газов.....	210
Таблица 6.5. Показатели добычи, экспорта, импорта и переработки нефти в 2000-2013 г. в России.....	215
Таблица 6.6. Потребление авиационного и автомобильного бензина с учетом экспорта и импорта.....	216
Таблица 6.7. Потребление дизельного топлива с учетом экспорта и импорта	217
Таблица 6.8. Потребление мазута с учетом экспорта и импорта в 2000-2013 г.	218
Таблица 6.9. Значения концентрации Ch^{Hg} в различных видах топливах и нефти (в пересчете на ртуть).....	219
Таблица 6.10. Усредненные концентрации Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в природном газе	221
Таблица 6.11. Добыча, экспорт и импорт природного газа в России в 2000-2013 г	223
Таблица 6.12. Состав цинковых концентратов российских горно-обогатительных комбинатов	227

Таблица 6.13. Данные по переработки цинковых концентратов в 2013 г. на ОАО «Челябинский цинковый завод»	227
Таблица 6.14. Эмиссия и потери Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) при производстве первичного цинка на российских заводах в 2001 г.	228
Таблица 6.15. Распределение Ch^{Hg} в побочных продуктах и отходах	229
Таблица 6.16. Мобилизация Ch^{Hg} с концентратами при производстве цинка в РФ	230
Таблица 6.17. Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и их поступление в отходы при добыче и переработке цинка в РФ, 2000-2012 г.	230
Таблица 6.18. Средние содержания Ch^{Hg} в рудах никелевых месторождений	231
Таблица 6.19. Производство никеля и эмиссия Ch^{Hg} на предприятиях ОАО «Норильский Никель» в 2001 г.	232
Таблица 6.20. Производство никеля и эмиссия Ch^{Hg} на предприятиях (кроме ОАО ГМК Норильский Никель)	232
Таблица 6.21. Мобилизация Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) с никелевыми концентратами на предприятиях ОАО «Норильский никель», 2000-2012 г.	233
Таблица 6.22. Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и ее поступление в отходы при добыче и переработке никеля на предприятиях ОАО «Норильский никель», 2000-2012 г.	233
Таблица 6.23. Средние содержания Ch^{Hg} в рудах медных месторождений РФ	235
Таблица 6.24. Производство черновой меди заводами Урала из концентратов, и эмиссия Ch^{Hg} в 2001 г.	236
Таблица 6.25. Распределение Ch^{Hg} в побочных продуктах и отходах	236
Таблица 6.26. Мобилизация ртути с медными концентратами на уральских предприятиях в РФ в 2000-2012 г.	237
Таблица 6.27. Выбросы Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) в атмосферу и их поступление в отходы при добыче и переработке меди на уральских предприятиях в РФ, 2000-2012 г.	237
Таблица 6.28. Баланс ртути на хлорно-щелочных производствах в 2012 г.	239
Таблица 6.29. Баланс Ch^{Hg} (в пересчете на ртуть) на хлорно-щелочных производствах РФ в 1997 и 2002 г.	239
Таблица 6.30. Расчет потребления и эмиссии ртути в хлорно-щелочном производстве.	241
Таблица 6.31. Использование и эмиссия ртути при производстве мономера винилхлорида за 2002-2013 г.	243
Таблица 6.32. Потребление, рециклинг и отходы ртути при производстве винилхлорид мономера	244
Таблица 6.33. Производство ртутных термометров и использование ртути в РФ 1998-2002 г.	245
Таблица 6.34. Содержание Ch^{Hg} в основных типах ртутных ламп российских электроламповых заводов	247
Таблица 6.35. Объемы производства ртутьсодержащих ламп в 2005-2010 г. (тыс. шт.).	248
Таблица 6.36. Объем импорта ртутьсодержащих источников света в РФ	248
Таблица 6.37. Оценка объемов ртутьсодержащих источников света, присутствующих на российском рынке	249
Таблица 6.38. Количество ртути, присутствующей в люминесцентных лампах, произведенных в РФ	249

Таблица 6.1. Поступление Ch^{Hg} (кг/год) в пересчете на ртуть в различные подсистемы ОС по федеральным округам.....	250
Таблица 6.40. Скорость поступления Ch^{Hg} (кг/год) в пересчете на ртуть в различные подсистемы ОС по субъектам федерации.....	250
Таблица 7.1. Физико-химические параметры Ch^{Hg} , используемые при расчетах в USEtox	263
Таблица 7.2. Результаты расчетов коэффициентов миграции и переноса Ch^{Hg} для различных подсистем ОС (день-1).....	264
Таблица 7.3. Результаты расчета ChF^{Hg} по федеральным округам РФ.....	265
Таблица 7.4. Сводные результаты системного анализа поступления Ch^{Hg} от различных типов источников по федеральным округам.....	272

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ТАБЛИЦЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ОПАСНЫХ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Условное обозначение стандарта на метод испытаний	Полное наименование стандарта	Дата ввода в действие	Количество страниц
ГОСТ 32427-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости. 28-дневный тест.	01.08.2014	50
ГОСТ 32290-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости по угнетению потребления кислорода активным илом	01.08.2014	20
ГОСТ 32291-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение коэффициента распределения н-октанол/вода методом медленного перемешивания	01.08.2014	20
ГОСТ 32292-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение токсичности для мальков рыб	01.08.2014	16
ГОСТ 32293-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание водорослей и цианобактерий на задержку роста	01.08.2014	24
ГОСТ 32294-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение токсичности для рыб на ранних стадиях развития	01.08.2014	Официально не издан
ГОСТ 32295-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка потенциальной способности к биоразложению с использованием активного ила	01.08.2014	24
ГОСТ 32367-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Угнетение репродуктивной способности Дафнии магна	01.08.2014	24
ГОСТ 32368-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка репродуктивной способности рыб	01.08.2014	36
ГОСТ 32369-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка биоразлагаемости в аэробных условиях методом моделирования поверхностных вод	01.08.2014	29
ГОСТ 32370-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка биоразлагаемости методом моделирования сточных вод	01.08.2014	54
ГОСТ 32381-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение коэффициента распределения в системе н-октанол/вода методом встряхивания колбы	01.08.2014	8
ГОСТ 32382-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Гидролиз	01.08.2014	20
ГОСТ 32426-	Методы испытаний химической продукции,	01.08.2014	24

Условное обозначение стандарта на метод испытаний	Полное наименование стандарта	Дата ввода в действие	Количество страниц
2013	представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста		
ГОСТ 32428-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение хронической токсичности для рыб: 14-ти дневный тест	01.08.2014	8
ГОСТ 32429-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Краткосрочное определение ингибирования ароматазы и эстрогенной и андрогенной активности: 21-дневный тест	01.08.2014	40
ГОСТ 32432-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Аэробные и анаэробные трансформации в донных отложениях	01.08.2014	20
ГОСТ 32433-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка биоразлагаемости органических соединений методом определения диоксида углерода в закрытом сосуде	01.08.2014	20
ГОСТ 32473-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для рыб	01.08.2014	12
ГОСТ 32474-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение коэффициента распределения н-октанол/вода методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	01.08.2014	16
ГОСТ 32475-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка биоразлагаемости органических соединений в сброженном осадке сточных вод в анаэробных условиях	01.08.2014	24
ГОСТ 32477-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоаккумуляции на придонных малощетинковых червях	01.08.2014	32
ГОСТ 32536-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дафний	01.08.2014	12
ГОСТ 32537-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости при аэробных методах очистки	01.08.2014	40
ГОСТ 32538-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоконцентрации на рыбах в проточных аквариумах	01.08.2014	24
ГОСТ 32541-2013	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Краткосрочное испытание токсичности на эмбрионах и предличинках рыб	01.08.2014	20
ГОСТ 32627-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения. Испытание на фитотоксичность	01.06.2015	20
ГОСТ 32628-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности на <i>Chironomus sp</i>	01.06.2015	16
ГОСТ 32629-	Методы испытаний химической продукции,	01.06.2015	12

Условное обозначение стандарта на метод испытаний	Полное наименование стандарта	Дата ввода в действие	Количество страниц
2014	представляющей опасность для окружающей среды. Липофильность твердых и жидких веществ. Метод смешивания в колбе.		
ГОСТ 32630-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка коэффициента адсорбции почвой и осадками сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	01.06.2015	16
ГОСТ 32631-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Почвенные микроорганизмы. Испытание на трансформацию азота	01.06.2015	12
ГОСТ 32632-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение репродуктивной способности коллембол	01.06.2015	20
ГОСТ 32633-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение аэробной и анаэробной трансформации в почве	01.06.2015	20
ГОСТ 32640-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение потенциальной способности химических веществ к биоразложению в почве	01.06.2015	12
ГОСТ 33033-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Давление пара	01.08.2015	20
ГОСТ 33034-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Растворимость в воде	01.08.2015	12
ГОСТ 33035-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Птицы: репродукционный тест	01.08.2015	12
ГОСТ 33036-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей	01.08.2015	8
ГОСТ 33038-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Пчелы медоносные: тест на острую пероральную токсичность	01.08.2015	12
ГОСТ 33039-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Пчелы медоносные: тест на острую контактную токсичность	01.08.2015	12
ГОСТ 33040-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Тест на токсичность при скармливании птицам	01.08.2015	12
ГОСТ 33041-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Почвенные микроорганизмы: тест на трансформацию углерода	01.08.2015	12
ГОСТ 33042-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Тест на репродуктивность дождевых червей (<i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>)	01.08.2015	20
ГОСТ 33043-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Вымывание из почвенных колонок	01.08.2015	16

Условное обозначение стандарта на метод испытаний	Полное наименование стандарта	Дата ввода в действие	Количество страниц
ГОСТ 33059-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Птицы: тест на острую пероральную токсичность	01.08.2015	24
ГОСТ 33061-2014	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения: тест на всхожесть семян и развитие проростков	01.08.2015	24
ГОСТ 33399-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение гранулометрического распределения/определение длины волокна и распределения по диаметру. Метод А: распределение частиц по размеру (эффективный гидродинамический радиус). Метод В: длина волокна и распределение по диаметру	01.09.2016	16
ГОСТ 33400-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение комплексообразования в воде полярографическим методом	01.09.2016	12
ГОСТ 33401-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение констант диссоциации в воде титриметрическим, спектрометрическим и кондуктометрическими методами	01.09.2016	12
ГОСТ 33402-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение низкомолекулярной массы полимеров методом гель-проникающей хроматографии	01.09.2016	16
ГОСТ 33404-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение растворимости/экстракции полимеров в воде	01.09.2016	12
ГОСТ 33405-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение спектра поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектрофотометрическим методом	01.09.2016	12
ГОСТ 33418-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение средней молекулярной массы и среднего молекулярно-массового распределения полимеров методом гель-проникающей хроматографии	01.09.2016	16
ГОСТ 33419-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение поверхностного натяжения водных растворов	01.09.2016	14
ГОСТ 33420-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение температуры кипения	01.09.2016	12
ГОСТ 33442-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение угнетения активности анаэробных бактерий	01.09.2016	20
ГОСТ 33452-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение вязкости жидкостей	01.09.2016	8
ГОСТ 33453-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение плотности жидкостей и твердых веществ	01.09.2016	8

Условное обозначение стандарта на метод испытаний	Полное наименование стандарта	Дата ввода в действие	Количество страниц
ГОСТ 33454-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение температуры плавления/температурного интервала плавления	01.09.2016	12
ГОСТ 33635-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание токсичности на хирономидах с использованием обогащенного осадка	01.09.2016	28
ГОСТ 33637-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Биоаккумуляция в земляных малощетинковых червях	01.09.2016	32
ГОСТ 33638-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытания по воздействию на половозрелость рыб	01.09.2016	43
ГОСТ 33639-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание по оценке эмбриональной токсичности на навозных двукрылых мухах	01.09.2016	20
ГОСТ 33640-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание токсичности на водных червях с использованием обогащенного осадка	01.09.2016	36
ГОСТ 33641-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание токсичности на хирономидах на протяжении цикла развития с использованием обогащенной воды или обогащенного осадка	01.09.2016	32
ГОСТ 33642-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание токсичности на хирономидах с использованием обогащенной воды	01.09.2016	28
ГОСТ 33643-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Хищные клещи: репродуктивный тест в почве	01.09.2016	28
ГОСТ 33644-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости в морской воде	01.09.2016	32
ГОСТ 33645-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка метаморфоза земноводных	01.09.2016	43
ГОСТ 33646-2015	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Оценка эмиссии импрегнационной древесины в окружающую среду	01.09.2016	16
ГОСТ 33774-2016	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Острая токсичность для эмбрионов рыбы	01.03.2017	Официально не издан
ГОСТ 33775-2016	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Медоносная пчела (<i>Apis mellifera</i>). Тест на личинках на токсичность	01.03.2017	Официально не издан
ГОСТ 33776-2016	Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение pH, кислотности и щелочности	01.03.2017	Официально не издан

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ,
УСТАНОВЛЕННЫЕ ДЛЯ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В
РАЗЛИЧНЫХ ПОДСИСТЕМАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.**

Наименование ХВ	ПДКр.з., мг/м ³ [1] (преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства, класс опасности)	ПДКатм.в., мг/м ³ [2] (ЛПВ ¹ , класс опасности)	ПДКвода ² , мг/л, [3] (ЛПВ, класс опасности)	ПДК рыб.хоз. ³ , мг/л [4] (ЛПВ, класс опасности)
Кадмий ртуть, теллур (твердый раствор) (CAS № 29870-72-2) CdHgTe	1(контроль паров ртути) (а, 2) – канцероген	0,2 (ОБУВ)		
Ртуть (CAS № 7439-97-6) Hg	0,01/0,005 (п, 1)	-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)	0,0005 ⁴ (с.-г., 1)	Отсутствие (0,00001) подразумеваются все растворимые в воде формы (токс., 1) Для морских водоемов 0,0001 (токс.,1)
Ртуть, неорганические соединения	0,2/0,05 (по ртути) (а, 1)	1/0,5 (реф.рез., 3)		
Хлорэтилртуть (CAS № 107-27-7) C ₂ H ₅ ClHg	0,01/0,005 (по ртути) (п+а, 1)		0,0001 (с.-г., 1)	
(О-Ацетато)-(2-метоксиэтил)ртуть (CAS № 151-38-2) C ₅ H ₁₀ HgO ₃	0,005 (п+а, 1)			
(0-Дигидрофосфато) этилмеркурат (CAS № 2235-25-8) C ₂ H ₇ HgO ₄ P	0,005 (по ртути) (п+а, 1)			
Диэтилртуть (CAS № 627-44-1) C ₄ H ₁₀ Hg	0,005 (п, 1)	0,0003/- (в пересчете на ртуть) (рез., 1)	0,0001 (с.-г., 1)	
Медная амальгама (CAS № 12757-18-5) CuHg	0,4 (ОБУВ, в пересчете на ртуть, контроль ртути обязателен) (а)			
Этилмеркуритио-2-гидроксibenзоат натрия	0,005 (ОБУВ, по ртути) (п)			

¹ ЛПВ – лимитирующий показатель вредности

² Вода водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

³ Вода водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение(в том числе и морских)

⁴ для неорганических соединений, в том числе переходных элементов, с учетом валового содержания всех форм

Наименование ХВ	ПДКр.з., мг/м ³ [1] (преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства, класс опасности)	ПДКатм.в., мг/м ³ [2] (ЛПВ ¹ , класс опасности)	ПДКвода ² , мг/л, [3] (ЛПВ, класс опасности)	ПДК рыб.хоз. ³ , мг/л [4] (ЛПВ, класс опасности)
C7H9HgNaO2S				
Диацетат ртути (CAS № 1600-27-7) C ₄ H ₆ HgO ₄		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть амидохлорид (CAS № 10124-48-8) ClH ₂ HgN		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть дийодид (CAS № 7774-29-0) HgI ₂		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть динитрат гидрат (CAS № 7783-34-8) HgN ₂ O ₆ · H ₂ O		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть дихлорид (CAS № 7487-94-7) Cl ₂ Hg		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		Отсутствие (0,00001) подразумеваются все растворимые в воде формы (токс., 1)
Ртуть нитрат дигидрат (CAS № 14836-60-3) HgNO ₃ · H ₄ O ₂		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть оксид (CAS № 21908-53-2) HgO		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртуть хлорид (CAS № 10112-91-1) Cl ₂ Hg ₂		-/0,0003 (в пересчете на ртуть) (рез., 1)		
Ртути соединения водорастворимые: сулема, уксуснокислая, азотнокислая, окисная и закисная ртуть		0,0008 (ОБУВ, в пересчете на ртуть)		
Ртути соединения водо- и плохорастворимые: каломель, сулема, азотнокислая окисная и закисная, окиси красная и желтая, уксуснокислая, амидохлорная, двуйодистая		0,001 (ОБУВ, в пересчете на ртуть)		
Ртути соединения плохо растворимые в воде: двуйодистая, амидохлорная, окиси желтая и красная, хлористая ртуть		0,0009 (ОБУВ, в пересчете на ртуть)		

Наименование ХВ	ПДК _{р.з.} , мг/м ³ [1] (преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства, класс опасности)	ПДК _{атм.в.} , мг/м ³ [2] (ЛПВ ¹ , класс опасности)	ПДК _{вода} ² , мг/л, [3] (ЛПВ, класс опасности)	ПДК _{рыб.хоз.} ³ , мг/л [4] (ЛПВ, класс опасности)
Ртуть бромид, роданид, сульфат ⁻¹ , сульфат ⁻²		0,0003 (ОБУВ, в пересчете на ртуть)		

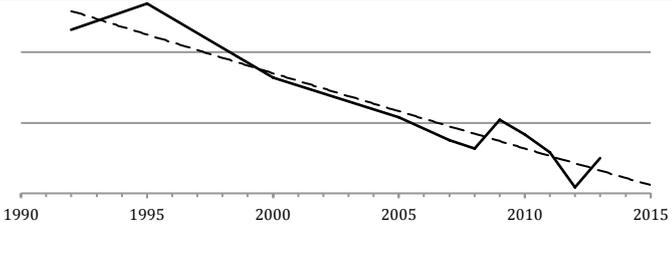
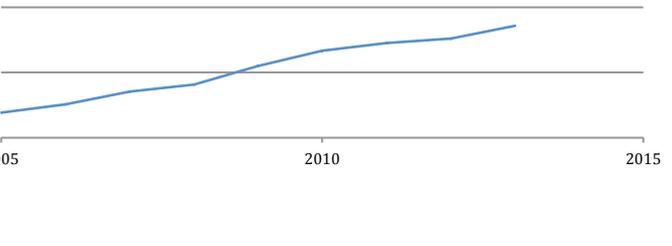
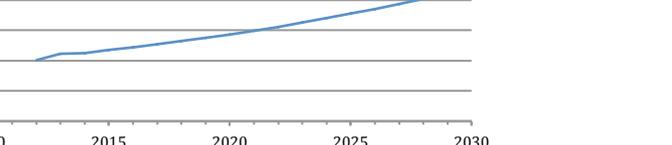
Список источников информации

1. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. – 268 с.
2. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы.– М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 86 с.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы.– М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.
4. Приказ Федерального агентства по рыболовству №20 от 18 января 2010 года об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРИМЕРЫ ТРЕНДОВ И ИНДИКАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ОБРАЩЕНИЯ ХВ В РФ

Факторы	Индикаторы	Тренды
ОС	Объемы выбросов загрязняющих ХВ в атмосферный воздух от стационарных источников, тыс.т. [1]	
ОС	Выбросы парниковых газов, тыс. т CO ₂ -эквалента [6]	
ОС	Сброс загрязненных сточных вод, млн.м ³ [5]	
ОС	Образование отходов производства и потребления, млн.т. [5]	
ОС	Количество городов в Приоритетном списке «грязных городов», и городов в которых уровень загрязнения атмосферы высокий, шт (ИЗА>7) [2,3]	
ОС	Частота регистрации на территории РФ случаев высокого загрязнения (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) поверхностных вод [7].	
Экономика	Объем производимых ХВ	<p style="text-align: center;">С учетом данных Минпромторга России [1] и Стратегии развития до 2030 года</p> <p style="text-align: center;">С учетом Плана 2030 [2]</p>

Факторы	Индикаторы	Тренды
Экономика	Соотношение импорта химической продукции с экспортом [8]	
Экономика	Плата за допустимые и сверхнормативные выбросы (сбросы) загрязняющих ХВ (размещение отходов производства и потребления) [6]	
Экономика	Затраты на охрану ОС [5]	
Экономика	Затраты на технологические инновации организаций в химической отрасли [7]	
Экономика	Среднемесячные затраты организаций на рабочую силу (значение показателя за год) [10]	
Социум	Среднегодовая численность производственно-промышленного персонала [8,9]	
Социум	Среднемесячная зарплата работников химической отрасли [10]	
Социум	Процент городского населения и количество городского населения, проживающего в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы [6,11]	

Факторы	Индикаторы	Тренды
Благополучие граждан	Численность лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием (отравлением) по данным Роспотребнадзора [10]	
Благополучие граждан	Число зарегистрированных больных с впервые в жизни установленным диагнозом злокачественного новообразования по данным Министерства здравоохранения [10]	
Благополучие граждан	Потребление химической продукции на душу населения, кг/чел. [1]	

Список источников информации

1. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Окружающая среда. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/ (дата обращения: 18.02.2015).
2. Минприроды России. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году». URL: www.mnr.gov.ru (дата обращения: 18.02.2017).
3. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013 год. – М. Росгидромет, 2014. ISBN 978-5-904320-06-5.
4. Отчет о деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. 2004-2011. 223 с. URL: <http://minpromtorg.gov.ru/> (дата обращения: 18.02.2017).
5. План развития газо- и нефтехимии России на период до 2030 года. Утвержден приказом Минэнерго России от 1 марта 2012 года № 79.
6. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: www.fedstat.ru (дата обращения: 18.02.2017).
7. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Промышленность России - 2014 г. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_48/Main.htm (дата обращения: 01.03.2015).
8. Особенности стратегии развития химического комплекса до 2015 года. Маркетинговые исследования рынков России. URL: <http://tebiz.ru/news-mi/news-marketstrategychem-1.php> (дата обращения: 20.07.2014)

9. Логинов А.А. Механизм управления устойчивым развитием предприятия промышленности на основе оценки его потенциала (на примере предприятий химического комплекса РФ). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2014.
10. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Рынок труда, занятость и заработная плата. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/ (дата обращения: 23.02.2015).
11. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. – М.: Росгидромет, 2013, 178 с. ISBN 978-5-904320-06-5

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТАБЛИЦЫ СВОДНЫХ ДАННЫХ ПО
ПОСТУЛЕНИЮ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ.**

№ п/п	Регион	Координаты места отбора пробы	Количество ртути в пробе	Год проведения исследования	Источник
1	Республика Адыгея	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
2	Республика Алтай	0,09 мкг/л, max 0,18	49°44'54" с. ш. 86°33'55" в. д., исток р. Катунь	1994	[2]
3	Республика Алтай	0,17 мкг/л	подземные воды, источник: ртутное (киноварное) месторождение в пос. Акташ, добыча золотосульфидных руд и извлечение золотомедного концентрата в пос. Сейка.	2001	[3]
4	Республика Алтай	0,187 мг/кг	почва долины Средней Катуни (чернозем)	2007	[4]
5	Республика Алтай	0,164 мг/кг	почва долины Средней Катуни (каштановые почвы)	2007	[4]
6	Республика Алтай	0,11 мг/кг, max 0,73	источник: Курайская ртутная зона с месторождениями.	2008	[2]
7	Республика Алтай	0,1 мг/кг, max 0,95 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
8	Республика Алтай	0,07 мг/кг; max 0,18 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
9	Алтайский край	0,11 мг/кг, max 0,78 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
10	Алтайский край	0,06 мг/кг; max 0,18 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
11	Алтайский край	0,09 мкг/л, max 0,18	52°25'50" с. ш. 84°59'00" в. д., устье р. Катунь	1994	[2]
12	Алтайский край	0,048 мг/кг, max 0,78	источник: Алтайский горно-обогатительный комбинат, Змеиногорская золотоискательная фабрика, АО	2008	[2]

			"Алтайхимпром".		
13	Алтайский край	6,8 мг/кг	Акташское горно-металлургическое предприятие (АГМП), почва	2010	[5]
14	Алтайский край	0.1 мг/кг	АГМП, рудовмещающие толщи	2010	[5]
15	Алтайский край	78 мг/кг	АГМП, Около-рудные породы	2010	[5]
16	Алтайский край	0,35 мг/кг	АГМП, Рыхлые отложения	2010	[5]
17	Алтайский край	4000 мг/кг	АГМП, Ртутные руды	2010	[5]
18	Алтайский край	0,03 мкг/дм ³	АГМП, Подземные воды	2010	[5]
19	Алтайский край	160 мг/кг	АГМП, Отходы обжига	2010	[5]
20	Алтайский край	25000 мг/кг	АГМП, Рудный шлам	2010	[5]
21	Алтайский край	21 мг/кг	АГМП, Дорожные грунты	2010	[5]
22	Алтайский край	21900 мг/кг	АГМП, РСО	2010	[5]
23	Алтайский край	78 мг/кг	АГМП, Отвалы штолен	2010	[5]
24	Алтайский край	0,2 мг/дм ³	АГМП, Штольневые воды	2010	[5]
25	Алтайский край	0.86 мг/кг	АГМП, Растения(зола)	2010	[5]
26	Алтайский край	0.92 мкг/дм ³	АГМП, Снеговая вода	2010	[5]
27	Алтайский край	0.08 мкг/дм ³	АГМП, Поверхностная вода	2010	[5]
28	Алтайский край	31,5 мг/кг	АГМП, Донныеосадки	2010	[5]
29	Алтайский край	0.05 мкг/дм ³	р. Ярлыамры, В 0.5 км выше АГМП	2010	[5]
30	Алтайский край	0.20 мкг/дм ³	р. Ярлыамры, В 0.5 км ниже АГМП	2010	[5]
31	Алтайский край	0.42 мкг/дм ³	р. Ярлыамры, В 5 км ниже АГМП	2010	[5]
32	Амурская область	0,233 мг/кг	50°12'6" с.ш, 127°45'4" в.д., Благовещенский р-н, с. Грибское, учхоз ДальГАУ, пашня; источник: золотодобывающая промышленность в следующих районах: Зейском, Тындинском, Сковородинском, Магдагачинском, Селемджинском, Мазановском.	1999-2000	[6]
33	Амурская область	0,065 мг/кг	50°12'6" с.ш, 127°45'4" в.д., Благовещенский р-н, с. Грибское, учхоз ДальГАУ, сенокос; источник:	1999-2000	[6]

			золотодобывающая промышленность в следующих районах: Зейском, Тындинском, Сковородинском, Магдагачинском, Селемджинском, Мазановском.		
34	Амурская область	0,193 мг/кг	50°12'6" с.ш, 127°45'4" в.д., Благовещенский р-н, с. Грибское, учхоз ДальГАУ, пастбища; источник: золотодобывающая промышленность в следующих районах: Зейском, Тындинском, Сковородинском, Магдагачинском, Селемджинском, Мазановском.	1999-2000	[6]
35	Архангельская область	0,054 мг/кг, max 0,15	64°32'22" с.ш., 40°31'1" в.д., г. Архангельск	2002-2004	[1]
36	Архангельская область	0,045 мг/кг, max 0,158		2002-2004	[1]
37	Архангельская область	0,1 мкг/л	64°32'22" с.ш., 40°31'1" в.д., г. Архангельск, питьевая вода	2001-2005	[1]
38	Архангельская область	max 7,4 мкг/л	64°32'22" с.ш., 40°31'1" в.д., г. Архангельск, р. Северная Двина	1995	[1]
39	Архангельская область	0,0031 мкг/м3		2007	[7]
40	Архангельская область	max 1,54 мг/кг	64°32'22" с.ш., 40°31'1" в.д., г. Архангельск, р. Северная Двина, донные отложения	1995	[1]
41	Архангельская область	max 0,18 мкг/л	64°41'52" с. ш. 40°37'07" в. д., р. Северная двина, Лесозавод №29	2001-2005	[1]
42	Архангельская область	0,13 мг/кг	р. Северная Двина, донные отложения	2001-2005	[1]
43	Архангельская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
44	Архангельская область	0,15 мг/кг	61°18'25" с.ш., 38°45'41" в.д., оз. Лача	2005	[8]
45	Архангельская область	0,21 мг/кг	62°33'34 с.ш. 40°35'42" в.д., Пуксозеро	2005	[8]
46	Архангельская область	0.17 мг/кг	64°24'14" с.ш. , 46°11'15" в.д., Половинское оз.	1992	[8]

47	Архангельская область	<0,2 мг/кг	г.Новодвинск (ЦБП) - убраноземы	2013	[9]
48	Архангельская область	0,1 мг/кг	г.Новодвинск (ЦБП) - реплантоземы	2013	[9]
49	Архангельская область	< 0,5 мг/кг	г.Северодвинск	2013	[10]
50	Астраханская область	0,165 мг/кг	Волго-Каспийский бассейн, Вобла	2001	[8]
51	Астраханская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
52	Астраханская область	49 мкг/кг	пгт. Трудфронт 45°56'0"N, 47°40'5"E	1995	[11]
53	Астраханская область	35 мкг/кг	с. Бахтемир 46°9'49"N, 47°48'47"E	1995	[11]
54	Астраханская область	34 мкг/кг	с. Икрыное 46°5'30"N, 47°43'41"E	1995	[11]
55	Астраханская область	31 мкг/кг	пгт. Красные Баррикады 46°12'18"N, 47°51'30"E	1995	[11]
56	Астраханская область	33 мкг/кг	с. Ильинка 46°14'12"N, 47°53'59"E	1995	[11]
57	Астраханская область	23 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении до 5 км	1997	[11]
58	Астраханская область	60 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении до 5 км	2007	[11]
59	Астраханская область	56 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении от 5 до 50 км	1997	[11]
60	Астраханская область	30 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении от 5 до 50 км	2007	[11]
61	Астраханская область	38 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении 50 км	1997	[11]
62	Астраханская область	50 мкг/кг	Астраханский газовый комплекс (АГК), на удалении 50 км	2007	[11]
63	Республика Башкортостан	0,17 - 1,9 мг/кг	Северо-восточный регион (почва)	2013	[12]
64	Белгородская область	0,03 мг/кг	51°11'25" с.ш. 37°38'43" в.д., участок Ямская степь заповедника Белогорье	1998-2005	[13]
65	Белгородская область	0,023 мг/кг	51°11'25" с.ш. 37°38'43" в.д., участок Ямская степь заповедника Белогорье, пахотный слой	1998-2005	[13]
66	Белгородская область	0,014 мг/кг	51°11'25" с.ш. 37°38'43" в.д., участок Ямская степь заповедника	1998-2005	[13]

			Белогорье, Озимая пшеница		
67	Белгородская область	0,012 мг/кг	51°11'25" с.ш. 37°38'43" в.д., участок Ямская степь заповедника Белогорье, Ячмень	1998-2005	[13]
68	Белгородская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
69	Брянская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
70	Бурятия республика	0,06 мг/кг, max 0,29 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
71	Бурятия республика	0,06 мг/кг; max 0,29 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
72	Бурятия республика	0,07 мг/кг	Обыкновенный сиг	2002	[8]
73	Бурятия республика	max 0,0008 мкг/л	52°16'33" с. ш. 106°16'20" в. д., устье р. Селенга и оз. Байкал	1995	[2]
74	Владимирская область	0,0019 мкг/м3	55°33'40" с. ш., 40°15'14" в. д., Владимирская мещёра	2006, 2008, 2010	[6]
75	Владимирская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
76	Владимирская область	0.1 мг/кг	56°23'41" с.ш., 42°23'42" в.д., Санхар оз.	2006	[8]
77	Владимирская область	0.19 мг/кг	56°23'28" с.ш., 42°20'31" в.д., Б.Поридово оз.	2006	[8]
78	Владимирская область	0.26 мг/кг	56°24'48" с.ш. 42°20'17" в.д., Светленькое оз.	2006	[8]
79	Владимирская область	0.04 мг/кг	56°22'44" с.ш. 42°17'23" в.д., Юхор оз.	2006	[8]
80	Владимирская область	0.10 мг/кг	56°9'38" с.ш., 41°53'37" в.д., Белое оз.	2002	[8]
81	Владимирская область	0.21 мг/кг	60°36'9" с.ш., 39°2'19" в.д., Воже оз.	2002	[8]
82	Волгоградская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
83	Волгоградская область	max 0,068 мг/кг	48°42'26" с.ш., 44°31'1" в.д., г. Волгоград	2009	[14]
84	Волгоградская область	0,041 мг/кг	г. Волгоград 48°42'26" с.ш., 44°31'1" в.д.	2006	[15]
85	Волгоградская область	0,010 мг/кг	г. Волгоград 48°42'26"	2006	[15]

	область		с.ш., 44°31'1" в.д.		
86	Волгоградская область	0,009 мг/кг	г. Волгоград 48°42'26" с.ш., 44°31'1" в.д.	2006	[15]
87	Волгоградская область	0,027 мг/кг	г.Волгоград, почва тяжелосуглинистая, пашня	2012	[16]
88	Волгоградская область	0,013 мг/кг	г.Волгоград, почва легкосуглинистая, целина	2012	[16]
89	Волгоградская область	0,045 мг/кг	г.Волгоград, почва тяжелосуглинистый солонец, пашня	2012	[16]
90	Волгоградская область	< 0,1 мг/кг	г.Волгоград, окрестности ВолГАУ, урбанозем	2012	[16]
91	Вологодская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
92	Вологодская область	0,1 мг/кг	61°17'59" с.ш., 37°0'55" в.д., вендерское оз.	1991	[8]
93	Вологодская область	0,28 мг/кг	62°17'8" с.ш., 32°12'46" в.д., вуонтеленярви оз.	1991, 2003	[8]
94	Вологодская область	0.5 мг/кг	58°40'8" с.ш., 37°27'32" в.д., Дорожив оз.	1989	[8]
95	Вологодская область	0.64 мг/кг	58°33'33" с.ш. , 37°37'14" в.д., Дубровское оз.	1989	[8]
96	Вологодская область	0.48 мг/кг	58°33'44" с.ш. 37°36'44" в.д., Змеиное оз.	2002	[8]
97	Вологодская область	0.48 мг/кг	59°38'29" с.ш., 39°26'44" в.д., Кубенское оз.	2002	[8]
98	Вологодская область	0.41 мг/кг	60°25'59" с.ш. 35°22'47" в.д., Нажмозеро оз.	2002	[8]
99	Вологодская область	0.19 мг/кг	59°9'44" с.ш., 36°27'12" в.д., Отно оз.	2002	[8]
100	Вологодская область	1,06 мг/кг	60°18'16" с.ш. , 44°27'21" в.д., Темное оз.	1989	[8]
101	Вологодская область	0.11 мг/кг	58°34'5" с.ш. 37°36'7" в.д., Хотавец оз.	1989	[8]
102	Вологодская область	0,11 мг/кг	15'35"N , 38°23'12"E , островистое оз.	2005	[8]
103	Вологодская область	0.09 мг/кг	58°34'5" с.ш. 37°36'7" в.д., Хотавец оз.	1990, 1991	[8]
104	Вологодская область	0.58 мг/кг	58°33'33" с.ш. , 37°37'14" в.д., Дубровское оз.	1990	[8]
105	Вологодская область	0.59 мг/кг	58°33'33" с.ш. , 37°37'14" в.д., Дубровское оз.	1998	[8]
106	Вологодская	0.57 мг/кг	58°33'33" с.ш. ,	2002	[8]

	область		37°37'14" в.д., Дубровское оз.		
107	Вологодская область	0,12 мг/кг	15'35" с.ш. 38°23'12" в.д., островистое оз.	2006	[8]
108	Воронежская область	0,212 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник	2004	[14]
109	Воронежская область	0,632 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (черви)	2004	[14]
110	Воронежская область	0,03 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (полёвки)	2004	[14]
111	Воронежская область	0,27 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (бурозубки)	2004	[14]
112	Воронежская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
113	Республика Дагестан	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
114	Забайкальский край (АБАО)	0,04 мг/кг, max 0,06 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
115	Забайкальский край (АБАО)	0,04 мг/кг; max 0,12 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
116	Забайкальский край	0,013 мг/кг, max 0,026		2010	[14]
117	Ивановская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
118	Республика Ингушетия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
119	Иркутская область	0,06 мг/кг, max 0,22 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]

120	Иркутская область	0,04 мг/кг; max 0,10 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
121	Иркутская область	0,07 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	1990	[17]
122	Иркутская область	0,05 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	1992	[17]
123	Иркутская область	0,11 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	1993	[17]
124	Иркутская область	0,05 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	1994	[17]
125	Иркутская область	0,02 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	1995	[17]
126	Иркутская область	0,05 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	2001	[17]
127	Иркутская область	0,15 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	2002	[17]
128	Иркутская область	0,09 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	2003	[17]
129	Иркутская область	0,07 мкг/л	54°27'60" с.ш., 102°56'24" в.д., р. Ангара, Братское водохранилище	2007	[17]
130	Иркутская область	0,045 мкг/л, max 0,16	54°0'31" с.ш., 103°3'0" в.д., п. Балаганск, питьевая вода	2007	[17]
131	Иркутская область	0,15 мкг/м3, max 0,2	54°0'31" с.ш., 103°3'0" в.д., п. Балаганск	2007	[17]
132	Иркутская область	0,016 мкг/л, max 0,08	53°59'1" с.ш., 103°4'19" в.д.,п. Коновалово, питьевая вода	2007	[17]
133	Иркутская область	0,07 мкг/м3, max 0,1	53°59'1" с.ш., 103°4'19" в.д.,п. Коновалово	2007	[17]
134	Иркутская область	0,061 мкг/л, max 0,2	52°59'32" с.ш., 103°30'41" в.д., с. Буреть, питьевая вода	2007	[17]
135	Иркутская область	0,21 мкг/м3, max 0,3	52°59'32" с.ш., 103°30'41" в.д., с.	2007	[7,17]

			Буреть		
136	Иркутская область	0,07 мг/кг	оз. Байкал, Обыкновенный сиг	2002	[8]
137	Иркутская область	0,001 мкг/л	оз. Байкал	1995	[2]
138	Иркутская область	0,095 мг/кг, max 2,68	52°17'11" с.ш., 104°16'50" в.д., г. Иркутск (максимум Ленинский район)	2011	[14]
139	Иркутская область	500 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	июл.07	[18]
140	Иркутская область	180900 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
141	Иркутская область	101900 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
142	Иркутская область	119400 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
143	Иркутская область	> 220000 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
144	Иркутская область	> 220000 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
145	Иркутская область	> 220000 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
146	Иркутская область	212000 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
147	Иркутская область	75800 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
148	Иркутская область	16900 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
149	Иркутская область	150000 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
150	Иркутская область	2320 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
151	Иркутская область	14500 нг/м3	"Усольехимпром" 52°47'2"N 103°37'1"E.	2007	[18]
152	Иркутская область	0,029 мкг/г	г. Петровск- Забайкальский	2008	[19]
153	Иркутская область	0,031 мкг/г	г. Братск	2008	[19]
154	Иркутская область	0,010-0,042 мкг/г	пос. Онгурен	2007	[19]
155	Иркутская область	0,065	о. Ольхон	2007	[19]
156	Иркутская область	0,021 мкг/г	побережье пролива Малое Море	2007	[19]
157	Иркутская область	0,039 мкг/г	Ольхонский район	2007	[19]
158	Иркутская область	0,001 мкг/л	пос. Чекановский	2007	[19]
159	Иркутская область	0,0019 мкг/л	р. Вихоревке	2007	[19]
160	Иркутская область	1,45 нг/м3	над поверхностью Байкала	1992	[20]
161	Иркутская область	1,53 нг/м3	над поверхностью Малого Моря	2007	[20]

162	Иркутская область	7,15 нг/м ³	по тракту Сахюрта – Баяндай – Иркутск	2007	[20]
163	Иркутская область	0,0297 мкг/дм ³	1,5 км ниже сбросов «Усольехимпром»	2000-2009	[21]
164	Иркутская область	0,0061 мкг/дм ³	5 км ниже сбросов «Усольехимпром»	2000-2009	[21]
165	Иркутская область	0,0027 мкг/дм ³	Острова Маркова 52°57'23"N 103°35'56"E	2000-2009	[21]
166	Иркутская область	0,0013 мкг/дм ³	Район г. Свирск	2000-2009	[21]
167	Иркутская область	0,034 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Балаганск	2000	[21]
168	Иркутская область	0,007 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Балаганск	2001	[21]
169	Иркутская область	0,013 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Балаганск	2002	[21]
170	Иркутская область	0,019 мкг/дм ³	г. Усолье-Сибирское (5 км ниже выпусков) – пос. Заславск	2003	[21]
171	Иркутская область	0,004 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Заславск	2004	[21]
172	Иркутская область	0,003 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Заславск	2005	[21]
173	Иркутская область	0,003 мкг/дм ³	г. Свирск – пос. Заславск	2006	[21]
174	Иркутская область	0,001 мкг/дм ³	г. Усолье-Сибирское (5 км ниже выпусков) – пос. Заславск	2007	[21]
175	Иркутская область	0,004 мкг/дм ³	г. Усолье-Сибирское (5 км ниже выпусков) – пос. Заславск	2008	[21]
176	Иркутская область	0,003 мкг/дм ³	г. Усолье-Сибирское (5 км ниже выпусков) – пос. Заславск	2009	[21]
177	Иркутская область	1,39 нг/м ³	пос. Листвянка	ноября 2011 по февраль 2015 г	
178	Республика Кабардино-Балкария	0,048 мг/кг, max 0,072		2010	[22]
179	Республика Кабардино-Балкария	0,0053 мг/кг, max 8,5	укосы растений	2010	[22]
180	Республика Кабардино-Балкария	max 0,001 мг/кг	блок растение-растительные насекомые	2010	[22]
181	Республика Кабардино-Балкария	max 0,00533 мг/кг	система амфибии-растения, насекомые	2010	[22]
182	Республика Кабардино-Балкария	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
183	Калининградская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]

184	Республика Калмыкия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
185	Калужская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
186	Камчатский край	0,0027 мкг/м ³	55°55'41" с.ш., 158°42'27" в.д., район г. Петропавловск-Камчатский, с. Эссо	2007, 2009	[7]
187	Камчатский край	141 нг/м ³	Камчатка, Алапельские термы, 56.168496 ш., 158.946074 д.	июл.07	[23]
188	Республика Карачаево-Черкесия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
189	Республика Карелия	0,17 мг/кг	62°24'31" с.ш., 32°6'36" в.д., вегарусярви оз.	1991,2003	[8]
190	Республика Карелия	max 0,44 мг/кг	61°44'34" с.ш., 34°16'21" в.д., Голубая Ламба оз.	1991	[8]
191	Республика Карелия	max 0.3 мг/кг	62°22'33" с.ш., 34°13'2" в.д., Грушина ламба оз.	1991	[8]
192	Республика Карелия	0,37 мг/кг	66°11'52" с.ш., 34°2'26" в.д., Жемчужное оз.	2005	[8]
193	Республика Карелия	max 0.36 мг/кг	Илякялкянярви оз.	1991	[8]
194	Республика Карелия	max 0,39 мг/кг	62°21'54" с.ш., 32°56'26" в.д., Кабозеро	1991	[8]
195	Республика Карелия	max 0,52 мг/кг	62°24'31" с.ш., 32°6'36" в.д. , Ламба Вегарус оз.	1991	[8]
196	Республика Карелия	max 0,24 мг/кг	62°25'37" с.ш., 32°23'14" в.д., Леукуниярви оз.	1991	[8]
197	Республика Карелия	max 0,18 мг/кг	62°9'57" с.ш., 33°25'3" в.д., Саргозеро	1991	[8]
198	Республика Карелия	0,14 мг/кг	62°21'58" с.ш., 34°14'10" в.д., Среднее оз.	2005	[8]
199	Республика Карелия	max 0,4 мг/кг	62°11'27" с.ш., 32°22'31" в.д., Суоярви оз.	1991, 2003	[8]
200	Республика Карелия	max 0.18 мг/кг	62°15'8" с.ш., 33°11'8" в.д., Урос оз.	1991	[8]
201	Республика Карелия	0,1 мг/кг	62°9'53" с.ш., 33°23'0" в.д., Чучьярви оз.	1991, 2003	[8]
202	Республика Карелия	0,0034 мкг/м ³	66°18'42" с.ш., 30°47'7" в.д. (координаты оз. Ципринга), район	2007, 2008, 2011	[7]

			озера Ципринга, г. Кивакка, район базы на р. Нурис		
203	Республика Карелия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
204	Республика Карелия	3,4 нг/м3	Сев. Карелия, район оз.Ципринга Кумской системы	авг.07	[23]
205	Республика Карелия	2,3 нг/м3	Сев. Карелия, район оз.Ципринга Кумской системы	авг.08	[23]
206	Кемеровская область	0,00016 мг/кг	54°21'3" с.ш., 85°38'21" в.д., Гурьевский район, район Урского водохранилища	2008	[24]
207	Кемеровская область	0,02 мкг/л	54°21'3" с.ш., 85°38'21" в.д., Гурьевский район, р. Ур	2008	[24]
208	Кемеровская область	0,061 мг/кг, max 0,094	54°21'3" с.ш., 85°38'21" в.д., Гурьевский район, район Урского водохранилища, отвалы Урского месторождения (берёза)	2008	[24]
209	Кемеровская область	0,654 мг/кг, max 1,7	54°21'3" с.ш., 85°38'21" в.д., Гурьевский район, район Урского водохранилища, отвалы Урского месторождения (Иванчай)	2008	[24]
210	Кемеровская область	11,57 мг/кг, max 20	54°21'3" с.ш., 85°38'21" в.д., Гурьевский район, район Урского водохранилища, отвалы Урского месторождения (грибы)	1999	[24]
211	Кемеровская область	0,18 мкг/л, max 0,45	юг Кузбасса, подземные воды	2007	[2]
212	Кемеровская область	0,13 мкг/л, max 0,44	юг Кузбасса, речные воды	2007	[2]
213	Кемеровская область	0,042 мг/кг, max 0,91	источник: Кузнецкий каменноугольный бассейн, металлургические предприятия, транспортные перевозки, Урское золоторудное	2008	[2]

			меторождение		
214	Кемеровская область	0,16 мг/кг, max 0,23	54°27'11" с.ш. 85°23'53" в.д., пос. Урск, источник: Урское золоторудное месторождение	2008	[2]
215	Кемеровская область	0,2 мг/кг	г. Междуреченск, Восточный район	2015	[25]
216	Кемеровская область	0,13 мг/кг	г. Междуреченск, Западный район	2015	[25]
217	Кемеровская область	0,09 мг/кг	г. Междуреченск, Прибрежный район	2015	[25]
218	Кемеровская область	0,12 мг/кг	г. Междуреченск, Промышленный район	2015	[25]
219	Кемеровская область	0,15 мг/кг	г. Междуреченск, ср. конц. по городу	2015	[25]
220	Кемеровская область	0,16 мкг/г	г. Урск	2008	[26]
221	Кировская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
222	Кировская область	20,1 мг/кг	р. Елховка, в верхнем течении	2008	[27]
223	Кировская область	15,0 мг/кг	р. Елховка, в среднем течении	2008	[27]
224	Кировская область	29 мг/кг	р. Елховка, в нижнем течении	2008	[27]
225	Кировская область	21 мг/кг	оз. Просное, на заиленной части, 58°32'38"N, 49°53'38"E	2008	[27]
226	Кировская область	5,6 мг/кг	оз. Просное, на открытой части	2008	[27]
227	Кировская область	0,15 мг/кг	оз. Березовое 58°33'37"N, 49°56'30"E	2008	[27]
228	Кировская область	6 мг/кг	оз. Бобровое	2008	[27]
229	Кировская область	9 мг/кг	вдоль русла р. Елховка, смешанные образцы почв 58°32'38"N, 49°53'38"E	2008	[27]
230	Кировская область	19 мг/кг	на берегах оз. Просное, смешанные образцы почв 58°32'38"N, 49°53'38"E	2008	[27]
231	Кировская область	0,8 мг/кг	вблизи шламонакопителя КЧХК, смешанные образцы почв	2008	[27]
232	Коми республика	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
233	Костромская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
234	Костромская область	0.10 мг/кг	57°59'12" с.ш., 42°23'11" в.д.,	1992	[8]

			Рыболовское оз.		
235	Костромская область	0,33 мг/кг	57°58'25" с.ш., 42°24'47" в.д., Русиловское оз.	1992	[8]
236	Костромская область	0,21 мг/кг	58°4'6" с.ш. 42°22'19" в.д., Скомороховское оз.	1992	[8]
237	Костромская область	0,06 мг/кг	58°46'52" с.ш., 42°36'60" в.д., Чухломское оз.	1992	[8]
238	Краснодарский край	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
239	Красноярский край	< 0,0001 мг/л	р.Енисей	2008 - 2010	[28]
240	Красноярский край	0,0001 - 0,001 мг/л	р.Кан	2008 - 2010	[28]
241	Красноярский край	до 0,006 мг/л	р.Чулым	2008 - 2010	[28]
242	Красноярский край	до 0,0002 мг/л	р.Бузим	2010 - 2011	[29]
243	Красноярский край	0,0001 мг/л	р.Есауловка	2010 - 2011	[29]
244	Красноярский край	0,0015 мкг/л	71°49'46" с. ш. 82°42'57" в. д., р. Енисей, эстуарий	1995	[1]
245	Республика Крым	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
246	Курская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
247	Ленинградская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
248	Липецкая область	0,212 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник	2004	[14]
249	Липецкая область	0,632 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (черви)	2004	[14]
250	Липецкая область	0,03 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (полёвки)	2004	[14]

251	Липецкая область	0,27 мг/кг	51°44'08" с. ш., 39°34'09" в. д., Воронежский Государственный Природный Биосферный заповедник (бурозубки)	2004	[14]
252	Липецкая область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
253	Республика Марий Эл	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
254	Республика Мордовия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
255	Москва г.	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
256	Москва г.	0,0054 мкг/м ³	55°45'14" с.ш., 37°37'13" в.д.	2007	[7]
257	Москва г.	720 мкг/кг	Квартал в Лефортово (МЭИ, МНИИПА, промзона № 23 «Серп и Молот»), 300 x 500 м,	1999	[30]
258	Москва г.	120 мкг/кг	Пролетарский пр. – Каширское ш	2006	[30]
259	Москва г.	110 мкг/кг	Балаклавский пр. – промзона «Котляково	2007	[30]
260	Московская область	0,0031 мкг/м ³		2007	[7]
261	Московская область	max 0,086 мг/кг		2010	[22]
262	Московская область	0,00253 мг/кг	укося растени	2010	[22]
263	Московская область	0,00198 мг/кг	система мышечная ткань овец – растения	2010	[22]
264	Московская область	max 5 мг/кг	белый гриб, гриб- зонтик, шампиньоны	2010	[22]
265	Московская область	0,049 мкг/л	бассейн р. Пахра	2004	[7]
266	Мурманская область	0,019 мкг/л	озёра Кольского полуострова	1991	[1]
267	Мурманская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
268	Мурманская область	< 0,1 мкг/дм ³	Белое море	2012	[31]
269	Мурманская область	< 0,1 мкг/дм ³	Баренцево море	2012	[31]
270	Нижегородская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
271	Новгородская	0,15 мкг/л	Среднее значение по	1986	[1]

	область		Европейской территории РФ		
272	Новгородская область	0.34 мг/кг	57°16'33" с.ш., 30°53'26" в.д., рдейское оз.	2005	[8]
273	Новгородская область	0.21 мг/кг	57°16'33" с.ш., 30°53'26" в.д., рдейское оз.	2006	[8]
274	Новгородская область	0.47 мг/кг	57°18'52" с.ш., 30°52'38" в.д., березайка оз.	2005	[8]
275	Новгородская область	0,09 мг/кг	57°59'25" с.ш., 33°17'32" в.д., валдай оз.	2007	[8]
276	Новгородская область	0.24 мг/кг	59°16'24" с.ш., 31°54'52" в.д., глубокое оз.	2005	[8]
277	Новгородская область	42.2 мг/кг	58°53'15" с.ш., 30°54'34" в.д., глухое оз.	2005	[8]
278	Новгородская область	0.11 мг/кг	57°10'32" с.ш., 30°41'22" в.д., домшинское оз.	2005	[8]
279	Новгородская область	0.34 мг/кг	58°16'29" с.ш., 31°18'57" в.д., ильмень оз.	2005	[8]
280	Новгородская область	0.14 мг/кг	58°29'30" с.ш., 31°29'59" в.д., долгое оз.	2006	[8]
281	Новгородская область	0.21 мг/кг	58°59'30" с.ш., 32°45'59" в.д., круглое оз.	2006	[8]
282	Новгородская область	0.1 мг/кг	57°10'32" с.ш., 30°41'22" в.д., домшинское оз.	2006	[8]
283	Новгородская область	0.20 мг/кг	59°16'24" с.ш., 31°54'52" в.д., глубокое оз.	2006	[8]
284	Новосибирская область	0,06 мг/кг, max 0,13 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
285	Новосибирская область	0,04 мг/кг; max 0,12 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
286	Новгородская область	63.7 мг/кг	58°53'15" с.ш., 30°54'34" в.д., глухое оз.	2006	[8]
287	Новосибирская область	0,02 мкг/л	54°30'10" с.ш., 82°20'29" в.д., Новосибирское водохранилище	1999	[2]
288	Новосибирская область	0,024 мг/кг, max 0,05		2001	[14]
289	Новосибирская область	0,072 мг/кг	55°1'49" с.ш., 82°55'14" в.д., г. Новосибирск	2001	[14]

290	Омская область	0,024 мг/кг, max 0,05		2001	[14]
291	Омская область	0,02 мкг/л	средняя часть р. Обь	2000	[2]
292	Орловская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
293	Пензенская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
294	Приморский край	1,137 мг/кг	43°6'22" с.ш., 131°53'48" в.д., бухта Золотой Рог, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
295	Приморский край	0,236 мг/кг	43°3'30" с.ш., 131°54'15" в.д., Пролив Босфор Восточный, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
296	Приморский край	0,305 мг/кг	43°09'38" с. ш., 131°54'21" в. д., устье р. Вторая речка, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
297	Приморский край	0,082 мг/кг	43°06' с. ш., 131°44' в. д., Амурский залив, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
298	Приморский край	0,037 мг/кг	43°1'56" с.ш., 132°7'12" в.д., Уссурийский щалив, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
299	Приморский край	0,043 мг/кг	42°54'5" с.ш., 131°27'6" в.д., Славянский щалив, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
300	Приморский край	0,007 мг/кг	42°32'26" с.ш., 130°59'1" в.д., залив Посьета, поверхностный слой донных осадков	2005-2010	[32]
301	Приморский край	0,009 – 0,025 мг/кг сырой массы	Уссурийский залив (б. Суходол), Мидия тихоокеанская, 43°10'53"N , 132°20'49"E	2000-2010	[33]
302	Приморский край	0,043 – 0,080 мг/кг сырой массы	Уссурийский залив (б. Суходол), Анадара Броутона, 43°10'53"N , 132°20'49"E	2000-2010	[33]
303	Приморский край	0,022 – 0,063 мг/кг сырой массы	Славянский залив. (б. Круглая), Мидия Грея,	2000-2010	[33]
304	Приморский	0,016 – 0,038	Славянский залив (б.	2000-2010	[33]

	край	мг/кг сырой массы	Северная), Гребешок приморский,		
305	Приморский край	0,006 – 0,020 мг/кг сырой массы	Амурский залив р. Раздольная, Корбикула японская,	2000-2010	[33]
306	Приморский край	1,7 нг/м3	Японское море и Татарский пролив, в приводном слое атмосферы	2010-2013	[34]
307	Приморский край	13,6 нг/л	Реки юго-восточного Приморья	2011/2012	[35]
308	Приморский край	0,7 нг/л	Реки юго-западного Приморья	2011/2012	[35]
309	Приморский край	9,3 нг/л	р.Туманная	2011/2012	[35]
310	Приморский край	4,5 нг/л	р.Раздольная	2011/2012	[35]
311	Приморский край	4,4 нг/л	р.Уссури с притоками	2011/2012	[35]
312	Приморский край	1,1 нг/л	р.Рудная	2011/2012	[35]
313	Приморский край	8,2 нг/л	Реки г.Владивосток	2011/2012	[35]
314	Приморский край	н/о	колодцы вблизи г.Владивосток	2011/2012	[35]
315	Приморский край	н/о	колодцы вблизи г.Арсеньев	2011/2012	[35]
316	Псковская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
317	Псковская область	0.6 мг/кг	58°46'48" с.ш., 28°41'32" в.д., Межницкое оз.	2005	[8]
318	Псковская область	0,65 мг/кг	58°46'48" с.ш., 28°41'32" в.д., Межницкое оз.	2006	[8]
319	Псковская область	0,09 мг/кг	56°39'15" с.ш., 29°32'49" в.д., Красковское оз.	2007	[8]
320	Псковская область	0.21 мг/кг	56°17'55" с.ш., 30°55'50" в.д., роговское оз.	2005	[8]
321	Псковская область	0,29 мг/кг	57°11'33" с.ш., 30°23'12" в.д., полисто оз.	2007	[8]
322	Псковская область	0.21 мг/кг	57°12'58" с.ш., 30°39'18" в.д., русское оз.	2005	[8]
323	Псковская область	0.34 мг/кг	58°38'29" с.ш., 27°37'27" в.д., чудское оз.	2005	[8]
324	Псковская область	0,15 мг/кг	56°17'55" с.ш., 30°55'50" в.д., роговское оз.	2006	[8]
325	Псковская область	0.20 мг/кг	58°38'29" с.ш., 27°37'27" в.д.,	2006	[8]

			чудское оз.		
326	Псковская область	0.20 мг/кг	57°12'58" с.ш., 30°39'18" в.д., русское оз.	2006	[8]
327	Ростовская область	0,7 мкг/л	46°57'25" с.ш., 38°15'19" в.д., Таганрогский залив	2002	[1]
328	Рязанская область	0,058 мг/кг	54°45' с. ш., 40°45' в. д., Окский государственный природный биосферный заповедник	2004	[14]
329	Рязанская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
330	Самарская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
331	самарская область	0,21 мг/кг	53°34'40" с.ш., 50°30'52" в.д., Кривое оз.	2005	[8]
332	самарская область	0,14 мг/кг	53°31'58" с.ш., 50°17'44" в.д., Круглое оз.	2005	[8]
333	Самарская область	0.08 мг/кг	53°5'57" с.ш., 49°20'1" в.д., татарское оз.	2007	[8]
334	Санкт-Петербург	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
335	Санкт-Петербург г.	0.416 мг/кг, max 1.401	59°56'21" с.ш., 30°18'57" в.д.	-	[14]
336	Санкт-Петербург	1,401 мг/кг	Адмиралтейский р-он 59°55'0"N, 30°17'51"E	1997-1998	[36]
337	Санкт-Петербург	0,734 мг/кг	Василеостровский р-он 59°56'32"N, 30°14'38"E	1997-1998	[36]
338	Санкт-Петербург	0,415 мг/кг	Выборгский р-он 60°5'11"N, 30°13'44"E	1997-1998	[36]
339	Санкт-Петербург	0,442 мг/кг	Калининский р-он 60°0'13"N, 30°23'43"E	1997-1998	[36]
340	Санкт-Петербург	0,436 мг/кг	Кировский р-он 59°52'6"N, 30°16'0"E	1997-1998	[36]
341	Санкт-Петербург	0,104 мг/кг	Колпинский р-он 59°46'30"N, 30°35'45"E	1997-1998	[36]
342	Санкт-Петербург	0,329 мг/кг	Красногвардейский р-он 59°58'21"N, 30°27'43"E	1997-1998	[36]
343	Санкт-Петербург	0,167 мг/кг	Красносельский р-он 59°47'27"N, 30°7'19"E	1997-1998	[36]
344	Санкт-Петербург	0,299 мг/кг	Кронштадтский р-он 60°0'47"N, 29°42'52"E	1997-1998	[36]
345	Санкт-Петербург	0,144 мг/кг	Курортный р-он 60°5'35"N, 30°0'26"E	1997-1998	[36]
346	Санкт-Петербург	0,278 мг/кг	Московский р-он	1997-1998	[36]

			59°49'26"N, 30°18'26"E		
347	Санкт-Петербург	0,281 мг/кг	Невский р-он 59°52'55"N, 30°27'53"E	1997-1998	[36]
348	Санкт-Петербург	0,541 мг/кг	Петроградский р-он 59°57'59"N, 30°17'4"E	1997-1998	[36]
349	Санкт-Петербург	0,541 мг/кг	Петродворцовый р-он 59°52'36"N, 29°52'25"E	1997-1998	[36]
350	Санкт-Петербург	0,204 мг/кг	Приморский р-он 60°1'4"N, 30°11'7"E	1997-1998	[36]
351	Санкт-Петербург	0,202 мг/кг	Пушкинский р-он 59°44'36"N, 30°25'31"E	1997-1998	[36]
352	Санкт-Петербург	0,264 мг/кг	Фрунзенский р-он 59°51'43"N, 30°23'42"E	1997-1998	[36]
353	Санкт-Петербург	1,079 мг/кг	Центральный р-он 59°56'8"N, 30°21'41"E	1997-1998	[36]
354	Саратовская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
355	Севастополь	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
356	Северная Осетия — Алания республика	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
357	Северная Осетия-Алания	0,0016 мкг/м ³	42°51'33" с.ш., 44°8'51" в.д., район с. Нижний Унал	2008, 2010	[7]
358	Смоленская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
359	Ставропольский край	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
360	Тамбовская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
361	Татарстан республика	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
362	Тверская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
363	Томская область	0,02 мг/кг, max 0,04 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
364	Томская область	0,04 мг/кг; max 0,19 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
365	Томская область	0,045 мг/кг, max 0,21	56°29'5" с.ш. 84°56'54" в.д., г.Томск, источник: котельное отопление, наличие большого количества несанкционированных свалок, автотранспорт, ГРЭС-2, железная	2001	[37]

			дорога и обслуживающие ее три станции: Томск-I, Томск-II, Томск - грузовой, Томская нефтебаза.		
366	Томская область	0,02 мкг/л	средний участок р. Обь	2000	[2]
367	Томская область	0,7 мкг/м ³	56°29'5" с.ш. 84°56'54" в.д., г.Томск, источник:ГРЭС-2, шпалопропиточный, радиотехнической, электромеханической заводы, ООО Эмальпровод, автотранспорт.	2006	[38]
368	Томская область	0,91 мг/гц, max 1,15	56°29'5" с.ш., 84°56'54" в.д., г. Томск	-	[14]
369	Томская область	max 1,333 мг/м ³	56°27'10" с.ш., 84°58'40" в.д., г. Томск, пл. Южная	2006	[38]
370	Томская область	90 мг/кг	Кожевниковский р-он 56°8'34"N, 83°37'22"E	2009	[39]
371	Томская область	100 мг/кг	Шегарский р-он 56°45'60"N, 83°44'49"E	2009	[39]
372	Томская область	80 мг/кг	Томский р-он 56°35'19"N, 84°35'27"E	2009	[39]
373	Томская область	90 мг/кг	Бакчарский р-он 57°0'48"N, 81°28'32"E	2009	[39]
374	Томская область	100 мг/кг	Зырянский р-он 56°45'53"N, 87°2'17"E	2009	[39]
375	Томская область	130 мг/кг	Асиновский р-он 57°20'7"N, 85°30'41"E	2009	[39]
376	Томская область	120 мг/кг	Первомайский р-он 57°43'28"N, 86°42'29"E	2009	[39]
377	Томская область	90 мг/кг	Кривошеинский р-он 57°15'11"N, 84°0'60"E	2009	[39]
378	Томская область	100 мг/кг	Чаинский р-он 57°43'21"N, 82°22'56"E	2009	[39]
379	Томская область	140 мг/кг	Молчановский р-он 57°44'28"N, 84°11'36"E	2009	[39]
380	Томская область	94,7 нг/г	г.Томск, Кировский 56°27'24"N, 84°56'21"E	2010	[39]
381	Томская область	88,2 нг/г	г.Томск, Ленинский 56°31'49"N, 84°57'14"E	2010	[39]
382	Томская область	115 нг/г	г.Томск, Советский 56°28'33"N, 85°3'55"E	2010	[39]
383	Томская область	67,2 нг/г	г.Томск, Октябрьский 56°32'58"N, 85°2'36"E	2010	[39]
384	Томская область	<6 нг/г	р. Соснинский Енган	2014	[40]
385	Томская область	<6 нг/г	р.Грузинка	2014	[40]
386	Томская область	<6 нг/г	р.Колтогорская	2014	[40]
387	Томская область	<6 нг/г	р.Лев. Ильяк	2014	[40]
388	Томская область	47 нг/г	р.Обь	2014	[40]

389	Томская область	<6 нг/г	р.Корниловская	2014	[40]
390	Томская область	<6 нг/г	р.Васюган	2014	[40]
391	Томская область	<6 нг/г	р.Парабель	2014	[40]
392	Томская область	<6 нг/г	р.Вяловка	2014	[40]
393	Тульская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
394	Республика Тыва	0,06 мг/кг, max 0,36 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
395	Республика Тыва	0,05 мг/кг; max 0,08 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
396	Республика Удмуртия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
397	Ульяновская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
398	Хабаровский край	0,048 мкг/л	бассейн нижнего Амура	1993	[1]
399	Хабаровский край	0,48 мг/кг, max 0,82	50°32'60" с.ш., 137°0'28" в.д., г. Комсомольск-на-Амуре	-	[14]
400	Чеченская республика	0,05 мг/кг	г.Грозный (почва)	2012	[41]
401	Чеченская республика	0,029 мг/кг	г.Грозный (почва)	2013	[41]
402	Чеченская республика	0,004 мг/кг	г.Грозный (почва)	2014	[41]
403	Чеченская республика	0,075 мг/кг	г.Аргун (почва)	2012	[41]
404	Чеченская республика	0,008 мг/кг	г.Аргун (почва)	2013	[41]
405	Чеченская республика	0,005 мг/кг	г.Аргун (почва)	2014	[41]
406	Чеченская республика	0,00012 мг/кг	с.Кень-Юрт (почва)	2012	[41]
407	Чеченская республика	0,010 мг/кг	с.Кень-Юрт (почва)	2013	[41]
408	Чеченская республика	0,0001	с.Кень-Юрт (почва)	2014	[41]
409	Чеченская республика	0,09 мг/кг	с.Алхан-Юрт (почва)	2012	[41]
410	Чеченская республика	0,003 мг/кг	с.Алхан-Юрт (почва)	2013	[41]
411	Чеченская республика	0,0257 мг/кг	с.Алхан-Юрт (почва)	2014	[41]
412	Чеченская республика	0,06 мг/кг	с.Ачхой-Мартан (почва)	2012	[41]
413	Чеченская республика	0,051 мг/кг	с.Ачхой-Мартан (почва)	2013	[41]
414	Чеченская республика	0,00038 мг/кг	с.Ачхой-Мартан (почва)	2014	[41]

415	Чеченская республика	0,002 мг/кг	с.Элистанжи (почва)	2012	[41]
416	Чеченская республика	0,04 мг/кг	с.Элистанжи (почва)	2013	[41]
417	Чеченская республика	0,0006 мг/кг	с.Элистанжи (почва)	2014	[41]
418	Чеченская республика	0,01 мг/кг	с.Самашки (почва)	2012	[41]
419	Чеченская республика	0,007 мг/кг	с.Самашки (почва)	2013	[41]
420	Чеченская республика	0,00046 мг/кг	с.Самашки (почва)	2014	[41]
421	Чеченская республика	0,08 мг/кг	с.Гойты (почва)	2012	[41]
422	Чеченская республика	0,005 мг/кг	с.Гойты (почва)	2013	[41]
423	Чеченская республика	0,00065 мг/кг	с.Гойты (почва)	2014	[41]
424	Чеченская республика	0,06 мг/кг	с.Мартан-чу (почва)	2012	[41]
425	Чеченская республика	0,04 мг/кг	с.Мартан-чу (почва)	2013	[41]
426	Чеченская республика	0,00561 мг/кг	с.Мартан-чу (почва)	2014	[41]
427	Чеченская республика	0,07 мг/кг	пос.Гикало (почва)	2012	[41]
428	Чеченская республика	0,001 мг/кг	пос.Гикало (почва)	2013	[41]
429	Чеченская республика	0,0004 мг/кг	пос.Гикало (почва)	2014	[41]
430	Чеченская республика	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
431	Челябинская область	11,5 мг/кг	г. Магнитогорск, Правобережный район	1999-2005	[42]
432	Челябинская область	8,45 мг/кг	г. Магнитогорск, Орджоникидзевский район	1999-2005	[42]
433	Челябинская область	4,76 мг/кг	г. Магнитогорск, Ленинский район	1999-2005	[42]
434	Челябинская область	6,79 мг/кг	г. Магнитогорск, ср. конц. по городу	1999-2005	[42]
435	Челябинская обл.	0,06 мг/кг	г.Челябинск	2014	[43]
436	Республика Чувашия	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
437	Чукотский АО	0,036 мкг/л	Чукотское море	1991	[1]
438	Республика Саха (Якутия)	0,05 мг/кг, max 0,38 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
439	Республика Саха (Якутия)	0,05 мг/кг; max 0,11 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
440	Республика Саха (Якутия)	0,005 мкг/л	72°24'42" с. ш., 126°41'05" в. д., р.	1995	[1]

			Лена, эстуарий		
441	Республика Саха (Якутия)	0,041 мкг/г	р. Лена,	2003	[44]
442	Республика Саха (Якутия)	0,049 мкг/г	р. Лена, 72°24'42" с. ш., 126°41'05" в. д.	2003	[44]
443	Ямало-Ненецкий АО	0,05 мг/кг, max 0,3 мг/кг	округ в целом (почва)	2011	[45]
444	Ямало-Ненецкий АО	0,09 мг/кг; max 0,66 мг/кг	округ в целом (донный ил)	2011	[45]
445	Ямало-Ненецкий АО	max 0,006 мкг/л	66°47'00" с. ш., 69°08'00" в. д., р. Обь, эстуарий	1995	[1]
446	Ямало-Ненецкий АО	0,0755 мг/кг, max 0,28	67°28'27" с.ш. 78°42'52" в.д., поселок городского типа Тазовский (донные отложения озёр), источник: Заполярное газоконденсатно-нефтяное месторождение, расположено в 80 км к юго-западу от п. Тазовский, в бассейне р. Таз.	1995, 1997,1998	[46]
447	Ямало-Ненецкий АО	0,104 мг/кг, max 0,3	64°45'6" с.ш. 77°21'15" в.д., Пуровский район, источник: Пырейное газовое месторождение и Береговое газовое и газоконденсатное месторождение	1995, 1997,1998	[46]
448	Ямало-Ненецкий АО	0,013 мг/кг, max 0.042	66°5'2" с.ш. 76°40'52" в.д., г. Новый Уренгой, источник: Уренгойское газовое и газоконденсатно-нефтяное месторождение, расположенное близ г. Новый Уренгой.	1995, 1997,1998	[46]
449	Ямало-Ненецкий АО	1,72 нг/м ³	п. Амдерма (69.45° с.ш.61.39° в.д.	июл.07	
450	Ямало-Ненецкий АО	1,56 нг/м ³	п. Амдерма (69.45° с.ш.61.39° в.д.	июл.08	
451	Ямало-Ненецкий АО	1,45 нг/м ³	п. Амдерма (69.45° с.ш.61.39° в.д.	авг.08	
452	Ямало-Ненецкий АО	1,51 нг/м ³	п. Амдерма (69.45° с.ш.61.39° в.д.	авг.08	
453	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Люх-Ягун	2014	[40]
454	Ямало-Ненецкий АО	7 нг/г	р.Обская губа	2014	[40]
455	Ямало-Ненецкий АО	5 нг/г	р.Хадуттэ	2014	[40]

	АО				
456	Ямало-Ненецкий АО	2 нг/г	р.Юде-Яха	2014	[40]
457	Ямало-Ненецкий АО	24 нг/г	р.Тадым-Яха	2014	[40]
458	Ямало-Ненецкий АО	34 нг/г	р.Ай-Малъяха	2014	[40]
459	Ямало-Ненецкий АО	22 нг/г	р.Ямсовой	2014	[40]
460	Ямало-Ненецкий АО	10 нг/г	р.Паннэяха	2014	[40]
461	Ямало-Ненецкий АО	15 нг/г	р.Тыдеотта	2014	[40]
462	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Тыдылъяха	2014	[40]
463	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Пурпе	2014	[40]
464	Ямало-Ненецкий АО	8 нг/г	р.Серейяха	2014	[40]
465	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Харвь-Яха	2014	[40]
466	Ямало-Ненецкий АО	18 нг/г	р.Етуяха	2014	[40]
467	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Нгарка-Варкъяха	2014	[40]
468	Ямало-Ненецкий АО	26 нг/г	р.Харучейяха-Тарка	2014	[40]
469	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Камгаяха	2014	[40]
470	Ямало-Ненецкий АО	29 нг/г	р.Хатыяха	2014	[40]
471	Ямало-Ненецкий АО	684 нг/г	р.Пульпуяха	2014	[40]
472	Ямало-Ненецкий АО	7 нг/г	р.Лумбатъяха	2014	[40]
473	Ямало-Ненецкий АО	>6 нг/г	р.Пыря-яха	2014	[40]
474	Ярославская область	0,0031 мкг/м ³		2007	[7]
475	Ярославская область	0,15 мкг/л	Среднее значение по Европейской территории РФ	1986	[1]
476	Ярославская область	0.09 мг/кг	57°9'20" с.ш. , 39°25'43" в.д. , неро оз.	2004	[8]
477	Ярославская область	0.04 мг/кг	57°9'20" с.ш. , 39°25'43" в.д. , неро оз.	2005	[8]

Список источников информации

1 Овсепян А. Э. Распределение, миграция и трансформация ртути в устьевой области р. Северная Двина: Дис. Кандидат. географических наук: - 25.00.36 – Ростов-на-Дону, 2007. – 178 стр.

2 Маликова И. Н., Аношин Г. Н., Бадмаева Ж. О. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов // Геология и геофизика, 2011. – Т. 52. – № 3. – С. 409-425.

3 Кац В. Е. Ртуть и таллий в почвенном покрове республики Алтай / В. Е. Кац // День Земли - науч. и пед. пробл. – 1995. - С. 55 – 56.

4 Мешкинова С.С., Пузанов А.В., Мешков Н.А. Ртуть в черноземных и каштановых почвах долины средней Катунь // Мир науки, культуры, образования. – № 3 (6). – 2007.

5 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 144-149.

6 Селиверстова И. Г. Содержание ртути, свинца, кадмия и стронция стабильного в почве и растительных кормах юга Зейско-Буреинской равнины и возможность снижения их уровня в молоке коров при скормливания им кормовых добавок: Дис. Кандидат. сельскохозяйственных наук: - 06.02.02 – Благовещенск, 2002. – 198 с.

7 Мухамадиярова Р. В. Экспериментальные исследования геохимического поведения ртути в процессах межрезервуарного обмена: Дис. кандидат. геолого-минералогических наук: - 25.00.09 – Москва, 2012. – 218 с.

8 Гремячих В. А. Закономерности накопления ртути и биологические последствия действия ее сублетальных доз для гидробионтов: Дис. кандидат биологических наук: - 03.00.18 – Борок, 2007. – 117 с.

9 Бечина И.Н., Попова Л.Ф., Васильева А.И., Коробицина Ю.С. Накопление и перераспределение тяжелых металлов в почвах г. Новодвинска//Научный диалог. 2013. № 3 (15). С. 7-25.

10 Коробицина Ю.С., Попова Л.Ф., Васильева А.И., Усачева Т.В. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова г. Северодвинска// Научный диалог. 2013. № 3 (15). С. 75-93.

11 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 177-183.

12 Асылбаев И.Г., Яубасаров Р.Б., Фархшатов Э. Концентрация токсичных химических элементов в почвах и растениях северо-восточного региона республики Башкортостан// Российский электронный научный журнал. 2013. № 1. С. 269-273.

13 Лукин С. В. Содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроландшафтах Белгородской области / С. В. Лукин // Достижение науки и техники АПК, 2008. - №7. – С.39-41.

14 Удоденко Ю. Г. Накопление и распределение ртути в почвах и педобионтах заповедных территорий (на примере Воронежского и Окского заповедников): Дис. кандидат. биологических наук: - 03.02.08 – Воронеж, 2014. – 158 с.

15 Надточий И.В., Околелова А.А. Валовые формы тяжелых металлов в почвах природных объектов Волгограда // [Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование](#). – № 4. – 2006.

16 Околелова А.А., Егорова Г.С., Желтобрюхов В.Ф., Кожевникова В.П. Тяжелые металлы в почвах пригородной зоны Волгограда и окрестностях Волгоградского государственного аграрного университета// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 202-206.

17 Бичева Г.Г. Гигиеническая оценка влияния ртути на здоровье сельского населения, проживающего в зоне техногенного загрязнения: Дис. кандидат. медицинских наук: - 14.00.07 – Иркутск, 2009. – 134 с.

-
- 18 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 119 – 123.
- 19 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 128-132.
- 20 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 149-152.
- 21 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 208-212.
- 22 Ермаков В.В. Биогенная миграция и детоксикация ртути// Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 5 – 12.
- 23 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 43-47.
- 24 Густайтис М. А. Ртуть в потоках рассеяния высокосульфидных отходов Урского месторождения (Западная Сибирь) по данным термического анализа с атомно-абсорбционным детектированием: Дис. кандидат геолого-минералогических наук: - 25.00.09 – Новосибирск, 2010. – 142 с.
- 25 Осипова Н.А., Перегудина Е.В., Язиков Е.Г. Химические элементы в почвах г. Междуреченска // Современные проблемы науки и образования. – № 1, 2015.
- 26 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 158-162.
- 27 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 203-207.
- 28 Колесников В.А., Бойченко Н.Б. Годовая и сезонная динамика содержания тяжелых металлов в воде рек Енисей, Чулым, Кан Красноярского края// Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 5. С. 142-147.
- 29 Колесников В.А., Бойченко Н.Б. Годовая и сезонная динамика содержания тяжелых металлов в воде рек Бузим и Есауловка Красноярского края//Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 6. С. 186-190.
- 30 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 177-183.
- 31 Боголицын К.Г., Малков А.В., Иванченко Н.Л., Кошелева А.Е., Кашина Е.М. оценка содержания свинца и ртути в водах Белого и Баренцева морей//Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 3. С. 119-125.
- 32 Аксёнтов К. И. Ртуть в донных осадках залива Петра Великого: Дис. кандидат. геолого-минералогических наук: - 25.00.28 – Владивосток, 2013. – 140 с.
- 33 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 227-230.
- 34 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва, 7-9 сентября 2010 г.). - М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 173-176.
- 35 Шулькин В.М., Иевлев Д.И. О содержании ртути в природных водах Приморья//Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2013. № 2 (168). С. 98-105.

36 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 183-187.

37 Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А. Распределение ртути в почво-грунтах города Томска // Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Отчеты участников международной школы-семинара молодых ученых [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scert.ru/ru/conference/enviromis2006/school/reports/>.

38 Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А. Содержание ртути в приземном слое атмосферы г. Томска. Отчет о научно-исследовательской работе // Сибирский центр климато-экологических систем и образования, Томск, 2007.

39 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 200-202.

40 Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015. – С. 241-244.

41 Асхабова Х.Н., Ильхаева З.С. Мониторинг загрязняющих веществ в почве Чеченской республики//Вестник Чеченского государственного университета. 2015. № 1 . С. 134-137.

42 Дубинина М.В., Елесина В.В., Боброва З.М. Исследование загрязненности почвенного покрова территории г. Магнитогорска // Теория и технология металлургического производства. – № 1. – 2013. – С 55-57.

43 Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. Содержание тяжелых металлов в почве г. Челябинска//Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 177-184.

44 Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы международного симпозиума (Москва,7-9 сентября 2010 г.)- М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 191-194.

45 Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Щербов Б.Л. Распределение ртути в компонентах окружающей среды Сибири// Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 1. С. 117-123.

46 Дорожукова С. Л. Природные уровни ртути в некоторых типах почв нефтегазоносных районов Тюменской области / С. Л. Дорожукова, Е. П. Янин, А. А. Волох // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2000. – №. 1. – С. 157-161.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5. КОПИИ СВИДЕТЕЛЬСТВ О
ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ И БАЗ
ДАНЫХ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017612718

«Химия в быту»

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

Авторы: **Макарова Анна Сергеевна (RU), Васильева Евгения Григорьевна (RU), Андрияшин Юрий Юрьевич (RU)**

Заявка № **2016663155**

Дата поступления **10 ноября 2016 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **02 марта 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017617710

Оценка воздействия на окружающую среду химических веществ

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

Авторы: *Макарова Анна Сергеевна (RU),
Андрюшин Юрий Юрьевич (RU)*

Заявка № 2017614608

Дата поступления 19 мая 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 июля 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017617751

Оценка воздействия на окружающую среду смесевой химической продукции

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

Авторы: **Макарова Анна Сергеевна (RU), Андриюшин Юрий Юрьевич (RU), Кудрявцева Евгения Игоревна (RU)**

Заявка № **2017614596**

Дата поступления **19 мая 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **11 июля 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





НИИ АТМОСФЕРА

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
“Научно-исследовательский институт
охраны атмосферного воздуха”
АО “НИИ Атмосфера”

194021, г.Санкт-Петербург, ул.Карбышева, 7, тел./факс: (812) 297-8662
E-mail: info@nii-atmosphere.ru, http://www.nii-atmosphere.ru
ОКПО: 23126426, ОГРН: 1097847184555, ИНН/КПП: 7802474128 / 780201001

«06» февраля 2017 г.

Для предоставления в
Ученый совет

Справка об использовании результатов
диссертационной работы Макаровой Анны Сергеевны
«Методическое обеспечение системного подхода к оценке воздействия на
окружающую среду ртути и ее соединений»

Отдельные научные результаты диссертации нашли отражение в научно-исследовательских работах, выполненных Научно-исследовательским институтом охраны атмосферного воздуха с участием автора в рамках гранта РСА/2013/030 GLF-2310-2760-4C83 от 02.02.2013 от Программы ООН по окружающей среде, Соглашения о сотрудничестве по Проекту среднего масштаба Глобального экологического фонда «Пилотный проект по формированию кадастра выбросов ртути в Российской Федерации».

Материалы диссертационного исследования Макаровой А.С. были использованы:

- 1) при сборе и обобщении информации необходимой для формирования кадастра ртутных загрязнений в РФ, в том числе были использованы данные по поступлению ртути в объекты окружающей среды:
 - от предприятий цветной металлургии,
 - при обращении потребительских товаров с запланированным использованием ртути,
 - при добыче и переработке нефти и газа.
- 2) при разработке рекомендаций по совершенствованию методической базы в области контроля и мониторинга ртути, которые в последствии могут быть включены в национальный план мероприятий по реализации Минаматской конвенции по ртути.
- 3) при разработке критериев приоретизации источников ртути в Российской Федерации (на основе предварительного анализа пробелов в регулировании и результатах предварительной инвентаризации). Для выполнения данной работы использовались следующие результаты – диссертационного исследования Макаровой А.С.

- оценка географического расположения источников выбросов, сбросов ртути и ее соединений, а также загрязнения ртутью различных объектов окружающей среды;
- составленная с использованием ГИС-технологий карта основных источников мобилизации ртути в окружающую среду;
- составленные с использованием ГИС-технологий карты загрязнения ртутью атмосферы, гидросферы и биосферы;
- разработанный алгоритм оценки степени значимости воздействия ртути и ее соединений на здоровье населения и состояние окружающей среды в РФ, в том числе с использованием стандартного программного обеспечения «USEtox».

Использование результатов диссертационной работы позволило сформировать кадастр ртутных загрязнений окружающей среды в Российской Федерации и подготовить соответствующие предложения для Министерства природных ресурсов для формирования национального плана действий при ратификации Минаматской конвенции о ртути.

Заместитель генерального директора
по международному
сотрудничеству



А.В. Романов

№ _____ от _____

на _____

СПРАВКА

О практической реализации диссертационной работы А.С. Макаровой
«Методическое обеспечение системного подхода к оценке воздействия ртути и ее соединений на окружающую среду», предоставленная для представления в ученый совет

Руководство ООО «КОЛТЕК-ЭкоХим» подтверждает, что результаты диссертационного исследования Макаровой Анны Сергеевны «Методическое обеспечение системного подхода к оценке воздействия ртути и ее соединений на окружающую среду» были внедрены в хозяйственной деятельности нашего предприятия и в настоящее время используются в учетно-аналитической работе и при оформлении разрешительной документации на производимую компанией продукцию.

В частности используются:

- алгоритм классификации опасности для окружающей среды химических веществ,
- модель принятия решений по обращению химических веществ,
- алгоритм поддержки принятия решений при выборе наиболее безопасного для окружающей среды химико-технологического процесса,
- и др.

С уважением,
Генеральный директор
ООО «КОЛТЕК-ЭкоХим»



А.Л. Цветков

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО
ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ



ФГУП «Всероссийский научно-
исследовательский институт
стандартизации оборонной
продукции и технологий»

119421, Москва, ул. Новаторов, д.40
Тел. (495)-936-08-08, факс (495)-935-20-27
ОКПО 05842755. ОГРН 1037739390204
ИНН/КПП 7728042672/772801001

22.12.2016 № 05/1919-Оп

На № _____

СПРАВКА

о практическом использовании результатов диссертационной работы
А.С. Макаровой на тему: «Методическое обеспечение системного подхода к оценке
воздействия ртути и ее соединений на окружающую среду»,
представленной на соискание ученой степени

Результаты диссертационного исследования Макаровой Анны Сергеевны «Методическое обеспечение системного подхода к оценке воздействия ртути и ее соединений на окружающую среду», представленного на соискание ученой степени представляют интерес для ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации оборонной продукции и технологий» (далее – предприятие) и предполагаются к использованию в дальнейшей научной деятельности предприятия.

Наиболее интересными с точки зрения возможности их использования в деятельности предприятия являются предлагаемые Макаровой А.С. подходы, включая методы и алгоритмы, к оценке воздействия на окружающую среду как предприятий в целом, так и отдельных производств. Предложенные методы могут быть использованы предприятием для развития подходов к стандартизации в оборонном секторе. Разработанные Макаровой А.С. системы оценки производств и процессов могут использоваться в качестве дополнительной научной основы стандартизации требований, применяемых для оценки предприятий, желающих принимать участие в государственном оборонном заказе.

Исполняющий обязанности директора



Д.А. Черничкин