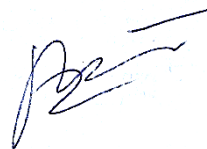


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

На правах рукописи



Васильева Евгения Григорьевна

**«Влияние антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные
объекты Российской Федерации»**

03.02.08 Экология (химическая технология)
(технические науки)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
А.С. Макарова

Москва – 2021

Оглавление

Введение	4
1. Современное состояние научных исследований в области методологии оценки антропогенной фосфорной нагрузки на компоненты биосферы.....	12
1.1. Методы оценки воздействия на окружающую среду.....	12
1.2. Загрязнение пресных вод фосфорсодержащими соединениями	17
1.3. Современное математическое и программное обеспечение для расчетов антропогенной фосфорной нагрузки в глобальном и региональном масштабе	20
1.4. Выводы	25
2. Методика расчёта миграции фосфора и его соединений в компонентах биосферы, учитывающая трансграничный перенос в водной среде	26
2.1. Биогеохимический цикл фосфора в рамках планетарных границ	26
2.2. Описание процессов миграции фосфора в компонентах биосферы	29
2.3. Порядок расчёта миграции фосфора в почве	31
2.4. Порядок расчёта миграции фосфора в водных объектах	37
2.5. Порядок расчёта миграции фосфора в атмосфере и донных отложениях ...	46
2.6. Порядок поиска, сбора и анализа первичных данных при проведении расчётов антропогенной фосфорной нагрузки.....	48
2.7. Проведение расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на примере Тверской области	59
2.8. Выводы	65
3. Оценка и прогнозирование уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации при различных сценариях	66
3.1. Оценка текущего уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации	66
3.2. Прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на водные объекты Российской Федерации при увеличении потребления фосфорных удобрений на период 2030 г	74

3.3. Прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на водные объекты Российской Федерации при различных сценариях, учитывающих глобальные климатические изменения и увеличение объёмов потребления фосфорных удобрений на период 2045 г.	79
3.4. Выводы	84
Заключение	85
Список литературы	87
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Справка о практическом применении результатов диссертационной работы от Ассоциации «РОСХИМРЕАКТИВ»	96
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от предприятия ООО «ЙОСЯ».....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. База данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации	98
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных	133

Введение

Актуальность темы

По оценкам Всемирной организации здравоохранения к 2025 году около 40 % населения планеты не будет иметь возможности обеспечивать свои хозяйственно-бытовые нужды из-за повсеместного снижения уровня качества и доступности воды [1]. Решение проблемы продовольственной безопасности посредством мелиорации земель во многих странах привело к значительным несоответствиям в местных балансах фосфора (в рамках представленного автором исследования термином «фосфор» обозначается количество доступных минеральных форм фосфора (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) в пересчёте на общий P) [2]. Фосфор, как и азот, играет ключевую роль в процессе эвтрофикации, представляющем одну из наиболее распространенных проблем, связанных с ухудшением качества водных систем. Значительное увеличение количества антропогенных источников поступления фосфорсодержащих соединений в компоненты биосферы за последние полвека подтвердило зависимость процесса эвтрофикации от концентрации фосфора в водных объектах. Исследования динамики трофического статуса водных масс крупнейших озёр страны [3] также показывают увеличение количества эвтрофицированных объектов, что обуславливает необходимость создания методики оценки антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации.

Крупнейшими источниками техногенного воздействия соединений фосфора на компоненты биосферы являются предприятия химической отрасли промышленности, производство которых основано на переделах фосфоритов с последующим получением товарных продуктов в виде концентрированной фосфорной кислоты, минеральных удобрений различного состава, моющих средств, бытовой химии и фосфорорганических пестицидов. Многие европейские страны запретили или значительно ограничили производство синтетических моющих средств (СМС), содержащих фосфор в своём составе, из-за доказанного негативного воздействия этих средств на компоненты биосферы. Снижение уровня качества и доступности воды, в первую очередь, будет оказывать влияние на

различные отрасли промышленности, так как основным направлением использования свежей воды в Российской Федерации является промышленное водоснабжение. В 2019 г. его объем составил 26615,78 млн м³, что соответствует 55,3% от общего объема потребления свежей воды в стране. Для питьевых и бытовых нужд показатель составляет примерно 14,4%, на орошение в 2019 году израсходовано порядка 14,9 %, для обеспечения сельскохозяйственных нужд использовано около 0,7 % от общего объёма потребления свежей воды в стране [4].

Помимо техногенного воздействия промышленных производств, химической отрасли промышленности не менее значимое влияние на пресноводные объекты оказывает сельскохозяйственная деятельность. Использование фосфорсодержащих минеральных и органических удобрений для увеличения объёмов производства продукции растениеводства приводит к резкому возрастанию концентрации фосфора в пресноводных объектах, что, в свою очередь, является одной из причин изменения трофического статуса данных объектов.

Увеличение количества используемых фосфорных удобрений, запланированное в соответствии со «Стратегией развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года», утвержденной приказом Минпромторга РФ и Минэнерго РФ от 8 апреля 2014 г. № 651/172 [5], может привести к значительному росту уровня антропогенной фосфорной нагрузки в субъектах Российской Федерации. В соответствии с дорожной картой по развитию производства и потребления минеральных удобрений на период до 2025 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2018 г. № 532-р [6], разработан план внесения сельскохозяйственными производителями минеральных удобрений по субъектам Российской Федерации на среднесрочный период (до 2025 года), согласно которому объем внесения минеральных удобрений в РФ к 2025 г. должен вырасти на 18% от текущего уровня, до 3,45 млн тонн. Максимальный прирост, как ожидается, будет иметь место в Краснодарском крае (+23%, 82 млн тонн), Ставропольском крае (+30% к уровню 2018 г., или +64 млн тонн), Тамбовской области (+40%, 50 млн тонн), Брянской области (+23%, 18 млн тонн), Республике Татарстан (+19%, 28 млн тонн),

Орловской области (+23%, 23 млн тонн), Ростовской области (+13%, 35 млн тонн) [7].

Принимая во внимание «Стратегию развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года», направленную на увеличение производства и потребления минеральных удобрений, наличие доступных инструментов для проведения оценки антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты является одним из значимых факторов для рационального использования ресурсов на протяжении всего их жизненного цикла от добычи сырья до использования готовой продукции.

Степень научной разработанности темы исследования

Основные методики оценки химической нагрузки на компоненты биосферы, включая фосфорную, изложены в работах Ю.С. Даценко, В. Г. Драбковой, В.П. Дымникова, А.В. Измайловой, С.А. Кондратьева, М.М. Мельника, В.П. Мешалкина, Е.В. Неверовой-Дзиопак, Г.К. Осипова, А. Н. Попова, Н.П. Тарасовой, Н.И. Хрисанова, Л.И. Цветковой и зарубежных ученых: Alexander R. B., Bennett E. M., Carpenter S. R., Fekete B.M., Helmes R. J. K., Rockström J., Steffen W., Vörösmarty C.J. и др.

Однако, стоит отметить, что большинство существующих в настоящий момент методик оценки химической нагрузки, в том числе фосфорной, (GlobalNEWS2, EDIP2003, и др.) созданы для отдельно взятых регионов и учитывают только их специфику. Например, GlobalNEWS2 производит оценку фосфорной нагрузки при условии умеренно континентального климата и лесной растительности, применение данной модели в других климатических условиях даёт нерелевантные результаты. Методики оценки фосфорной нагрузки могут быть разделены по способу применения на два типа: локальная оценка влияния антропогенной фосфорной нагрузки на определённые водные объекты (Балтийское море, Дудергофские озера, Куйбышевское водохранилище и др.), предполагающая обязательное наличие полевых данных для проведения расчётов; и глобальная оценка антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты для отдельно взятых стран или континентов, требующая специфического набора

исходных данных, отсутствующих в открытом доступе для территорий Российской Федерации.

Таким образом, создание методов для оценки антропогенной фосфорной нагрузки с использованием данных открытых источников, например, данных Федеральной службы государственной статистики, учитывающих поступление фосфора с прилегающих территорий, водный баланс региона, скорости переноса общего фосфора в пресноводные донные отложения и выноса фосфора в море, а также удаление фосфора с сельскохозяйственными культурами, является актуальной научно-технической задачей.

Диссертационное исследование соответствует пунктам 4.1. «Исследования влияния продукции химической отрасли промышленности на окружающую среду в естественных условиях с целью установления пределов устойчивости компонентов биосферы к антропогенному воздействию» и 4.8 «Информационные технологии, как инструмент достижения экологической и экономической эффективности работы предприятий отрасли» паспорта специальности 03.02.08 Экология (по отраслям). Также необходимо отметить соответствие основных разделов диссертационной работы пунктам «7.17. Эволюция окружающей среды и прогноз её развития в условиях быстрых природных и антропогенных изменений», «7.19. Водные ресурсы, качество вод и проблемы водообеспеченности страны; динамика и охрана подземных и поверхностных вод и ледников» и «7.23. Изменение природно-территориальных комплексов России в зонах интенсивного техногенного воздействия; основы рационального природопользования» Плана фундаментальных научных исследований Российской академии наук до 2025 года; приоритетному направлению развития «6. Рациональное природопользование» и пункту перечня критических технологий: «19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения», определенных в Указе Президента РФ «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» от 7 июля 2011 года; пункту плана действий по реализации Основ государственной политики

в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года «п. 57. Разработка методологии оценки и прогнозирования изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохранных зон водных объектов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений», утверждённому распоряжением Правительства РФ от 18 декабря 2012 года; что дополнительно подтверждает актуальность исследования, представленного в кандидатской диссертации.

Цель диссертационной работы заключается в определении и прогнозировании уровня антропогенной фосфорной нагрузки для субъектов Российской Федерации при изменении климатических параметров и/или объёмов потребления фосфорных удобрений.

Для достижения цели диссертационного исследования сформулированы и выполнены следующие взаимосвязанные научно-технические **задачи**:

1. Анализ современного состояния научных исследований по методам оценки антропогенной фосфорной нагрузки в глобальном и региональном масштабах.

2. Разработка порядка сбора, анализа и обработки первичных данных и составление базы данных для расчета уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации.

3. Разработка порядка расчёта миграции фосфора в компонентах биосферы, учитывающего установленные концепцией «планетарных границ» пределы устойчивости данных компонентов к техногенному воздействию.

4. Определение приоритетных источников поступления фосфора в пресноводные объекты Российской Федерации.

5. Прогнозирование изменения уровня антропогенной фосфорной нагрузки в зависимости от изменения климатических параметров и/или объёмов потребления фосфорных удобрений.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач были использованы методы системного анализа техногенно-природных объектов, включая современные методы

переработки больших массивов информации; палеоэкологические и статистические методы, методы регрессионного анализа.

Для визуального представления полученных расчётов автором исследования использовались методы иерархических образов, предназначенные для представления многомерных данных, выстроенных в иерархическую структуру определённого порядка.

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Разработана методика оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты РФ, отличающаяся одновременным учётом процессов миграции фосфора в нескольких компонентах биосферы и определением пределов устойчивости к техногенному воздействию на основании концепции «планетарных границ», применяемой в глобальном масштабе. Методика позволяет производить скрининговые расчеты для каждого отдельно взятого субъекта РФ, что может использоваться для проведения первичного анализа состояния компонентов биосферы на рассматриваемых территориях.

2. Проведена оценка текущего уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты в субъектах РФ, а также произведено прогнозирование уровня нагрузки, включающее в себя изменение климатических параметров и увеличение объёмов потребления фосфорных удобрений. На основании полученных результатов определены приоритетные источники поступления фосфора в пресноводные объекты для всех субъектов РФ.

Практическая значимость диссертационной работы:

1. Результаты диссертационной работы используются в качестве одного из методов оценки экологического состояния территорий, на которых расположены предприятия-члены Ассоциации «РОСХИМПРЕАКТИВ», производящие различные фосфорсодержащие составы и реактивы.

2. Результаты диссертационной работы использованы предприятием ООО «ЙОСЯ» при создании программного комплекса в рамках выполнения этапа конкурса префектуры города Марсель (Франция), что подтверждается справкой о внедрении.

На защиту выносятся следующие результаты исследования, имеющие научную и практическую значимость:

1. Порядок сбора, анализа и обработки первичных данных и база данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты РФ.
2. Порядок расчёта миграции фосфора в компонентах биосферы, учитывающий процессы трансграничного переноса в водной среде.
3. Оценка и прогнозирование антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты и ее визуальное представление для субъектов РФ при различных сценариях, учитывающих глобальные климатические изменения и увеличение объёмов потребления фосфорных удобрений.
4. Определение приоритетных источников поступления фосфора в пресноводные объекты РФ.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов обеспечена строгостью используемого математического аппарата. Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, не противоречат ранее полученным известным результатам других авторов. Сопоставление полученных при применении методики результатов с данными мониторинга водных объектов показало, что величина относительной погрешности расчётных данных составляет не более 32 %.

Апробация работы

Основные результаты исследования, представленного автором диссертационной работы, доложены в рамках основной повестки различных научно-практических конференций: Летняя школа молодых ученых «Планетарные границы. Искусство моделирования», г. Звенигород (май 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности», п. Дивноморское, Краснодарский край (сентябрь 2016 г.); Конкурс молодых ученых «Прикоснись к науке» в рамках Фестиваля Науки, г. Москва (октябрь 2016 г.); IX Международная научно-практическая конференция «Образования и наука для устойчивого развития», г. Москва (апрель 2017 г.); 1-я Международная научно-практическая конференция

«Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий и Байкальского региона», г. Иркутск (июнь 2017 г.); 7th International IUPAC Conference on Green Chemistry, г. Москва (октябрь 2017 г.); XXXIX Международная научно-практическая конференция «Российская наука в современном мире», г. Москва (июль 2021 г.); «Биотехнология: наука и практика», г. Ялта (сентябрь 2021 года).

Публикации. По материалам диссертационной работы автором исследования опубликовано 10 научных работ, в том числе: 3 публикации в журналах, индексируемых в международных системах SCOPUS и Web of Science; 1 публикация в журнале, рекомендованном ВАК; 1 свидетельство о регистрации базы данных; 5 публикаций в прочих журналах, включая тезисы конференций.

1. Современное состояние научных исследований в области оценки антропогенной фосфорной нагрузки на компоненты биосферы

1.1. Методы оценки воздействия на окружающую среду

В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации № 999 от 01.12.2020 г. «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду» разрабатываемые материалы по оценке воздействия на окружающую среду должны обеспечивать экологическую безопасность и охрану окружающей среды, предотвращение и (или) уменьшение воздействия планируемой (намечаемой) хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и связанных с ней социальных, экономических и иных последствий, а также выбор оптимального варианта реализации такой деятельности с учетом экологических, технологических и социальных аспектов или отказа от деятельности. В материалах оценки воздействия на окружающую среду обеспечивается выявление характера, интенсивности и степени возможного воздействия на окружающую среду планируемой (намечаемой) хозяйственной и иной деятельности, анализ и учет такого воздействия, оценка экологических и связанных с ними социальных и экономических последствий реализации такой деятельности и разработка мер по предотвращению и (или) уменьшению таких воздействий с учетом общественного мнения [8]. Другими словами, оценка воздействия на окружающую среду должна включать в себя комплекс обязательных мер, которые характеризуют рассматриваемый промышленный объект с точки зрения экологической безопасности.

Существующие методы оценки воздействия на компоненты биосферы могут проводиться различными способами в зависимости от цели проведения такой оценки и условно могут быть разделены на следующие группы:

- а) мониторинг состояния окружающей среды;
- б) оценка возможных рисков;
- в) оценка жизненного цикла продукции;

- г) оценка, основанная на значениях комплексных показателей (расчёт величины углеродного следа продукции (CFP), индексы трофического состояния поверхностных вод (TSI), след превышения фосфора (PEF) и многие другие);
- г) моделирование антропогенной нагрузки химических веществ на компоненты биосферы.

Наиболее достоверным методом из всех вышеперечисленных является мониторинг состояния окружающей среды, так как при использовании данного метода оценка производится на основании данных реальных измерений для конкретного соединения. Организация мониторинга всех возможных химических соединений, используемых в хозяйственной деятельности, невозможна из-за неоправданно высокой стоимости данного мероприятия, связанной с необходимостью использования достаточно дорогостоящего оборудования и привлечения большого количества квалифицированных сотрудников. Более того, в настоящий момент в мире существует тенденция по уменьшению количества станций по мониторингу, связанная с трудностями при их постоянном обслуживании. Одним из наиболее перспективных современных методов является проведение мониторинга с использованием дронов, осуществляющих фотосъёмку местности в высоком разрешении. Несмотря на свою перспективность, данный метод имеет ряд ограничений и позволяет оценить только физическое состояние исследуемого объекта.

Оценка возможных рисков – универсальный подход, а рамках которого для изучаемого объекта или системы прогнозируются все возможные риски в диапазоне от самых минимальных до возможности наступления техногенных и природных катастроф. Данный подход чаще всего применяется для оценки экономических и социальных рисков, и фактически не применяется при формировании оценки антропогенной нагрузки химических веществ на компоненты биосферы.

Оценка жизненного цикла продукции применяется как один из инструментов, позволяющих снизить негативное воздействие продукции химической, нефтехимической и любой другой отраслей промышленности на

компоненты биосферы, за счёт подробного изучения каждого этапа производства, использования и утилизации рассматриваемой продукции и разработки мер, исключающих такое воздействие. Данный подход также используется как некоторая мера социальной ответственности компаний-производителей, поскольку основные усилия, зачастую, направлены только на безопасное использование продукции потребителями.

Оценки, основанные на расчётах комплексных показателей, достаточно часто используются в качестве инструмента, с помощью которого можно оценить дополнительное воздействие продукции на компоненты биосферы, не учтённое в других способах оценки.

Одним из наиболее известных на настоящий момент комплексных показателей для оценки антропогенной нагрузки на компоненты биосферы является углеродный след производимой продукции (CFP), который рассматривается Рамочной конвенцией Организации Объединённых Наций (ООН) об изменении климата в качестве ключевого способа содействия достижению международных целей в сфере борьбы с изменением климата. Разработанный для расчёта данного показателя международный стандарт ИСО 14067:2018 позволяет наиболее точно определить элементы цепочек поставок, в которых заключена основная часть генерируемого углеродного следа, связанного с производством их продуктов, и принять соответствующие меры для его сокращения на основании полученных результатов [9]. Величина углеродного следа производимой продукции, в широком смысле, рассчитывается путём приведения всех промышленных и операционных процессов к величине выбросов диоксида углерода CO₂, включая количество используемых природных ресурсов, объёмы затраченной электроэнергии и пресной воды в процессе производства и переработки данной продукции, количество топлива, используемого для доставки готовой продукции и другие показатели.

Оценка трофического состояния пресноводных объектов – достаточно сложная практическая задача, так как данное состояние зависит от ряда различных факторов, что в значительной степени затрудняет возможность проведения такой

оценки на основании результатов натурных исследований. На практике используется три основных индекса трофического состояния поверхностных вод: TSI_{SD} , TSI_{TP} и TSI_{Chla} . TSI_{SD} рассчитывается на основании данных о прозрачности поверхностных вод, TSI_{TP} – определяется на основании данных о содержании общего фосфора в исследуемом объекте и TSI_{Chla} – определяется на основании данных о содержании хлорофилла а в исследуемом объекте [10]. Определение индексов TSI является одним из наиболее достоверных методов определения текущего состояния водных систем за счёт использования данных полевых исследований.

Величину следа превышения фосфора (PEF) определяют на основании данных о цепочках поставок фосфорных удобрений, включающих в себя экспорт данной продукции в другие страны, который является причиной увеличения антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты этих стран. Расчёт показателя PEF показал, что для 76% населения мира значение антропогенной фосфорной нагрузки может быть превышено из-за экспорта четырёх стран: Китая (42%), Бразилии (19%), Индии (10%) и Новой Зеландии (54%) [11].

Поскольку проведение реальных исследований не всегда представляется возможным, учеными разрабатываются различные программные продукты и математические модели, которые позволяют производить оценку антропогенной химической нагрузки на компоненты биосферы при наличии ограниченного набора данных для исследуемой системы. Разрабатываемые модели и программные продукты могут быть классифицированы по следующим признакам:

- а) по объекту исследования;
- б) по предмету исследования;
- в) по масштабу оценки (Точечная, локальная, региональная, глобальная).

В качестве предмета исследования может быть выбран один или сразу несколько процессов, описывающих поведение рассматриваемого вещества или группы веществ в том или ином компоненте биосферы. Например, для проведения оценки антропогенной нагрузки химических веществ на морскую среду при создании математических моделей учитываются физико-химические

характеристики, биodeградация, метаболические пути поступления веществ в различных организмах и многие другие параметры.

Объектами исследования чаще всего выступают конкретные химические соединения и те последствия, которые они вызывают в ходе своего воздействия на компоненты биосферы. В качестве примера можно привести исследование, приведённое в монографии Е.В. Неверовой-Дзиопак, в котором подробнейшим образом изучается и моделируется антропогенная фосфорная нагрузка и её последствия в виде эвтрофикации водных объектов на территории Польши [12].

Вышеописанные методы могут показывать достаточно высокий уровень достоверности при сравнении с данными реальный исследований, но не всегда такие решения будут давать достоверную оценку на региональном или глобальном уровне. При проведении оценок по уровню нагрузки химических веществ на компоненты биосферы в региональном или глобальном масштабе в основу используемых моделей закладываются простые зависимости, отображающие наиболее значимые для формирования оценки процессы. Такие модели, зачастую, имеют достаточно высокие значения погрешностей для полученных результатов, но, несмотря на это, они используются в качестве инструментов для первичной оценки рассматриваемого процесса в глобальном масштабе. На основании таких результатов могут приниматься решения о необходимости усиления мер по контролю за определенными загрязнителями или о разработке и внедрении предупреждающих мер для конкретных объектов. В качестве одного из наиболее известных примеров моделирования процессов в глобальном масштабе на основании простых эмпирических зависимостей, может быть приведена работа Д. Медоуза «Пределы роста. 30 лет спустя» (2012 г.) [13], результаты которой показали, что при использовании «грубых» зависимостей и не менее «грубых» входящих данных, уровень достоверности таких моделей может составлять более 85 %, а включение дополнительных уточняющих параметров в расчёты в значительной степени снижает уровень достоверности таких моделей.

1.2. Загрязнение пресных вод фосфорсодержащими соединениями

В сентябре 2021 года Генеральный секретарь ООН на Саммите по продовольственным системам в рамках своего доклада, представил план действий, направленный на изменение методов производства и потребления продовольствия в мире и достижение прогресса в реализации всех 17 целей устойчивого развития.

По мнению экспертов, существующие практики использования фосфора в мире приводят к нарушению его глобального цикла: в некоторых регионах в почву для выращивания продуктов питания добавляют слишком много фосфорсодержащих удобрений, что способствует повышению уровня загрязнения озер, рек и прибрежных экосистем питательными веществами. В других регионах у сельскохозяйственных производителей нет возможности получать достаточное количество фосфорных удобрений. В местах чрезмерного использования фосфорсодержащих соединений убытки в сельском хозяйстве и увеличившиеся отходы жизнедеятельности человека привели к загрязнению питательными веществами пресных вод и побережий, что стало причиной эвтрофирования пресноводных систем. Жизнь человека зависит от чистых и безопасных пресноводных и прибрежных экосистем, обеспечивающих большинство людей чистой питьевой водой, белком и средствами к существованию. Таким образом, предотвращение загрязнения водных экосистем фосфором является одной из важнейших задач для обеспечения устойчивого развития.

Первые признаки эвтрофирования пресных водоемов появились еще в начале XX века, но серьезное внимание изучению и исследованию данного процесса начали уделять только в середине XX столетия, когда во многих озерах Европы и Северной Америки отчетливо начал проявляться ускоренный рост водорослей, что привело к негативным последствиям их экологического состояния. Проблемы эвтрофирования природных вод являлись главным предметом обсуждения на конференции ООН по водным ресурсам планеты (Аргентина, 1977). Огромную роль в развитии исследований этого процесса сыграла специальная программа детального мониторинга озер Европы и Северной Америки, выполненная под

эгидой Европейской Организации Экономического Сотрудничества и Развития (OECD – Organization Economic Cooperation and Developments) в начале 70-х годов.

Увеличение объёмов использования азотных и фосфорных удобрений находится в центре сложной сети, основой которой являются преимущества и возможности современного развития и экологические последствия таких преимуществ. Данный вид продукции, производимый химической отраслью промышленности, имеет ключевое значение для растениеводства, и половина мировой продовольственной безопасности зависит от использования этих удобрений. Но избыток питательных веществ, образующийся вследствие использования удобрений, сжигания ископаемого топлива и образования сточных вод в ходе жизнедеятельности людей, домашнего скота, аквакультуры и промышленности приводит к загрязнению воздуха, воды, почвы и моря, с последующей потерей биоразнообразия и рыбы, разрушением озона и в значительной степени увеличивает дополнительный потенциал глобального потепления.

Одной из основных причин снижения количества растворенного в воде кислорода выступает процесс эвтрофикации, из-за ускоренного увеличения объёмов образующейся биомассы сине-зелёных водорослей, что, в свою очередь, может вызывать не только замор рыбы в водоёмах, но и способствовать размножению патогенных организмов, являющихся возбудителями инфекционных заболеваний.

Вышеописанные проблемы будут усугубляться по мере увеличения спроса на продукты питания и биотопливо, а рост городского населения приведёт к увеличению объёмов образующихся сточных вод, что станет причиной роста экономических издержек для ряда стран из-за подрыва экосистем, особенно актуальной данная проблема будет для стран, находящихся в прибрежной зоне [14].

Прибрежная территория Балтийского моря представляет собой одну из зон, в которой уже на протяжении нескольких десятилетий ведутся исследования влияния содержания фосфора на процесс эвтрофикации, а также разрабатываются и внедряются различные методы и технологии для снижения уровня антропогенной

фосфорной нагрузки на систему. По данным Государственного унитарного предприятия «Водоканал Санкт-Петербурга» системами очистки сточных вод ежегодно удаляется порядка 3 000 тонн фосфора, но даже такие значимые объёмы удаления биогенных элементов из круговорота веществ в прибрежной зоне не приводят к восстановлению естественного состояния системы. Примеры акваторий Балтийского моря, рек Ганг, Дунай, Янцзы, а также пресноводных объектов территории Марокко показывают, что превышение допустимого уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты неизбежно приводит к ухудшению качества и доступности пресной воды, а для восстановления изначального состояния таких систем необходимы сложные и дорогостоящие инженерно-технические методы по удалению излишков биогенных элементов, необходимость в применении которых может сохраняться на протяжении десятилетий.

Несмотря на повестку Саммита ООН по продовольственным системам, к 2023 г. спрос на удобрения, как ожидается, достигнет 203 млн тонн д. в., прогнозируемый CAGR спроса в период до 2023 г. составляет 1,3%. Суммарный объем рынка минеральных удобрений с учетом промышленных направлений переработки может достигнуть 268 млн тонн д. в. По прогнозам Mosaic, рост потребления удобрений по видам в 2020 г. составит: калийных – 1,8%, фосфатных – 1,4%, азотных – 1,0% [7].

Производство минеральных удобрений в РФ в период 2015–2017 гг. росло в среднем на 5,3% в год и в 2018 г. достигло 22,9 млн тонн в действующем веществе. Однако темпы роста в 2018 г. снизились на 1,5% в год из-за негативной динамики калийного сегмента, обусловленной резким снижением экспортных отгрузок.

По данным РАПУ, в 2018 г. потребление удобрений отечественными сельхозпроизводителями выросло на 9% – до 3,4 млн тонн в действующем веществе, что стало рекордом за последние 25 лет. По сравнению с уровнем десятилетней давности объем потребления вырос на 50%. В первом полугодии 2019 г. потребление удобрений на российском рынке выросло на 18,2% г/г – до 2,2 млн тонн в пересчете на д.в. (на 14,1%, до 5,46 млн тонн в физическом весе). Сильнее

всего выросли поставки на внутренний рынок карбамид-аммиачной смеси (+36%), концентрированных фосфорных (+32%) и комплексных удобрений (+22%).

В 2019 году в России за счёт введения новых производственных мощностей было произведено порядка 550 тыс. тонн фосфорных удобрений, 30 % из которых были использованы в сельском хозяйстве страны.

Проводимые различными научными группами исследования [15, 16] по оценке уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, в большинстве своём, показывают, что для территории Российской Федерации уровень антропогенной фосфорной нагрузки находится в пределах допустимых значений. Но поскольку эти оценки построены на обобщенных данных, представленных для страны в целом, и не учитывают такие параметры как интенсивность производства сельскохозяйственной продукции в конкретных регионах, обеспеченность региона водой, численность населения и многие другие параметры, детализированные исследования локальных водных объектов показывают, зачастую показывают превышение допустимого уровня фосфорной нагрузки.

1.3. Современное математическое и программное обеспечение для расчетов антропогенной фосфорной нагрузки в глобальном и региональном масштабе

В настоящий момент существует обширное количество разнообразных научных исследований по оценке уровня антропогенной химической нагрузки на компоненты биосферы, но стоит отметить, что оценка антропогенной фосфорной нагрузки редко рассматривается в качестве отдельной задачи и, чаще всего, является одной из составляющих при определении общего уровня химической нагрузки. В зависимости от материально-технического обеспечения и необходимого уровня детализации при решении задач по оценке уровня химической нагрузки какого-либо вещества или его соединений на компоненты биосферы могут быть использованы как экспериментальные, так и расчётные методы. Общепризнанным базовым методом решения современных

фундаментальных и прикладных геофизических задач, связанных с междисциплинарным описанием глобальных процессов в окружающей среде, является математическое моделирование [17]. Эти же принципы могут быть использованы при расчете поступления общего фосфора в окружающую среду, как показано в работах [18, 19].

В работе Ю.С. Доценко [20] представлены наиболее часто используемые подходы к оценке уровня общей биогенной нагрузки на водоёмы, антропогенная фосфорная нагрузка в которых принимается как произведение стандартного значения концентрации фосфора в водоёме на коэффициент его удержания, характеризующий параметры конкретного водного объекта. Не менее часто используемым является метод расчёта, в основе которого лежит использование данных о количестве общего фосфора, перешедшего из водной среды в донные отложения. Описанные Ю.С. Доценко методы, в первую очередь, позволяют оценить уровень антропогенной фосфорной нагрузки с позиции моделирования процессов миграции фосфора, представляющие собой осаждение и последующее накопление посредством перехода в нерастворимую форму. Так как вышеописанный подход предполагает использование данных реальных исследований – уровень его достоверности для локальных система малого размера является достаточным при формировании соответствующих оценок, но использование этого подхода в региональном или глобальном масштабе не представляется возможным из-за отсутствия необходимого количества данных реальных исследований.

Разработанная А.Н. Поповым [21] методика расчёта уровня антропогенной фосфорной нагрузки для малопроточных и непроточных озёр, подразумевает учёт всех возможных путей поступления фосфора и его соединений в исследуемый объект. Так как в качестве объектов исследования в данной работе выбраны стационарные водные объекты, то в, указанной методике не учитывается значение величины трансграничного переноса общего фосфора в воду из других компонентов биосферы из-за чего оценка конечных объёмов его поступления может быть недостаточно точной. Дополнительно стоит отметить, что

практическая реализация методики А. Н. Попова требует обязательного наличия спутниковых снимков высокого уровня разрешения для каждого изучаемого водного объекта и при отсутствии таковых не может быть применена для оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки.

Большинство современных математических моделей, описывающих процесс формирования химической нагрузки вещества на компоненты биосферы, представляют собой системы линейных дифференциальных уравнений, которые воспроизводят массоперенос между средами [19, 22]. Одна из первых моделей для оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, базирующаяся на системе линейных дифференциальных уравнений, была представлена группой американских и канадских учёных под руководством S. R. Carpenter и E. M. Bennett в 2010 году [22], также в рамках Программы ООН по окружающей среде (UNEP) научной группой под руководством Розенбаума была разработана модель Usetox, основанная на использовании приёмов матричной алгебры [19]. При расчёте значений уровня антропогенной фосфорной нагрузки могут использоваться и другие подходы, основанные на методах регрессионного анализа или системах линейных уравнений.

Примером использования методов регрессионного анализа для оценки поступления валового фосфора в поверхностные воды, является модель под названием «SPARROW», разработанная в 2004 коллективом авторов под руководством R.B. Alexander [23]. В отечественной практике для оценки уровня антропогенной фосфорной и азотной нагрузки на водные объекты территорий Российской Федерации в региональном масштабе используются модели, построенные на системах линейных уравнений. В качестве примера можно привести труды отечественных учёных Н. И. Хрисановым, Г. К. Осиповым, представленные в 1993 году [24] и С. А. Кондратьева, апробировавшего разработанную систему на примере Чудско-Псковского озера в 2010 году [25].

Для моделирования поступления питательных веществ в пресную воду, включая моделирование антропогенной фосфорной нагрузки, для стран Европы может использоваться модель «EDIP2003», включающая в себя такие процессы как

подкисление воды, фотохимическое образование озона, экотоксичность, обогащение питательными веществами, токсичность для человека, шум. Такой подход к оценке уровня антропогенной фосфорной нагрузки имеет низкий уровень достоверности и не может быть использован для территории Российской Федерации.

Канадский метод «LUCAS», объединяющий в себе модель «EDIP2003» и метод оценки жизненного цикла «TRACI», основанный на данных исследований Фекете и Воромастри и определяющий скорости переноса азотсодержащих соединений в компонентах биосферы, позволяет производить оценку возможности эвтрофикации пресноводных объектов за счёт использования адаптированной для фосфорсодержащих соединений модель «CARMEN». Стоит заметить, что объединение 3 различных моделей не дало положительных результатов в повышении достоверности расчётных значений уровня антропогенной фосфорной нагрузки даже при наличии достаточного объёма данных полевых исследований.

На сегодняшний день большинство существующих методов оценки антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты с достаточным уровнем точности могут быть применены только для одного континента, но при масштабировании расчетов на региональный или глобальный уровень такие методы обычно показывают сравнительно низкий уровень достоверности.

В большинстве вышеуказанных моделей и методов при оценках, проводимых на уровне стран или отдельных регионов, не учитывается пространственная дифференциация времени пребывания химических веществ в подсистемах окружающей среды, которая имеет определяющее значение для гидросферы, поскольку в ней присутствует направленное перемещение веществ с водными массами. Также стоит отметить, что учет пространственной дифференциации позволяет повысить точность расчетов, а ее отсутствие, зачастую, приводит к снижению достоверности полученных оценок из-за различного времени жизни оцениваемого химического вещества в разных частях исследуемой территории.

Проведенный автором диссертационной работы анализ современного состояния научных исследований в области оценки фосфорной нагрузки показал,

что в настоящий момент методика, учитывающая пространственную дифференциацию и полный жизненный цикл фосфора, не была разработана для территории Российской Федерации, а ранее произведенные расчёты на глобальном уровне не являются релевантными из-за отсутствия данных [15].

1.4. Выводы

1. Большинство существующих методов оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки требуют обязательного наличия достаточно большого объёма данных полевых исследований, что затрудняет или исключает возможность использования этих методов для оценки антропогенной фосфорной нагрузки на региональном и глобальном уровнях.

2. Методики оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки, зачастую, разрабатываются для конкретных стран или континентов, в которых используются данные о Российской Федерации в целом и не учитываются параметры, характеризующие отдельные регионы страны.

3. Существует необходимость в разработке методики оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации, позволяющей использовать данные открытых источников и имеющей достаточно высокий уровень достоверности.

2. Методика расчёта миграции фосфора и его соединений в компонентах биосферы, учитывающая трансграничный перенос в водной среде

2.1. Биогеохимический цикл фосфора в рамках планетарных границ

На протяжении всего своего существования человечество периодически сталкивалось с необходимостью вводить экологические ограничения, как на локальном, так и на региональном и/или глобальном уровнях. Преобладание экстенсивных методов экономического развития (роста) привело к необходимости применения рационального подхода при использовании природных ресурсов, из-за большого количества негативных последствий, связанных с непосредственным воздействием на компоненты биосферы. За последние десятилетия объемы поступления химических веществ в составе промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов в атмосферу, гидросферу и литосферу достигли величин, равных или превышающих природные составляющие глобальных биогеохимических циклов этих веществ. В качестве одного из возможных решений сложившейся ситуации были введены региональные и глобальные ограничения на поступление химических веществ в окружающую среду (например, были разработаны и приняты гигиенические нормативы химических веществ в воздухе, воде и почве), на основе которых определялись границы возможного изменения окружающей среды вследствие антропогенного воздействия [26].

В 2009 году для оценки устойчивости биосферы к антропогенному воздействию была разработана концепция «планетарных границ» [27], определяющая пределы для безопасного развития человеческого общества в функциональном пространстве, ограниченном размерами нашей планеты [28]. Представленный подход в установлении пределов устойчивости компонентов биосферы к техногенному воздействию, базируется на опубликованной в 1972 году работе «Пределы роста», представляющей собой количественный анализ глобальных последствий антропогенного воздействия на биосферу, совмещенный с современной оценкой пределов возможного техногенного воздействия на планету [26, 29].

Планетарные границы определены через девять ключевых параметров:

- 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,
- уровень химического загрязнения.

В части биогенных элементов первоначальная граница была установлена только для фосфора (P) и азота (N), но в настоящее время предлагается перейти к более универсальному параметру, отражающему антропогенное воздействие на биогеохимические циклы в целом. Например, не менее важными для функционирования биосферы могут оказаться углеродный цикл (который уже учитывается в границе, связанной с изменением климата) или цикл кремния [26, 27].

Диаграмма планетарных границ содержит только три типа зон (рисунок 1): красная, когда планетарные границы нарушены и необходимо принятие экстренных мер по их восстановлению; зеленая, когда глобальная система еще сохраняется некоторый запас устойчивости; желтая зона - зона повышенного риска, предполагающая наличие предупреждающих действий, которую ещё называют зоной неопределённости.

В 2009 году предполагалось, что поступление фосфора в Мировой океан составит порядка 30 % от десятикратно увеличенного доиндустриального объема поступления фосфорсодержащих соединений [22, 30]. Однако, современные исследования показывают, что для установления планетарной границы, связанной

с состоянием биогеохимического цикла фосфора более значимыми могут оказаться проблемы, связанные с его поступлением в пресноводные объекты [22].



Рисунок 1 - Планетарные границы

Авторами исследования [28] предложено пересмотреть планетарную границу по фосфору с целью осуществления дополнительного учёта его влияния на пресноводные объекты с помощью метода измерения потоков (масса фосфора/промежуток времени), полученные в данном исследовании результаты приведены на рисунке 2.

Красным цветом обозначены зоны с высоким уровнем антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты; желтым – зоны, имеющие умеренный уровень нагрузки на пресноводные объекты; зелёным – зоны с низким уровнем нагрузки; серым цветом на карте обозначены области, расчёт для которых невозможен ввиду отсутствия достоверных данных. Территория Российской Федерации почти полностью попадает в область отсутствия данных о потоках

фосфора, в рамках проведения расчётов и оценок в глобальном масштабе, что обуславливает необходимость разработки методики расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации.

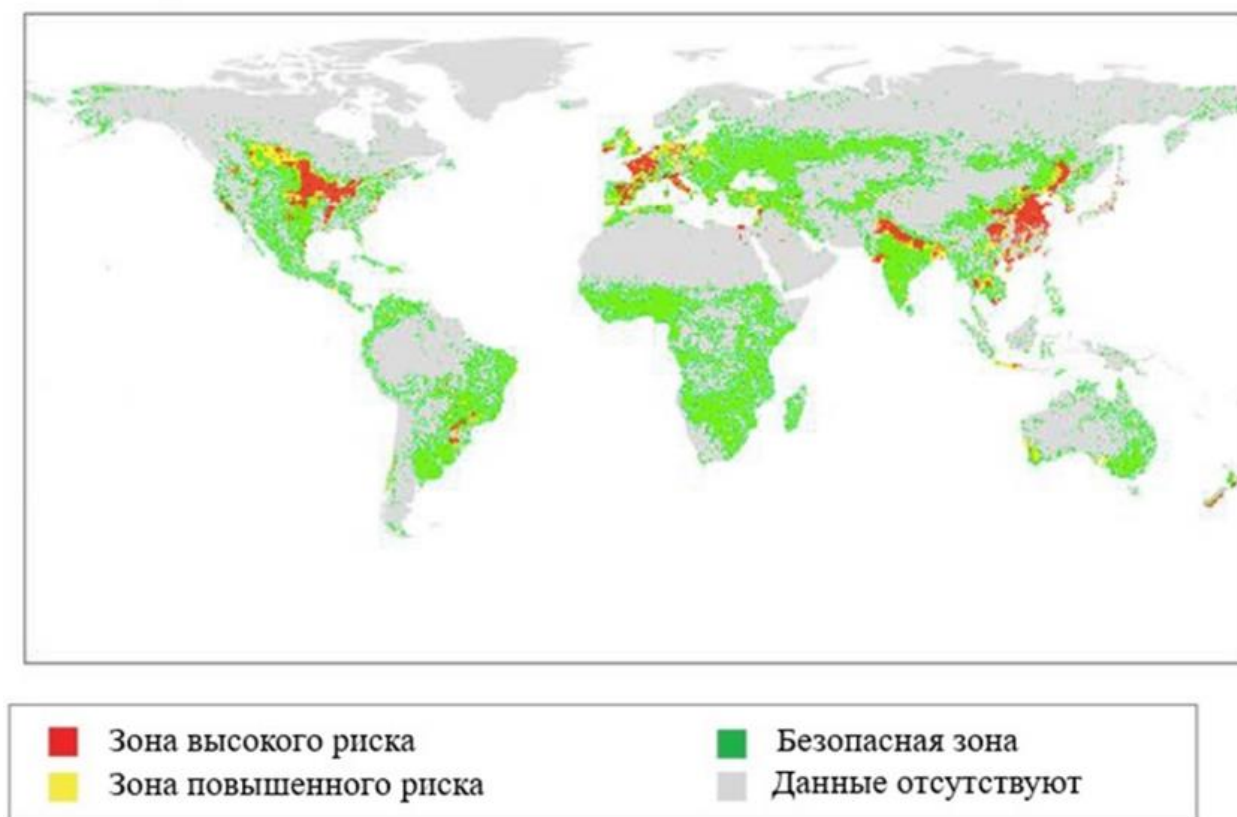


Рисунок 2 - Результаты исследования фосфорной нагрузки в глобальном масштабе

2.2. Описание процессов миграции фосфора в компонентах биосферы

Для описания процессов миграции фосфора в компонентах биосферы автором сформулировано схематическое описание (рисунок 3), базирующееся на данных различных научных исследований и учитывающее процессы естественного выветривания фосфорсодержащих пород и переноса пыли в различные водные объекты при формировании антропогенной фосфорной нагрузки на компоненты биосферы.

Прямоугольниками на схеме обозначены рассматриваемые в рамках исследования компоненты биосферы: атмосфера, водные объекты, донные отложения и почвы. X1, X2, X3 и X4 обозначено количество фосфора, поступающего в: почву, водные объекты, атмосферу и донные отложения

соответственно. Для учёта максимального количества различных водных объектов, включая озёра, болота и водохранилища, автором предложено рассматривать не только динамические, но и статические водные объекты. Трансграничный перенос вещества учитывается с помощью предстоящих объектов $Z-1$ и последующих объектов $Z+1$, стационарные системы имеют условное обозначение Z .

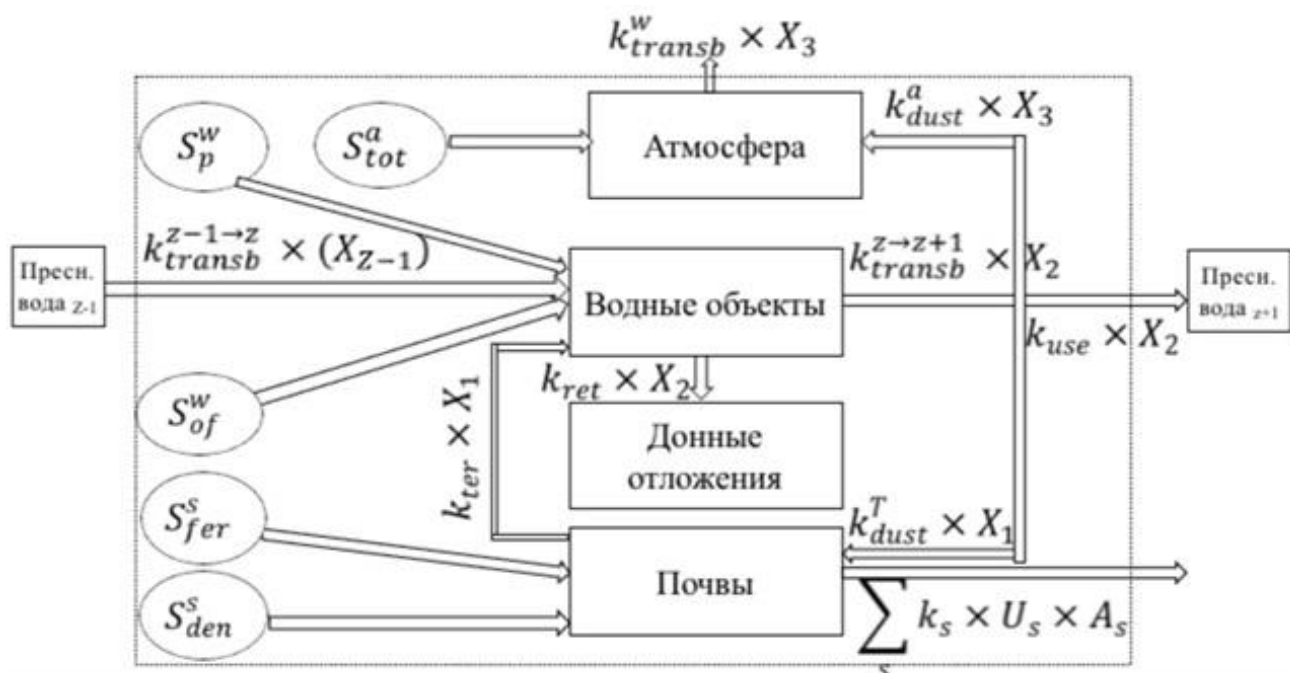


Рисунок 3 - Схематическое описание процессов миграции фосфора в компонентах биосферы

При исследовании поступления общего фосфора в компоненты биосферы в качестве основных источников были выделены следующие процессы, обозначенные на схеме овалами: в почву фосфор и его соединения, в основном, попадают за счёт внесения минеральных удобрений (S_{fer}^s) и денудации (S_{den}^s); исследование процесса поступления фосфора в водные объекты показало, что в качестве основных источников выступают точечные источники (S_p^w) и продукты жизнедеятельности животноводства в виде органических удобрений (S_{of}^w); поступление фосфора в атмосферу (S_{tot}^a).

Стрелками на схеме обозначены направления массопереноса потоков фосфора, скорость которых описывается с помощью коэффициентов (k),

представляющих собой математическое описание естественных или антропогенных процессов при переходе фосфора из одного компонента биосферы в другой. Штрихпунктирной линией обозначаются границы рассматриваемых объектов и вынос вещества за пределы системы, который описывается такими процессами как вынос с пылью, трансграничный перенос ниже по течению и вынос с урожаем сельскохозяйственных культур.

Из предложенного схематического описания следует, что дисбаланс потоков при поступлении в водные объекты соответствует соотношению 3:1, означающего что весь поступающий из 3 различных источников фосфор, может либо переноситься в следующий водный объект посредством трансграничного переноса, либо аккумулироваться в донных отложениях. Стоит отметить, что естественная ёмкость любого водного объекта довольно часто настолько мала в сравнении с объёмами поступающих загрязняющих веществ, что система не может самостоятельно справиться с очисткой от этих веществ.

В рамках предложенного автором описания в качестве компонентов биосферы, подверженных наиболее высоким значениям уровня антропогенной фосфорной нагрузки выступают почва, в которую фосфор в больших количествах поступает при ведении сельскохозяйственной деятельности, и водные объекты, основной вклад общего фосфора для которых вносят городские муниципальные очистные сооружения. Атмосфера и донные отложения, в сравнении с ранее описанными компонентами биосферы, не вносят столь значительного вклада в формировании антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты.

2.3. Порядок расчёта миграции фосфора в почве

Общее содержание фосфора в большинстве поверхностных почв низкое, и в среднем составляет около 0,6%. Содержание фосфора в почвах весьма непостоянно: от менее 0,04% P_2O_5 в песчаных почвах прибрежных равнин Атлантического океана и Персидского залива до более 0,3% в почвах на северо-западе США. Данный элемент необходим для общего здоровья и

жизнеспособности всех растений. Также фосфорсодержащие соединения регулируют такие специфические факторы роста как:

- стимуляция развития корневой системы;
- повышение прочности стебля и листвы;
- улучшение цветообразования и семеноводства;
- более равномерное и более раннее созревание урожая;
- повышенная азотфиксирующая способность для бобовых культур;
- улучшение качества урожая;
- повышение устойчивости к болезням растений.

В таблице 1 приведена классификация уровней обеспеченности естественных почв соединениями фосфора в зависимости от его количественного содержания [31].

Таблица 1. Обеспеченность почв по содержанию фосфора

№ п/п	Содержание фосфора, мг/кг почвы	Уровень обеспеченности
1	<20	Очень низкий
2	20 – 70	Низкий
3	70 - 150	Средний
4	150 - 230	Повышенный
5	230 - 350	Высокий
6	>350	Очень высокий

Растворимые формы фосфора, поступающие либо с внесением удобрений, либо при естественном выветривании, вступают в почве в химические реакции с соединениями глины, железа и алюминия и легко превращается в менее доступные формы в процессе фиксации фосфора. Процессы фиксации фосфора определяют его низкие возможности по перемещению в большинстве почв, из-за чего он остается близко к месту своего происхождения, а сельскохозяйственные культуры редко поглощают более 20 % фосфора из удобрений в течение первого посевного сезона после внесения. Фиксированный остаточный фосфор остается в зоне укоренения и постепенно становится доступным для последующих культур. Эрозия почвы и уборка урожая - основные способы удаления фосфора из почвы.

Поглощение фосфора сельскохозяйственными культурами может снижаться из-за низкой температуры, недостаточного уровня аэрации, избыточной влажности или повышенной плотности почвы. Повышение плотности почвы уменьшает аэрацию и количество пор в корневой зоне, а также уменьшает общий объём почвы, в который проникают корни растений, ограничивая таким образом доступ к почвенному фосфору [32].

При исследовании поступления общего фосфора в компоненты биосферы в качестве основных источников поступления в почву рассматриваются такие процессы, как внесение минеральных удобрений (S_{fer}^s) и денудация (S_{den}^s). Для количественного определения поступающего в почву фосфора автором составлено балансовое уравнение (1), расчёт на основании которого производился для каждого субъекта Федерации:

$$\Delta X_1 = S_{fer}^s + S_{den}^s - k_{ter} \times X_1 - k_{dust}^T \times X_1 - \sum_s k_s \times U_s \times A_s, (1)$$

При составлении балансового уравнения и проведении расчётов автором использовались следующие буквенные обозначения:

где ΔX_1 – ежегодный глобальный прирост содержания фосфора в почвах [кг/год];

X_1 – масса фосфора в почве [кг];

S_{fer}^s – использование минеральных удобрений [кг/год];

S_{den}^s – процесс денудации [кг/год];

k_{ter} – коэффициент, описывающий скорость поступления фосфора в пресную воду [1/год];

k_{dust}^T – коэффициент переноса фосфора с пылью [1/год];

k_s – коэффициент выноса химического вещества с растительной массой урожая s-вида сельскохозяйственной культуры [кг/год];

U_s – урожайность s-вида сельскохозяйственной культуры [кг/(км²*год)];

A_s – площадь, занятая s-видом сельскохозяйственной культуры [км²].

Значение величины ежегодного глобального прироста массы Р в почве ΔX_1 в уравнении (1) представляет собой известную величину, которая была получена по результатам проведения различных исследований [22, 30, 33] и равняется $1 \cdot 10^{12}$

г/год. Величина ΔX_1 для каждого субъекта Российской Федерации определялась на основании использования значения доли сельскохозяйственной площади региона от общемировой площади земель [34]. Информация о площадях, отведённых под сельскохозяйственную деятельность, получена из банка готовых документов Федеральной службы государственной статистики [35].

В качестве основных потоков, обеспечивающих поступление общего фосфора почву, в рамках исследования рассматривались минеральные удобрения S_{fer}^s (кг/год) [36] и процесс денудации S_{den}^s (кг/год). Поступление фосфора в поверхностные слои почвы вследствие выветривания, по данным исследования [22], может колеблется в диапазоне значений от $1,5 \cdot 10^{10}$ до $2 \cdot 10^{10}$ кг/год в глобальном масштабе. Путем суммирования скоростей механической и химической денудации ($2 \cdot 10^{13}$ кг/год), принятых в соответствии с результатами [37], со средним содержанием этого элемента в земной коре (0,1%) [38], научная группа исследования [39] предложила использовать значение текущего выветривания равное $2 \cdot 10^{10}$ кг/год [22]. Для субъектов Российской Федерации значение денудации определялось как произведение значения текущего выветривания в глобальном масштабе и отношения площади рассматриваемого субъекта к общемировой площади поверхности планеты, как описано в выражении (2):

$$S_{den}^s = f_i^G \times 10^9 \times 20 \quad (2)$$

где S_{den}^s – процесс денудации [кг/год];

f_i^G – доля i -го объекта от общей поверхности суши [Безразмерная величина].

Поток фосфора, формирующий антропогенную фосфорную нагрузку вследствие потребления минеральных удобрений, рассчитывался на основании данных о внесении фосфорных удобрений, содержащихся в ежегодных отчётах региональных профильных министерств, включая Министерство сельского хозяйства и Министерство природных ресурсов. Величина S_{fer}^s представляет собой распределение вносимых удобрений относительно территории исследуемого региона и может быть определена с помощью следующей зависимости:

$$S_{fer}^s = A_i \times Ad_{fer} \quad (3)$$

где S_{fer}^s – использование минеральных удобрений [кг/год];

A_i – площадь рассматриваемой территории [км²];

Ad_{fer} – внесение минеральных удобрений [кг/га].

Перенос фосфора с пылью $k_{dust}^T * X_1$ в глобальном масштабе по оценкам экспертов [39, 40] составляет 10⁹ кг/год. Для определения количества фосфора, переносимого с пылью для отдельных исследуемых территорий, использовалось отношение площади, отведенной под сельскохозяйственные нужды, к общей площади поверхности суши, аналогичным способом оценивалась механическая и химическая денудация в работе [19]. Коэффициент переноса фосфора с пылью может быть рассчитан с помощью выражения (4):

$$k_{dust}^T = f_{agr}^G \times 10^9 \quad (4)$$

где k_{dust}^T – коэффициент переноса фосфора с пылью [1/год];

f_{agr}^G – доля сельскохозяйственных территорий от общей поверхности суши [Безразмерная величина].

Усвоение фосфорных удобрений сельскохозяйственными культурами и дальнейший вывод его за пределы рассматриваемой системы в уравнении (1) определяется как произведение скорости выноса химического вещества с растительной массой урожая s-вида сельскохозяйственной культуры (k_s) на урожайность s-вида сельскохозяйственной культуры (U_s) и на площадь, занятую s-видом сельскохозяйственной культуры (A_s). Далее произведения, полученные для каждого отдельного вида сельскохозяйственных культур, суммировались и в результате было получено значение потока фосфора, удаляемого из системы. Количественная оценка выноса химических веществ за пределы водосбора с собранным урожаем описана с помощью следующей расчетной зависимости [24]:

$$\sum k_s \times U_s \times A_s, \quad (5)$$

где k_s – коэффициента выноса химического вещества с растительной массой урожая s-вида сельскохозяйственной культуры [кг/ц];

U_s – урожайность s-вида сельскохозяйственной культуры [кг/(км²*год)];

A_s – площадь, занятая s-видом сельскохозяйственной культуры [км^2].

Рекомендованные значения коэффициента выноса химического вещества с растительной массой урожая (k_s) для наиболее часто встречающихся на территории Российской Федерации сельскохозяйственных культур приведены в таблице 2. Значения площадей, занятых той или иной сельскохозяйственной культурой, рассчитывались на основании статистических данных, приведенных в Российском статистическом ежегоднике Федеральной службы государственной статистики [35]. Авторами исследования [16] показано, что 12% мировой нагрузки фосфора связано с производством зерновых (4,3% пшеницы и 4,4% риса), производством овощей (6,3%) и производством масличных культур (5,5%), поэтому в качестве основных сельскохозяйственных культур, вносящих существенный вклад в формирование антропогенной фосфорной нагрузки на территории Российской Федерации, были выбраны зерновые, зернобобовые, овощи и картофель.

Таблица 2. Вынос биогенных веществ сельскохозяйственными культурами (K_s , кг ц^{-1}) для условий нечерноземной зоны России

№ п/п	Сельскохозяйственная культура	P_{2O_5} , (кг/ц)
1	Озимая пшеница	0,90
2	Озимая рожь	1,20
3	Ячмень	1,00
4	Овес	1,30
5	Картофель ранний	0,15
6	Картофель поздний	0,20
7	Свекла кормовая	0,15
8	Турнепс	0,17
9	Однолетние травы на зеленый корм и силос	0,16
10	Культурное пастбище (зеленый корм)	0,12
11	Многолетние травы на силос	0,15
12	Многолетние травы на сено	0,63

13	Клевер (сено)	0,60
14	Капуста белокочанная	0,13
15	Морковь столовая	0,16
16	Морковь кормовая	0,20
17	Свекла столовая	0,15
18	Брюква столовая	0,31
19	Брюква кормовая	0,10
20	Естественные сенокосы	0,71

2.4. Порядок расчёта миграции фосфора в водных объектах

Запасы фосфорных соединений в водных системах формируются за счёт морских (осадочных) фосфоритов и продуктов их выветривания. Протекание различных физических, механических и биологических процессов в долгосрочной перспективе привело к отложению фосфатов в ряде прибрежных регионов. В число обладателей крупнейших месторождений осадочных фосфоритов входят Западная Сахара, США и Китай, а 70% мировых запасов принадлежит Марокко. Королевство Марокко и Западная Сахара являются крупнейшими производителями фосфатной руды занимают первое место по экспорту этих соединений.

Исследование вод Мирового океана показало наличие как взвешенных, так и растворённых органических и неорганических форм фосфора. Наиболее часто встречающейся в водных системах растворенной формой неорганического фосфора являются ионы ортофосфорной кислоты (H_3PO_4): $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , на долю которых приходится около 90 % от общего содержания, около 5% составляют органические соединения, 3-5% представлено взвешенными формами.

Содержание соединений фосфора в водных системах зависит от различных факторов, включая: сезонные изменения динамических процессов, речной сток, уровень расхода воды в водных объектах, а также специфику функционирования системы водообмена между различными объектами [41]. По данным исследования [16] наибольший вклад в мировую нагрузку фосфором вносят бытовые сточные

воды (54 процента), за которыми следует сельское хозяйство (38 процентов) и промышленность (8 процентов).

При расчёте потоков общего фосфора, попадающего в пресноводные объекты Российской Федерации, в соответствии с данными, представленными в работе [25], в качестве основных источников поступления были выбраны точечные источники (S_p^w) и продукты жизнедеятельности животноводства в виде органических удобрений (S_{of}^w). Общий поток фосфора, поступающего в водные объекты, для каждого субъекта Российской Федерации был описан с помощью балансового уравнения (6):

$$\Delta X_2 = S_p^w + S_{of}^w + k_{ter} \times X_1 + k_{transb}^{z-1 \rightarrow z} \times X_{Z-1} - k_{transb}^{z \rightarrow z+1} \times X_2 - k_{use} \times X_2 - k_{ret} \times X_2 \quad (6)$$

где ΔX_2 – ежегодный глобальный прирост содержания фосфора в водных объектах [кг/год];

S_p^w – точечные источники [кг/год];

S_{of}^w – органические удобрения [кг/год];

k_{ter} – коэффициент, описывающий скорость поступления фосфора в пресную воду [1/год];

X_{Z-1} – масса фосфора в предстоящем водном объекте [кг];

X_2 – масса фосфора в следующем водном объекте [кг];

$k_{transb}^{z-1 \rightarrow z}$ – коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса из предстоящего объекта [1/год];

$k_{transb}^{z \rightarrow z+1}$ – коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса в следующий объект [1/год];

k_{use} – коэффициент переноса фосфора, связанный с антропогенными процессами [1/год];

k_{ret} – коэффициент переноса фосфора, связанный с естественными процессами [1/год].

Значение величины ежегодного глобального прироста фосфора в водных объектах (ΔX_2) определено в работе [40] и составляет $7,08 \cdot 10^7$ кг/год. Значение

величины ΔX_2 для отдельно взятых регионов страны определялось на основании отношения объёма пресноводных водоёмов исследуемой территории к глобальному объёму поверхностных пресных вод, который оценивался как суммарное значение общемировых объёмов озёр ($175 \times 10^3 \text{ км}^3$) и рек ($2 \times 10^3 \text{ км}^3$), и составляет $177 \times 10^3 \text{ км}^3$ [40].

Для получения максимально достоверных результатов при расчёте антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, сформированной деятельностью муниципальных предприятий по очистке сточных вод коммунально-бытового назначения, рекомендуется использовать данные мониторинга водных систем. При отсутствии доступных данных мониторинга допускается производить расчёт уровня антропогенной фосфорной нагрузки на основании данных о численности населения для рассматриваемой территории с использованием следующей расчётной зависимости:

$$S_p^w = N_p \times k_p \times k_t \quad (7)$$

где S_p^w – точечные источники [кг/год];

N_p – количество жителей [чел.];

k_p – коэффициент эмиссии химического вещества [кг/год];

k_t – безразмерный коэффициент, характеризующий снижение концентрации химических веществ в сточных водах после очистки [Безразмерная величина].

ХЕЛКОМ [42] предложено оценивать величину коэффициента эмиссии химического вещества (k_p) для одного жителя как 2,7 г/день общего фосфора или 0,99 кг/год. При этом механическая очистка, согласно литературным источникам, не сказывается на содержании биогенных элементов в сточных водах, а биологическая очистка муниципальных сточных вод приводит к снижению концентрации *Робц* на 30 % ($k_t = 0,7$). Более эффективной очистки можно достичь за счет использования дополнительного фильтрования, коагулирования, пенной флотации, озонирования и других технологий [24].

Отходы жизнедеятельности животноводческих ферм и птицефабрик, их последующее хранение и использование в качестве удобрений, представляют собой крупнейший источник поступления органических форм фосфора в пресную

воду. Если допустить, что весь образовавшийся на фермах и птицефабриках навоз и помет остается в пределах рассматриваемого водосбора, то приближенная оценка S_{of}^w может быть выполнена следующим образом:

$$S_{of}^w = \sum_j k_{fj} \times N_j \quad (8)$$

где S_{of}^w – органические удобрения [кг/год];

k_{fj} – коэффициент эмиссии Робщ одного домашнего животного j-го наименования [кг/год];

N_j – количество домашних животных (или птицы) [шт.].

В таблице 3 приведены нормативные значения коэффициентов k_f для различных домашних животных и птицы, рассчитанные по данным работ специалистов в области сельского хозяйства. При этом следует помнить, что очистные сооружения животноводческих ферм и птицефабрик отнесены к точечным источникам загрязнения, так как сведения об их сбросах обычно включаются в формы статистической отчетности 2ТПВодхоз. Данные о количестве голов крупного рогатого скота, свиней и птицы для каждого субъекта Российской Федерации были взяты из Статистического ежегодника [35].

Таблица 3. Коэффициенты эмиссии (кг год⁻¹) Р общ одного домашнего животного и птицы

Наименование	Коэффициент эмиссии Р общ одного домашнего животного j-го наименования, (кг/год)
Крупный рогатый скот	18,9
Свиньи	3,36
Куры	0,28

Для расчёта коэффициента удаления фосфора за счёт трансграничного переноса автором сделано допущение, что данный коэффициент равен скорости удаления воды на рассматриваемой территории и соответствует соотношению между потоком воды ($Q^{z \rightarrow z+1}$, $Q^{z-1 \rightarrow z}$, км³/день) [43] и общим объемом воды на

рассматриваемой территории ($V^{z-1 \rightarrow z}, V^{z \rightarrow z+1}$, км³), значение которого представляет собой сумму объёмов озёр, водохранилищ и рек:

$$k_{transb}^{z-1 \rightarrow z} = \frac{Q^{z-1 \rightarrow z}}{V^{z-1 \rightarrow z}} \quad (9)$$

$$k_{transb}^{z \rightarrow z+1} = \frac{Q^{z \rightarrow z+1}}{V^{z \rightarrow z+1}} \quad (10)$$

где $k_{transb}^{z-1 \rightarrow z}$ – коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса из предстоящего объекта [1/год];

$k_{transb}^{z \rightarrow z+1}$ – коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса в следующий объект [1/год];

$Q^{z-1 \rightarrow z}$ – средний многолетний расход воды [км³/день];

$V^{z-1 \rightarrow z}$ – общий объём воды в пресноводном объекте $z - 1$ [км³];

$Q^{z \rightarrow z+1}$ – средний многолетний расход воды в объекте z [км³/день];

$V^{z \rightarrow z+1}$ – общий объём воды в пресноводном объекте z [км³].

Поскольку данные о величине общего объёма воды для регионов Российской Федерации отсутствуют, автором был предложен следующий порядок расчёта данного параметра:

$$V = V_{riv} + V_{lak+res} \quad (11)$$

где V – общий объём воды в водных объектах [км³];

V_{riv} – объём рек [км³];

$V_{lak+res}$ – объём озёр и водохранилищ [км³].

Необходимо отметить, что в Государственном докладе о состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации [44] представлены объёмы только для крупных озёр, водохранилищ и рек, что, в свою очередь требует разработки математического описания, позволяющего дополнительно учесть значения объёмов и для малых озёр

Общий объём озёр и водохранилищ автором предложено вычислять с помощью формулы:

$$V_{lak+res} = V_{lak+res}^L + V_{lak+res}^S \quad (12)$$

где $V_{lak+res}$ – объём всех озёр [км³];

$V_{lak+res}^L$ – объём крупных озёр [км³];

$V_{lak+res}^S$ – объём малых озёр [км³].

Воспользовавшись геометрическим определением объема, которое гласит, что в общем виде данный параметр представляет собой произведение площади объекта на его высоту, автором предложена следующая зависимость для расчёта объема малых озёр (13), в которой значение глубины, равное 0,001 м, было взято по данным из Государственного доклада о состоянии водных ресурсов, а площадь малых озёр была представлена как разница между общей суммарной площадью всех озёр и водохранилищ на рассматриваемой территории и площадью крупных озёр и водохранилищ, относящихся к рассматриваемому субъекту Федерации (14):

$$V_{lak+res}^S = A_{lak+res}^S \times 0,001 \quad (13)$$

где $V_{lak+res}^S$ – объём малых озёр [км³];

$A_{lak+res}^S$ – площадь малых озёр [км²].

$$A_{lak+res}^S = A_{lak+res} - A_{lak+res}^L \quad (14)$$

где $A_{lak+res}^S$ – площадь малых озёр [км²];

$A_{lak+res}$ – общая площадь озёр и водохранилищ [км²];

$A_{lak+res}^L$ – площадь крупных озёр и водохранилищ [км²].

Для определения значения величины объёма воды в реках использовалась эмпирическая зависимость, предложенная для расчетов научной группой под руководством Хельмса [45]:

$$V_{riv,i} = W_i \times D_i \times L_i \quad (15)$$

где V_{riv} – объём реки для i-го объекта [км³];

W_i – ширина реки для i-го объекта [м];

D_i – глубина реки для i-го объекта [м];

L_i – длина реки для i-го объекта [м].

Каждый из параметров, составляющих величину объёма воды в реке, рассчитывался в соответствии с эмпирическими соотношениями (16) - (17), предложенными Миллером и соавторами [46]:

$$W_i = aw \times Q_i^{bw} \quad (16)$$

где W_i – ширина водного объекта [м];

a_w и b_w – постоянные величины [const];

Q_i – величина среднего многолетнего расхода воды в водном объекте [км³/год].

$$D_i = ad \times Q_i^{bd} \quad (17)$$

где D_i – глубина водного объекта [м];

ad и bd – постоянные величины [const];

Q_i – величина среднего многолетнего расхода воды в водном объекте [км³/год].

Изначально, длину водного объекта предполагалось рассчитывать на основании эмпирического соотношения [47]:

$$L_i = S_b \times \sqrt{A_i} \quad (18)$$

где L_i – длина водного объекта [м];

S_b – коэффициент извилистости реки [Безразмерная величина];

A_i – площадь территории, по которой река протекает [км²].

Произведенные с использованием уравнения (18) расчёты показали, что данная зависимость не может быть применена для регионов Российской Федерации, ввиду чего автором диссертационного исследования было предложено рассчитать значение ширины реки с помощью данных о густоте речной сети. Густота речной сети (G_{riv}) представляет собой отношение длины реки к площади территории, по которой эта река протекает:

$$G_{riv} = \frac{L_{riv}}{A_{riv}} \quad (19)$$

Так как данные о площади речной сети в свободном доступе отсутствовали, автором было составлено следующее выражение:

$$A_{riv} = A_w - A_{lak+res} - A_{sw} \quad (20)$$

где A_{riv} – площадь речной сети [км²];

A_w – общая площадь водных объектов на рассматриваемой территории [км²];

$A_{lak+res}$ – площадь озёр и водохранилищ [км²];

A_{sw} – площадь болот [км²].

Выразив L_{riv} из соотношения (19) и подставив полученное выражение для расчета площади речной сети (20), было получено уравнение для расчета длины реки с помощью данных о густоте речной сети (21):

$$L_{riv} = (A_w - A_{lak+res} - A_{sw}) \times G_{riv} \quad (21)$$

Коэффициент переноса фосфора, связанный с антропогенными процессами $k_{use,j}$ (1/день), может быть выражен с помощью коэффициента удаления за счет трансграничного переноса, k_{z-z+1}^{transb} (1/день) как описано в [48]:

$$k_{use} = (1 - f_{DITW}) \times k_{transb}^{z \rightarrow z+1} \times (1 - f_{soil}) \quad (22)$$

где k_{use} - коэффициент переноса фосфора, связанный с антропогенными процессами [1/год];

f_{DITW} - доля общего объема воды, используемого для бытовых и промышленных нужд [Безразмерная величина];

f_{soil} - доля общего фосфора, переносимого из почвы в пресную воду [Безразмерная величина];

$k_{transb}^{z-1 \rightarrow z}$ - коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса из предстоящего объекта [1/год].

Как известно фосфор, входящий в состав удобрений, не может усваиваться растениями на 100 %, вследствие чего он аккумулируется в почве. Так как в естественных условиях процессы эрозии и выщелачивания почв протекают при достаточной низких показателях скорости - около 30 % фосфорсодержащих соединений накапливается в почве [49], что учитывает в себе безразмерный коэффициент f_{soil} .

Значения соотношения $f_{DITW,j}$ долей общего объема воды, который используется в бытовых и промышленных целях было взято из статьи [50] и приведены в таблице 4. Основываясь на анализе данных, используемых для расчёта уровня антропогенной фосфорной нагрузки, можно сделать вывод о том, что субъекты Сибирского и Дальневосточного федеральных округов имеют самый высокий показатель водообеспеченности. К регионам с низкими значениями водообеспеченности относятся субъекты, входящие в состав Южного и Северо-

Кавказского федеральных округов, для которых характерно использование больших объёмов воды на орошение из-за климатических особенностей этих регионов. Как можно заметить, более 50 % от общего объёма потребляемой воды расходуется на производственные нужды.

Таблица 4. Целевые прогнозные показатели по важнейшим направлениям развития водного хозяйства страны в соответствии с Водной стратегией РФ

Показатели	Южный	Северо-западный	Приволжский	Сибирский	Уральский	Центральный	Дальневосточный
Доля использования оборотой воды в производстве – Коб, %	35*	48	81	72	94	86	84
Доля потребления свежей воды: на производственные нужды, %	27+50**	87	71	75	55	61	66
Хозяйственно-питьевые нужды, %	9	11	22	17	31	34	29
*Определено с учетом расхода свежей воды на орошение. ** Доля расхода свежей воды на орошение							

Коэффициент переноса фосфора, связанный с естественными процессами, описывает два основных процесса: поглощение фосфора из биомассы и его адсорбция взвешенными частицами с последующим их физическим осаждением [51]. Общий коэффициент удержания (k_{ret}) является средневзвешенной по объему величиной скоростей удаления общего фосфора в водных системах, как показано в уравнении 23. Данные коэффициенты удаления были приняты из модели SPARROW [23], откалиброванной для прогнозирования содержания количества фосфора в индивидуальных потоках. Хотя параметры SPARROW были получены для водных объектов, расположенных на территории США, калибровка модели включает в себя широкое разнообразие потоков, озерных и климатических условий, встречающихся и на других континентах. Стоит отметить, что данные

коэффициенты могут давать недостоверные значения при использовании в средах, которые не являются преобладающими в США, например, таких как тропические экосистемы.

$$k_{ret} = \frac{1}{V} \times ((V_{riv} \times k_{ret,riv}) + (A_{lak+res} \times v_f)) \quad (23)$$

где k_{ret} – коэффициент переноса фосфора, связанный с естественными процессами [год⁻¹];

V – общий объем воды в i -том объекте [км³];

V_{riv} – объем рек в i -том объекте [км³];

$A_{lak+res}$ – площадь озер и водохранилищ [км²].

Значения величин общего объёма воды (V), объёма рек (V_{riv}) и площади озёр и водохранилищ ($A_{lak+res}$) для каждого субъекта Российской Федерации были рассчитаны на этапе определения величины коэффициента удаления фосфора за счёт трансграничного переноса $k_{transb}^{z \rightarrow z+1}$.

2.5. Порядок расчёта миграции фосфора в атмосфере и донных отложениях

Поступление фосфора в атмосферу обусловлено точечными источниками (S_{tot}^a) различных видов, и может быть определено с помощью следующего балансового уравнения (24):

$$\Delta X_3 = S_{tot}^a + k_{dust}^T \times X_1 - k_{dust}^a \times X_3 - k_{dust}^w \times X_3 \quad (24)$$

где ΔX_3 – ежегодный глобальный прирост содержания фосфора в атмосфере [кг/год];

S_{tot}^a – суммарное поступление от всех источников в атмосферу [кг/год];

X_1 – масса фосфора в почве [кг];

k_{dust}^T – коэффициент переноса фосфора с пылью [1/год];

X_3 – масса фосфора в атмосфере [кг];

k_{dust}^a – коэффициент переноса фосфора с пылью из атмосферы на поверхность суши [1/год];

k_{dust}^w – коэффициент переноса фосфора с пылью из атмосферы в водные объекты [1/год].

Разность $(k_{dust}^a - k_{dust}^w)$ в правой части уравнения (24) была определена на основе сведений о глобальной миграции Р из почвы в атмосферу – $4,2 \cdot 10^{12}$ г/год, из которых $3,2 \cdot 10^{12}$ г/год возвращается в почву в виде взвешенных частиц [52] и $1 \cdot 10^{12}$ г/год переносится в океан [39]. Величина поступления общего фосфора в форме взвешенных частиц рассчитывалась для каждого субъекта Российской Федерации через отношение площади исследуемой территории к общей площади поверхности суши.

Предложенный порядок расчёта миграции фосфора в атмосфере, базируется на описании процессов естественного выветривания фосфорсодержащих пород, а также переноса взвешенных частиц в различные водные объекты, в том числе Мировой океан, что обеспечивает дополнительную детализацию компонентов, отвечающих за формирование антропогенной фосфорной нагрузки.

Переход фосфорных соединений в донные отложения является составной частью процесса миграции фосфора в водных объектах. Для определения количества фосфора, переходящего из водных объектов в донные отложения автором предложено использовать балансовое уравнение (25):

$$\Delta X_4 = k_{ret} \times X_2 \quad (25)$$

где ΔX_4 – ежегодный глобальный прирост содержания фосфора в донных отложениях [кг/год];

X_2 – масса фосфора в следующем водном объекте [кг];

k_{ret} – коэффициент переноса фосфора, связанный с естественными процессами [1/год].

Необходимо отметить, что при составлении порядка расчёта миграции фосфора в донных отложениях количественные данные процесса физико-химического осаждения соединений фосфора совместно с соединениями железа, с последующим образованием нерастворимых комплексных соединений, в рамках решаемой задачи по проведению глобальной оценки антропогенной фосфорной нагрузки, является малозначительным уточнением, при введении которого в расчёт конечная величина антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты остаётся неизменной.

2.6. Порядок поиска, сбора и анализа первичных данных при проведении расчётов антропогенной фосфорной нагрузки

Для проведения расчётов по предложенной автором методике оценки антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты изначально производился поиск, сбор и анализ первичных данных, включающих в себя значения общих объёмов доступной воды в субъектах федерации, площади и объёмов водно-болотных угодий, длин рек и других подобных параметров. Из-за значительного расхождения значений данных об одной и той же величине, представленных в разных источниках информации, в качестве наиболее достоверных автором были выбраны государственные доклады, статистические отчёты, а также отчёты о деятельности профильных министерств по указанной тематике. На рисунке 4 представлен порядок поиска, сбора и анализа первичных данных, необходимых для расчета фосфорной нагрузки на субъекты Российской Федерации.

В качестве наиболее достоверных, в рамках проводимого исследования, выбраны данные статистического ежегодника, формируемые Федеральной службой государственной статистики (Росстат) [35]. При отсутствии необходимых первичных данных в статистическом ежегоднике и банке готовых документов автором производился поиск в различных государственных докладах, например, среднее многолетнее значение водных ресурсов для каждого субъекта было взято из Государственного доклада «О состоянии и использовании водных ресурсов в Российской Федерации» [53]. При нехватке найденных в вышеперечисленных источниках данных поиск продолжался в отчетах профильных министерств, таких как Министерство природных ресурсов РФ и Министерство сельского хозяйства РФ. Для поиска специфических данных автор исследования обращался к различным научным статьям и докладам, поиск общедоступной информации осуществлялся в различных энциклопедиях и книжных изданиях. Информационные порталы в сети «Интернет» использовались автором только в случаях отсутствия необходимых первичных данных в ранее описанных

источниках, так как данные порталы представляют собой наименее достоверные из представленных источников информации.



Рисунок 4 - Порядок поиска, сбора и анализа первичных данных

По итогам проведённого поиска первичные данные агрегировались с использованием таблиц Microsoft Excel для каждого субъекта Федерации и анализировались на предмет возможности их использования при расчёте антропогенной фосфорной нагрузки. Все параметры, используемые для расчёта, приводились к одинаковым единицам измерения в соответствии с системой СИ.

Из-за большого количества параметров, необходимых при проведении оценки антропогенной фосфорной нагрузки для одного субъекта Российской Федерации, автором предложено сформировать базу данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации, включающую в себя значения всех расчётных значений для всех регионов страны. Часть базы данных, сформированная для Приволжского

федерального округа, приведена в качестве примера в таблице 5, в полном объёме база данных приведена в приложении 3. Также необходимо отметить, что разработанная автором база данных официально зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС), что подтверждается Свидетельством о государственной регистрации базы данных RU 2021622068, 04.10.2021. Заявка № 2021621846 от 03.09.2021.

После того, как все необходимые для оценки антропогенной фосфорной нагрузки данные найдены, обработаны и могут быть использованы, в соответствии с разделами 2.3 – 2.4 диссертационного исследования, производится расчёт количества общего фосфора, поступающего в водные объекты рассматриваемого субъекта Российской Федерации на момент 2019 года. В качестве примера представлен подробный расчёт количества фосфора для Тверской области.

Необходимо отметить, что при расчёте значений антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты использовался ряд допущений, в том числе: химическое вещество, попадая в компонент окружающей среды, распределяется в нем мгновенно и равномерно; свойства компонентов окружающей среды считаются постоянными. Также при расчётах использован ряд констант, перечень и значения которых приведены в таблице 6.

Таблица 5. Фрагмент базы данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, представленная для Приволжского федерального округа

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднего-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водоемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ A lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Ariv, (км ²)	% площади водоемов от общей территории
Приволжский федеральный округ	1,04E+06	271,3	406980	141,5	33574	8974	19235,89	5364	3,2%
Республика Башкортостан	1,43E+05	34,2	57400	5,2	2006	507,00	554,00	945	1,4%
Республика Марий Эл	2,34E+04	110,4	6100	9,1	1193,4	328,00	733,40	132	5,1%
Республика Мордовия	2,61E+04	4,9	9300	0,1	367	159	52,3	156	1,4%
Республика Татарстан	6,78E+04	229,6	24200	29,0	5048	478	4378,7	191	7,4%
Удмуртская Республика	4,21E+04	63,3	20400	0,9	705	151	165	389	1,7%
Чувашская Республика	1,83E+04	119	9100	6,0	537	52	371,3	114	2,9%
Пермский край	1,60E+05	56	105500	22,0	7694	3698	3210,9	785	4,8%
Кировская область	1,20E+05	40	66600	0,4	2513	1334	152,6	1026	2,1%
Нижегородская область	7,66E+04	105,8	33000	2,8	2857	1229	773,9	854	3,7%
Оренбургская область	1,24E+05	12,7	21200	4,0	1266	152	691	423	1,0%
Пензенская область	4,34E+04	5,6	15300	0,8	556	135	227,9	193	1,3%
Самарская область	5,36E+04	236,8	6500	13,2	2680	420	1867	393	5,0%
Саратовская область	1,01E+05	241,5	12300	22,1	3771	192	2625,7	953	3,7%
Ульяновская область	3,72E+04	231,2	10300	20,9	2392	104	2029,97	258	6,4%

Наименование параметра							
Регион	Ширина рек W_{riv} , (км)	Усредненная глубина рек D , (км)	Объем рек V_{riv} , (км ³)	Общий объем воды V , (км ³)	k_{adv} , (1/год)	k_{ret} , (1/год)	k_{use} , (1/год)
Приволжский федеральный округ	0,0132	0,0083	44,35	187	1,45	2,47	0,09
Республика Башкортостан	0,0165	0,0038	3,63	9	3,85	2,66	0,24
Республика Марий Эл	0,0216	0,0059	0,78	10	11,17	1,38	0,69
Республика Мордовия	0,0167	0,0019	0,29	0	11,20	4,59	0,69
Республика Татарстан	0,0079	0,0078	1,49	31	7,52	2,20	0,46
Удмуртская Республика	0,0191	0,0048	1,88	3	23,06	3,84	1,42
Чувашская Республика	0,0125	0,0061	0,69	7	17,74	1,22	1,09
Пермский край	0,0074	0,0046	3,62	26	2,15	2,33	0,13
Кировская область	0,0154	0,0041	4,18	5	8,47	4,34	0,52
Нижегородская область	0,0259	0,0058	4,98	8	13,33	4,12	0,82
Оренбургская область	0,0200	0,0027	1,13	5	2,46	2,82	0,15
Пензенская область	0,0126	0,0020	0,38	1	4,70	4,06	0,29
Самарская область	0,0605	0,0079	3,09	16	14,52	2,42	0,89
Саратовская область	0,0775	0,0079	7,55	30	8,15	2,35	0,50
Ульяновская область	0,0251	0,0078	2,01	23	10,08	1,61	0,62

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f^AG
Приволжский федеральный округ	0,25	1,06E-03	1,06E+05	55078,2	5,51E+05	22,835	2283,5	1,26E+09	6,96E-03
Республика Башкортостан	0,15	5,02E-05	5,02E+03	7332,7	7,33E+04	15,735	1573,5	1,15E+08	9,59E-04
Республика Марий Эл	0,08	5,58E-05	5,58E+03	774,7	7,75E+03	14,535	1453,5	1,13E+07	1,57E-04
Республика Мордовия	0,06	2,47E-06	2,47E+02	1655,8	1,66E+04	49,835	4983,5	8,25E+07	1,75E-04
Республика Татарстан	0,10	1,72E-04	1,72E+04	4546,1	4,55E+04	47,735	4773,5	2,17E+08	4,55E-04
Удмуртская Республика	0,04	1,55E-05	1,55E+03	1842,4	1,84E+04	16,435	1643,5	3,03E+07	2,83E-04
Чувашская Республика	0,05	3,79E-05	3,79E+03	1035,3	1,04E+04	32,535	3253,5	3,37E+07	1,23E-04
Пермский край	0,22	1,47E-04	1,47E+04	2840	2,84E+04	16,135	1613,5	4,58E+07	1,08E-03
Кировская область	0,08	2,67E-05	2,67E+03	3320,5	3,32E+04	25,935	2593,5	8,61E+07	8,08E-04
Нижегородская область	0,05	4,48E-05	4,48E+03	3111,7	3,11E+04	31,135	3113,5	9,69E+07	5,14E-04
Оренбургская область	0,18	2,92E-05	2,92E+03	10818,1	1,08E+05	3,435	343,5	3,72E+07	8,31E-04
Пензенская область	0,11	6,73E-06	6,73E+02	3040,8	3,04E+04	40,735	4073,5	1,24E+08	2,91E-04
Самарская область	0,06	9,22E-05	9,22E+03	3998,9	4,00E+04	20,835	2083,5	8,33E+07	3,60E-04
Саратовская область	0,09	1,67E-04	1,67E+04	8553,5	8,55E+04	6,035	603,5	5,16E+07	6,79E-04
Ульяновская область	0,08	1,30E-04	1,30E+04	2207,7	2,21E+04	24,535	2453,5	5,42E+07	2,50E-04

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей $f^{\wedge}g_{agr}$	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	ΔX_1 , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Приволжский федеральный округ	1,15E-02	1,39E+08	6,96E+06	1,15E+08	20919	7777	3300
Республика Башкортостан	1,53E-03	1,92E+07	9,59E+05	1,53E+07	2421	1208	349,5
Республика Марий Эл	1,61E-04	3,14E+06	1,57E+05	1,61E+06	225,8	323,4	159,8
Республика Мордовия	3,45E-04	3,50E+06	1,75E+05	3,45E+06	946,9	305,5	90,1
Республика Татарстан	9,47E-04	9,10E+06	4,55E+05	9,47E+06	3366	1316	357
Удмуртская Республика	3,84E-04	5,65E+06	2,83E+05	3,84E+06	609,8	502,9	193
Чувашская Республика	2,16E-04	2,46E+06	1,23E+05	2,16E+06	554,2	580,3	143,4
Пермский край	5,92E-04	2,15E+07	1,08E+06	5,92E+06	364,7	541,7	227,3
Кировская область	6,92E-04	1,62E+07	8,08E+05	6,92E+06	671,2	235,1	104
Нижегородская область	6,48E-04	1,03E+07	5,14E+05	6,48E+06	1133	837	354
Оренбургская область	2,25E-03	1,66E+07	8,31E+05	2,25E+07	2544	288,5	211,7
Пензенская область	6,34E-04	5,83E+06	2,91E+05	6,34E+06	1265	559,8	203,8
Самарская область	8,33E-04	7,20E+06	3,60E+05	8,33E+06	2070	489,1	343,4
Саратовская область	1,78E-03	1,36E+07	6,79E+05	1,78E+07	3683	377,8	455,6
Ульяновская область	4,60E-04	5,00E+06	2,50E+05	4,60E+06	1064	211,3	107

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Нр, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Приволжский федеральный округ	1,00E+08	5,94E+06	2,47E+06	1,09E+08	1,17E+09	29739	1,87E+07	2260,6	3,34E+02
Республика Башкортостан	1,16E+07	9,23E+05	2,61E+05	1,28E+07	1,06E+08	4070	2,56E+06	263,2	3,89E+01
Республика Марий Эл	1,08E+06	2,47E+05	1,19E+05	1,45E+06	1,12E+07	688	4,33E+05	256,5	3,79E+01
Республика Мордовия	4,55E+06	2,33E+05	6,74E+04	4,85E+06	7,75E+07	812	5,12E+05	233,7	3,45E+01
Республика Татарстан	1,62E+07	1,01E+06	2,67E+05	1,74E+07	1,99E+08	3838	2,42E+06	349,1	5,16E+01
Удмуртская Республика	2,93E+06	3,84E+05	1,44E+05	3,46E+06	2,84E+07	1517	9,56E+05	130,4	1,93E+01
Чувашская Республика	2,66E+06	4,43E+05	1,07E+05	3,21E+06	3,06E+07	1240	7,81E+05	84,3	1,25E+01
Пермский край	1,75E+06	4,14E+05	1,70E+05	2,34E+06	5,80E+07	2636	1,66E+06	69,8	1,03E+01
Кировская область	3,22E+06	1,80E+05	7,78E+04	3,48E+06	9,11E+07	1311	8,26E+05	54,4	8,04E+00
Нижегородская область	5,44E+06	6,40E+05	2,65E+05	6,35E+06	9,38E+07	3281	2,07E+06	119,2	1,76E+01
Оренбургская область	1,22E+07	2,20E+05	1,58E+05	1,26E+07	1,78E+07	2009	1,27E+06	134,2	1,98E+01
Пензенская область	6,08E+06	4,28E+05	1,52E+05	6,66E+06	1,16E+08	1361	8,57E+05	292,3	4,32E+01
Самарская область	9,94E+06	3,74E+05	2,57E+05	1,06E+07	7,13E+07	3211	2,02E+06	106,7	1,58E+01
Саратовская область	1,77E+07	2,89E+05	3,41E+05	1,83E+07	2,84E+07	2497	1,57E+06	120,5	1,78E+01
Ульяновская область	5,11E+06	1,61E+05	8,00E+04	5,35E+06	4,90E+07	1268	7,99E+05	46,3	6,84E+00

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Sof, (кг/год)
Приволжский федеральный округ	3,77E+06	7,12E+07	7,72E+02	4,93E+06	1,66E+07	1035,196	5E+07	1,41E+07	1,02E+08
Республика Башкортостан	4,38E+05	8,29E+06	8,99E+01	5,74E+05	1,93E+06	120,527061	5845390	1,64E+06	1,19E+07
Республика Марий Эл	4,27E+05	8,08E+06	8,76E+01	5,59E+05	1,88E+06	117,458933	5696590,1	1,60E+06	1,15E+07
Республика Мордовия	3,89E+05	7,36E+06	7,98E+01	5,10E+05	1,71E+06	107,018139	5190226,6	1,45E+06	1,05E+07
Республика Татарстан	5,81E+05	1,10E+07	1,19E+02	7,61E+05	2,56E+06	159,86321	7753136,9	2,17E+06	1,57E+07
Удмуртская Республика	2,17E+05	4,11E+06	4,45E+01	2,84E+05	9,56E+05	59,7140149	2896044,3	8,11E+05	5,87E+06
Чувашская Республика	1,40E+05	2,65E+06	2,88E+01	1,84E+05	6,18E+05	38,6034621	1872212,7	5,24E+05	3,80E+06
Пермский край	1,16E+05	2,20E+06	2,38E+01	1,52E+05	5,12E+05	31,9634834	1550183,2	4,34E+05	3,14E+06
Кировская область	9,06E+04	1,71E+06	1,86E+01	1,19E+05	3,99E+05	24,9113682	1208165,7	3,38E+05	2,45E+06
Нижегородская область	1,99E+05	3,75E+06	4,07E+01	2,60E+05	8,74E+05	54,5852038	2647304,3	7,41E+05	5,37E+06
Оренбургская область	2,24E+05	4,22E+06	4,58E+01	2,93E+05	9,83E+05	61,4541472	2980438,2	8,35E+05	6,04E+06
Пензенская область	4,87E+05	9,20E+06	9,98E+01	6,38E+05	2,14E+06	133,852811	6491669,8	1,82E+06	1,32E+07
Самарская область	1,78E+05	3,36E+06	3,64E+01	2,33E+05	7,82E+05	48,8610843	2369692,7	6,64E+05	4,80E+06
Саратовская область	2,01E+05	3,79E+06	4,11E+01	2,63E+05	8,83E+05	55,1805122	2676175,9	7,49E+05	5,43E+06
Ульяновская область	7,71E+04	1,46E+06	1,58E+01	1,01E+05	3,39E+05	21,2021387	1028273,4	2,88E+05	2,08E+06

	Наименование параметра				
Регион	X2, (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Приволжский федеральный округ	3,20E+08	1,72	1,79	4,22	4,41
Республика Башкортостан	1,78E+07	2,00	2,11	1,77	1,82
Республика Марий Эл	1,75E+06	0,18	0,16	3,14	0,91
Республика Мордовия	5,37E+06	12,29	10,75	3,93	2,57
Республика Татарстан	2,13E+07	0,70	0,62	4,04	3,71
Удмуртская Республика	1,24E+06	0,45	0,44	0,34	0,41
Чувашская Республика	1,76E+06	0,26	0,23	1,58	1,14
Пермский край	1,36E+07	0,52	0,54	1,00	1,19
Кировская область	7,08E+06	1,50	1,40	0,68	0,80
Нижегородская область	5,54E+06	0,70	0,64	1,08	0,94
Оренбургская область	4,63E+06	0,90	2,29	0,93	1,30
Пензенская область	1,44E+07	12,10	11,30	5,06	4,27
Самарская область	4,38E+06	0,27	0,26	1,14	1,08
Саратовская область	3,21E+06	0,11	0,18	0,53	0,73
Ульяновская область	4,21E+06	0,18	0,17	1,55	1,43

Таблица 6. Константы для расчёта миграции фосфора в компонентах биосферы

	Приволжский федеральный округ	Северо-западный федеральный округ	Центральный федеральный округ	Уральский федеральный округ	Сибирский федеральный округ	Южный федеральный округ	Северо-кавказский федеральный округ	Дальневосточный федеральный округ
Обозначение константы	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Коэффициент ad ($\text{км}^{-0,11} * \text{год}^{0,37}$)	0,00104							
Коэффициент bd	0,37							
$k_{ret, riv}$ (год^{-1})	4							
Коэффициент $V f$ ($\text{км}/\text{год}$)	0,01387							
f_{WTA}	1							
f_{soil}	0,12							
k_p , $\text{кг}/\text{год}$	0,9							
k_t	0,7							
k_f рог скот, $\text{кг}/\text{год}$	18,9							
k_f свиньи, $\text{кг}/\text{год}$	3,36							
k_f куры, $\text{кг}/\text{год}$	0,28							
Доля промышленного использования водных ресурсов, (%)	71	87	61	55	75	77	61	66
Доля хоз.-пит. использования водных ресурсов, (%)	22	11	34	31	17	9	34	29

2.7. Проведение расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на примере Тверской области

Общая площадь территории Тверской области по данным Федеральной службы государственной статистики составляет 84 200 км², из которых 24 198 км² относятся к территориям сельскохозяйственного назначения. Основываясь на данных Статистического ежегодника [54] о количестве вносимых минеральных удобрений, равное 973,5 кг/км², рассчитать значение величины S_{fer}^s (кг/год) для Тверской области можно следующим образом:

$$S_{fer}^s = A_{agr} \times Ad_{fer} = 24\,198 \times 973,5 = 23,56 \times 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

За 2019 год в почвы Тверской области при использовании минеральных удобрений было внесено $23,56 \times 10^6$ кг фосфора, некоторая часть которого попадёт в гидросферу, а другая часть – останется в почве. Для определения величины ежегодного глобального прироста фосфора в почве необходимо вычислить величину отношения сельскохозяйственных территорий исследуемого региона к общей поверхности сельскохозяйственных земель в мире:

$$f_{agr}^G = \frac{24\,198}{4,80 \times 10^9} = 5,04 \times 10^{-6}.$$

После чего, умножением полученного значения на общемировой ежегодный глобальный прирост фосфора в сельскохозяйственных почвах и получаем:

$$\Delta X_1 = 1 \times 10^{10} \times f_{agr}^G = 1 \times 10^{10} \times 5,04 \times 10^{-6} = 5,04 \times 10^4 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

Для вычисления количества фосфора, поступающего в водные объекты Тверской области при выветривании, рассчитывается доля территории региона от общей поверхности суши:

$$f_i^G = \frac{84\,200}{148940000} = 5,65 \times 10^{-4},$$

после чего определяется значение параметра S_{den}^s :

$$S_{den}^s = f_i^G \times 2 \times 10^{10} = 5,65 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{10} = 1,13 \times 10^7 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

На основании рассчитанного значения f_i^G определяется величина переноса фосфора с пылью в атмосферу:

$$k_{dust}^T = f_i^G \times 10^9 = 5,65 \times 10^{-4} \times 10^9 = 5,65 \times 10^5 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

В Тверской области $5,65 \times 10^5$ кг фосфора переносится с пылью в атмосферу в течение рассматриваемого года.

Для количественной оценки выноса фосфора за пределы водосбора с собранным урожаем необходимо иметь данные об урожайности сельскохозяйственных культур региона, а также о площадях, занятых различными видами сельскохозяйственных культур. При отсутствии данных об урожайности сельскохозяйственных культур и занимаемых ими площадях, автором предложено использовать значения валового сбора продукции по субъектам Российской Федерации, которые приравниваются к величине произведения урожайности и площадь. Значения коэффициента выноса химического вещества с растительной массой урожая для различных сельскохозяйственных культур, приводятся авторами работ [24, 25] для соединения оксида фосфора (V), из чего следует необходимость пересчёта представленных значений коэффициентов на элементарный фосфор. Значения коэффициента выноса химического вещества с растительной массой урожая в пересчёте на элементарный фосфор, приведены в таблице 7.

Таблица 7. Значения коэффициента выноса биогенных веществ сельскохозяйственными культурами в пересчёте на элементарный фосфор (k_s , кг/ц)

№ п/п	Сельскохозяйственная культура	k_s , (кг/ц)
1	Зерно	0,48
2	Картофель	0,08
3	Овощи	0,07

Количество фосфора, выносимого за пределы водосбора с растительной массой урожая, вычислялось с использованием следующего выражения:

$$\begin{aligned}
& \sum k_s \times U_s \times A_s = \sum k_s \times C_s \\
& = (0,48 \times 12,21 \times 10^5) + (0,08 \times 28,22 \times 10^5) + (0,07 \times 5,35 \times 10^5) \\
& = 8,42 \times 10^5 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).
\end{aligned}$$

где C_s – валовый сбор s-вида урожая в данном регионе (кг).

Величину поступления фосфора в пресную воду Тверской области находим, подставляя полученные числа в следующее выражение:

$$\begin{aligned}
k_{ter} \times X_1 &= S_{fer}^s + S_{den}^s - k_{dust}^T \times X_1 - \sum k_s \times U_s \times A_s - \Delta X_1 = \\
&= 23,56 \times 10^6 + 1,13 \times 10^7 - 5,65 \times 10^5 - 8,42 \times 10^5 - 5,04 \times 10^4 \\
&= 2,84 \times 10^7 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right)
\end{aligned}$$

Для расчёта количества фосфора в пресных водах Тверской области и определения уровня антропогенной фосфорной нагрузки используются зависимости, описанные в разделе 2.4 диссертационной работы.

Данные о среднем многолетнем расходе воды, площади и объёме водоёмов, количестве жителей в области, количестве домашних животных приведены в Статистическом ежегоднике [35] и Государственном докладе о состоянии водных ресурсов [53], а величины недостающих параметров для расчётов коэффициента удаления фосфора за счёт трансграничного переноса и коэффициента переноса фосфора, связанного с антропогенными процессами взяты из статей [46, 47, 48, 51, 55].

Для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки, сформированной сточными водами муниципальных объектов, при условии отсутствия достоверных данных мониторинга, допускается производить расчёты на основании информации о численности населения рассматриваемой территории, равной 1 269 640 человек для Тверской области по данным Федеральной службы государственной статистики:

$$S_p^w = N_p \times k_p \times k_t = 1\,269\,640 \times 0,99 \times 0,7 = 0,88 \times 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

Расчёт фосфора, поступающего с органическими удобрениями, производится на основании данных о количестве голов домашних животных в рассматриваемом регионе и коэффициент эмиссии фосфора для каждого конкретного животного (Таблица 3). По данным Федеральной службы государственной статистики в 2019 году в Тверской области насчитывалось 94 170 голов крупного рогатого скота, 683 400 голов свиней и 3 187 000 голов птицы.

Таблица 3. Коэффициенты эмиссии (кг/год) $P_{\text{общ}}$ одного домашнего животного и птицы

Наименование	Коэффициент эмиссии $P_{\text{общ}}$ одного домашнего животного j-го наименования (кг/год)
Крупный рогатый скот	18,9
Свиньи	3,36
Куры	0,28

Подставив все данные в уравнение (8), получаем значение количества фосфора, поступающего с органическими удобрениями (S_{of}^w) в пресноводные объекты Тверской области:

$$S_{of}^w = \sum_j k_{fj} \times N_j = (18,9 \times 94170) + (3,36 \times 683400) + (0,28 \times 3187000) = 4,97 \times 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

Коэффициенты, описывающие скорости переноса фосфора в компонентах биосферы, рассчитывались в соответствии с уравнениями, приведенными в работах [46, 47, 48, 51, 55]. Коэффициент удаления фосфора за счёт трансграничного переноса из предыдущего объекта в исследуемый объект $k_{transb}^{z-1 \rightarrow z}$ на данном этапе работ не учитывался.

Коэффициент $k_{transb}^{z \rightarrow z+1}$ рассчитан как отношение расхода водных ресурсов $Q^{z \rightarrow z+1}$, равный 18 км³/год для Тверской области на момент 2019 года, и общего

объёма воды V на исследуемой территории, вычисленного на основании уравнений (11) – (21) и равного $9,78 \text{ км}^3$ для Тверской области

$$k_{transb}^{z \rightarrow z+1} = \left(\frac{18}{9,78} \right) = 1,84 \left(\frac{1}{\text{год}} \right),$$

Коэффициент переноса фосфора, связанный с антропогенными процессами (k_{use}), определялся на основании значений: коэффициента $k_{transb}^{z \rightarrow z+1}$; долей общего объёма воды, используемого для бытовых и промышленных нужд, равных для Тверской области 0,34 и 0,61 соответственно; а также доли общего фосфора, переносимого из почвы в пресную воду f_{soil} . Подставляя все значения в уравнение (22), получаем:

$$k_{use} = (1 - 0,61 - 0,34) \times 1,84 \times (1 - 0,12) = 0,08 \left(\frac{1}{\text{год}} \right),$$

Коэффициент переноса фосфора, связанный с естественными процессами, или ещё его можно назвать коэффициентом, описывающим скорость переноса фосфора в донные отложения k_{ret} , определяется на основании значений величины общего объёма воды V , объёма воды в реках V_{riv} , равного для Тверской области $1,94 \text{ км}^3$, и площади озёр и водохранилищ $A_{lak+res}$, составляющей $1\,842 \text{ км}^2$ для Тверской области. Подставляя известные значения в уравнение (23), получаем:

$$k_{ret} = \left(\frac{1}{9,78} \right) \times (1,94 \times 4,40) + (1842 \times 0,01) = 3,49 \left(\frac{1}{\text{год}} \right).$$

После определения значения всех коэффициентов, описывающих скорость переноса фосфора в водных объектах, и значения количества общего фосфора, попадающего в данные объекты в процессе использования минеральных и органических удобрений, на основании балансового уравнения (6) вычисляется величина параметра X_2 :

$$\begin{aligned} X_2 &= \frac{S_p^w + S_{of}^w + k_{ter} \times X_1 - \Delta X_2}{k_{transb}^{z \rightarrow z+1} + k_{use} + k_{ret}} = \\ &= \frac{0,88 \times 10^6 + 4,97 \times 10^6 + 2,84 \times 10^7 - 0,05 \times 10^5}{1,84 + 0,08 + 3,49} = 0,63 \times 10^7 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

Для оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки автором предложено сравнивать полученные значения массы фосфора, попадающего в пресноводные

объекты, с величиной планетарной границы, установленной для биогеохимического цикла фосфора и равной $11,2 \cdot 10^{12}$ г/год. Чтобы получить значение величины планетарной границы для соответствующего региона Российской Федерации общее значение планетарной границы для фосфорного цикла умножалось на отношение площади данного региона к общемировой площади суши, для Тверской области данная величина составляет $6,3 \cdot 10^6$ кг/год. Уровень антропогенной фосфорной нагрузки оценивался через отношение общей массы фосфора в пресноводных объектах (X_2) к величине планетарной границы региона, которое показывало во сколько раз превышает значение региональной границы. Для Тверской области количество фосфора, поступившего в водные объекты в 2019 году из различных источников, равно величине региональной планетарной границы, на основании чего можно сделать вывод о том, что в Тверской области уровень антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты находится в зоне безопасных значений.

Для расчёта уровня антропогенной фосфорной нагрузки было использовано 90 различных параметров, которые были рассчитаны по аналогии с Тверской областью для остальных 84 субъектов Федерации.

2.8. Выводы

1. Биогеохимический цикл фосфора описан с использованием математического аппарата в виде балансовых уравнений, включающих в себя наиболее значимые для оценки уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты процессы в различных компонентах биосферы, а также принят ряд упрощений, ограничений и констант.

2. Представлены методы расчёта миграции фосфора и его соединений в компонентах биосферы с учётом трансграничного переноса вещества, позволяющие учитывать максимально возможное количество источников поступления фосфора, что в значительной степени повышает точность получаемых в ходе расчётов результатов.

3. Сформулирован порядок поиска, сбора и анализа первичных данных необходимых для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты. Для каждого из 85 субъектов Российской Федерации было найдено и (или) рассчитано 90 различных параметров, на основании которых составлена и зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности база данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки (Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2021622068, 04.10.2021. Заявка № 2021621846 от 03.09.2021).

3. Оценка и прогнозирование уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации при различных сценариях

3.1. Оценка текущего уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации

На основании результатов расчёта уровня антропогенной фосфорной нагрузки для всех 85 субъектов Российской Федерации, автором сформирован иллюстрационный материал в виде карты России, выполненной в глобальном масштабе (рисунок 5), которая представляет собой один из возможных вариантов решения основной научно-технической задачи, поставленной в рамках проведения диссертационного исследования, по представлению данных об уровне фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации для мирового сообщества, которые могут быть использованы в рамках различных научных дискуссий и правительственных совещаний, а также могут быть использованы для подготовки докладов лиц, принимающих политические решения.

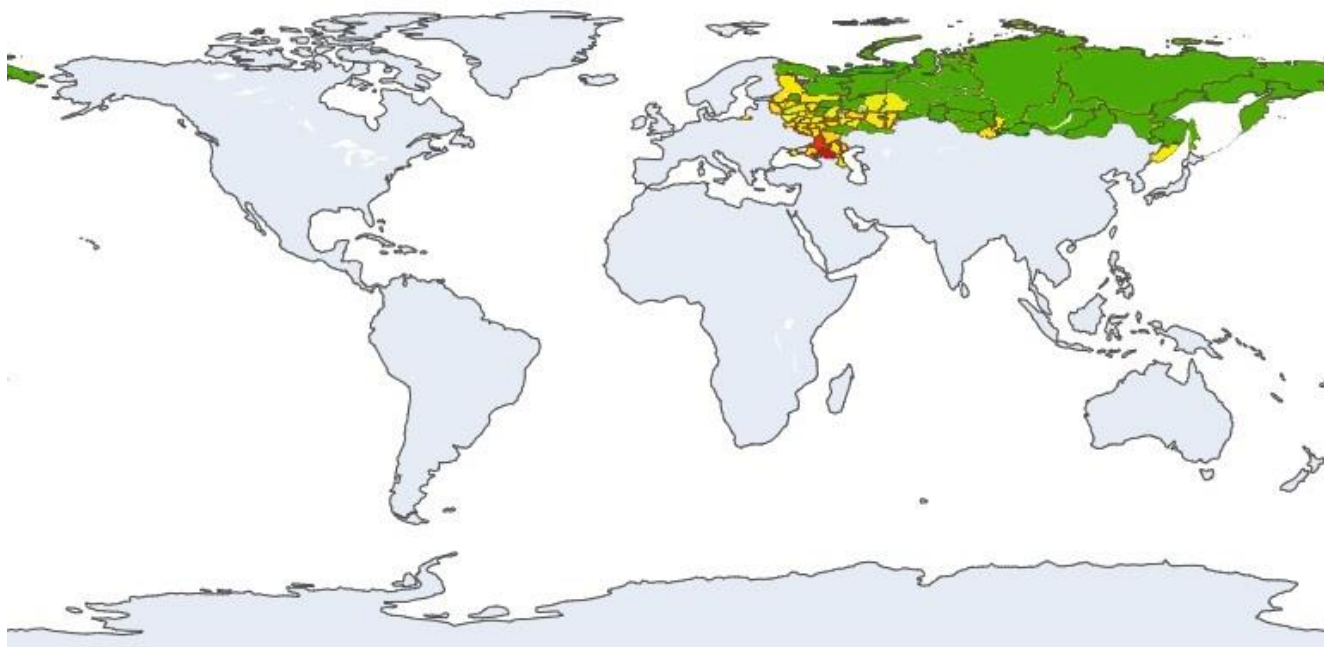


Рисунок 5 - Результаты исследования фосфорной нагрузки, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, представляющие собой дополнительные данные по субъектам РФ

Иллюстрационные материалы для визуального представления полученных результатов выполнены по аналогии с диаграммой планетарных границ [27] и имеют три типа зон: зелёная зона, в которой значение планетарной границы не превышает; жёлтая зона характеризует регионы, в которых планетарная граница превышена более чем в 10 раз; в регионах красной зоны значение планетарной границы превышено более чем в 20 раз.

По результатам расчётов, высокие уровни антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты характерны для субъектов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, а именно для Карачаево-Черкесской республики и республики Адыгея, Краснодарского и Ставропольского краёв, Ростовской области. Данные субъекты имеют достаточно низкий уровень обеспеченности пресной водой при наличии интенсивной сельскохозяйственной деятельности, которая требует дополнительного орошения почв ввиду климатических особенностей региона. По результатам расчётов самый высокий уровень фосфорной нагрузки на пресноводные объекты получен для Ставропольского края, являющегося самым крупным в стране промышленным производителем зерновых культур.

Высокие уровни антропогенной фосфорной нагрузки также получены и для регионов, входящих в состав Центрального и Северо-Западного федеральных округов, к числу которых относятся Белгородская, Калининградская, Курская, Ленинградская и Тамбовская области. Регионы, входящие в состав Дальневосточного, Сибирского и Уральского федеральных округов, имеют наиболее низкие уровни антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, так как в данных регионах находятся одни из самых крупных водных объектов в мире, которые обеспечивают высокий уровень водообеспеченности и из-за достаточно жёстких климатических условий интенсивность производства сельскохозяйственной продукции намного ниже, чем в Южном или Северо-Кавказском федеральном округах.

Значение планетарной границы, характеризующей величину биогеохимического цикла фосфора, не превышено для 37 из 85 субъектов

Российской Федерации, что составляет порядка 40 % от общего количества субъектов Федерации, следовательно, для 60 % субъектов Российской Федерации значение уровня антропогенной фосфорной нагрузки либо равняется значению планетарной границы по фосфору, либо превышает это значение в 2 и более раз.

Полученные автором результаты расчётов подтверждаются данными исследований Морского гидрофизического института РАН (г. Севастополь) о цветении Таганрогского залива, являющегося пресноводной частью Азовского моря [56]; Каспийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (г. Астрахань) о современном состоянии популяции судака в дельте Волги и северной части Каспия [57]; а также данными мониторинга, ежегодно производимого и публикуемого Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [58]. Сравнение данными мониторинга с результатами расчётов за период 2015-2019 года для Волгоградской, Мурманской и Свердловской областей, а также для Забайкальского края (рисунки 6-9).

Сравнение расчетных данных с данными мониторинга было произведено с помощью приведения полученных значений массы фосфора, попадающего в водные объекты, к значениям концентраций фосфора, выраженных в долях ПДК. Предложенная автором исследования методика оценки антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты при сравнении с данными мониторинга имеет достаточный уровень достоверности, а величина относительной погрешности составляет 32 %.

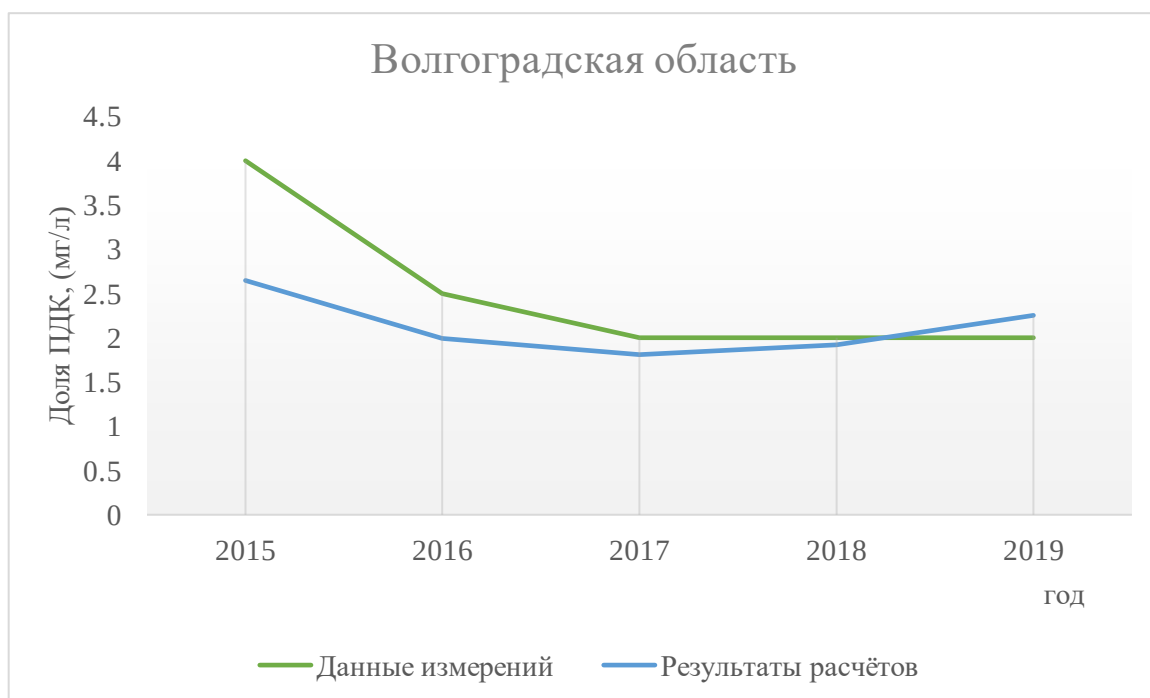


Рисунок 6 - Сравнение расчётных данных с данными мониторинга для Волгоградской области на период 2015-2019 г.



Рисунок 7 - Сравнение расчётных данных с данными мониторинга для Мурманской области на период 2015-2019 г.



Рисунок 8 - Сравнение расчётных данных с данными мониторинга для Свердловской области на период 2015-2019 г.

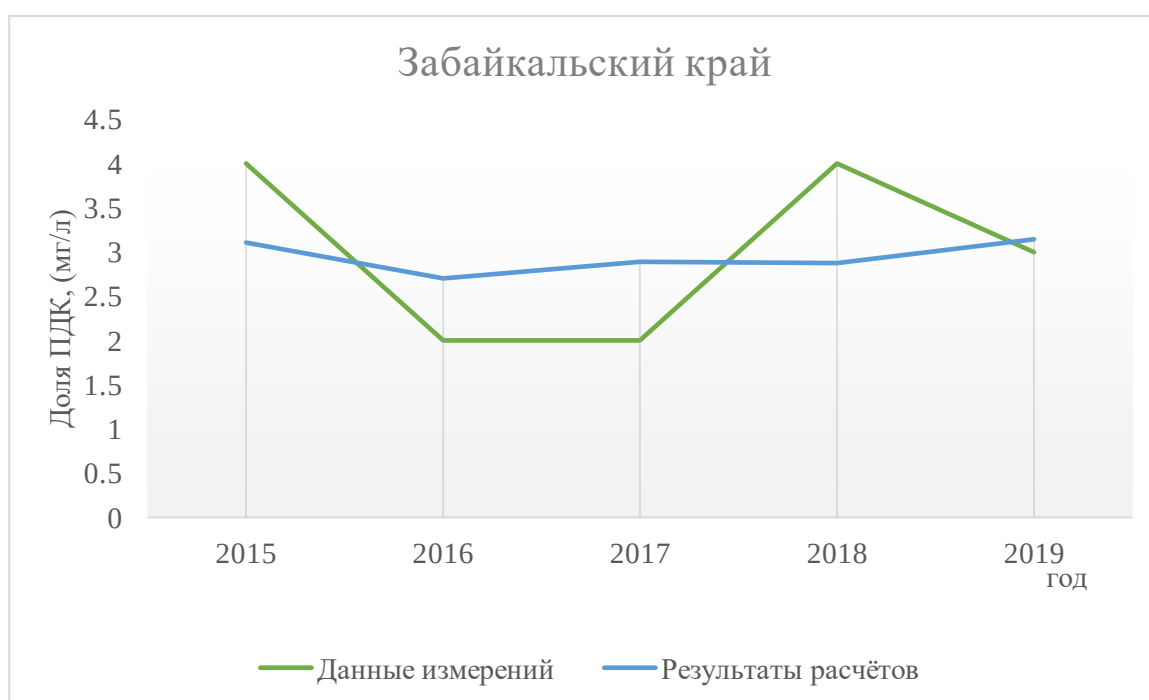


Рисунок 9 - Сравнение расчётных данных с данными мониторинга для Забайкальского края на период 2015-2019 г.

На основании исследования динамики изменения уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты в период с 2015 года по 2019 год, приведенного для каждого из субъектов Российской Федерации (рисунок 10), можно сделать вывод о том, что уровень фосфорной нагрузки в большинстве регионов остаётся неизменным, хотя в некоторых наблюдаются сдвиги как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения уровня нагрузки. Понижение уровня фосфорной нагрузки, в первую очередь, связано со снижением численности населения во многих регионах страны, из-за чего уменьшается количество фосфора, поступающего в пресноводные объекты от муниципальных предприятий, осуществляющих очистку сточных вод хозяйственно-бытового назначения. Также снижение уровня фосфорной нагрузки может быть связано с изменением объёмов производимой в регионе сельскохозяйственной продукции и перераспределении количества голов крупного рогатого скота, свиней и птицы.

Дополнительно необходимо отметить, что в 2016 году производилась большая сельскохозяйственная перепись, относительно которой данные Статистического ежегодника за 2015 год по производству продукции сельского хозяйства и животноводства, могли быть завышены производителями при подаче отчетной документации.

Значимое снижение уровня фосфорной нагрузки в период с 2015 по 2019 годы произошло в Волгоградской, Ивановской, Костромской, Новгородской, Ульяновской и Ярославской областях, а также в Республиках Марий Эл, Татарстан и Чувашия. Помимо вышеописанных причин снижения уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, уровень нагрузки может снижаться и за счёт улучшения существующих и внедрения новых технологических решений по очистке сточных вод.

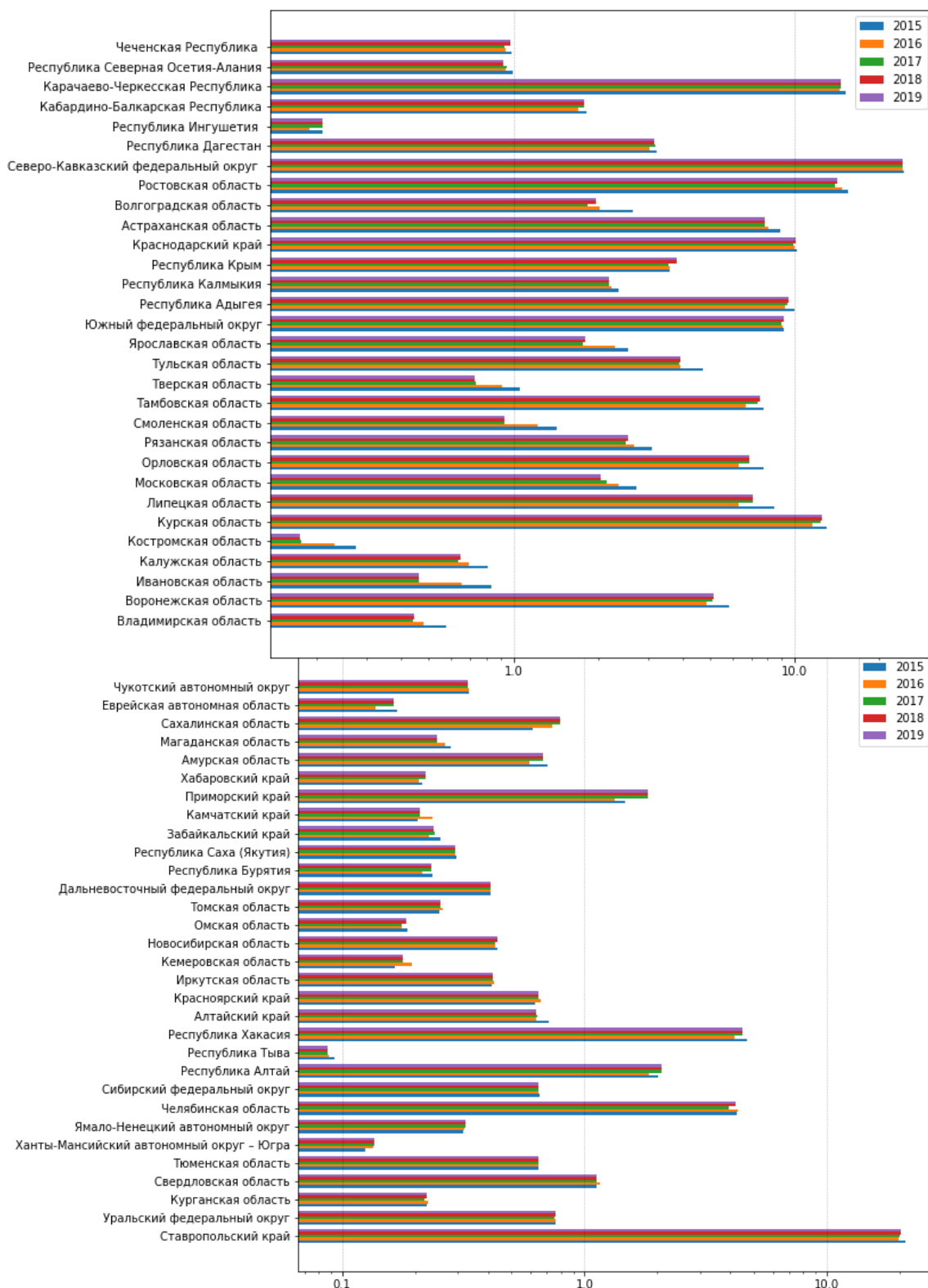


Рисунок 10 - Динамика изменения уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты в период 2015-2019 г.

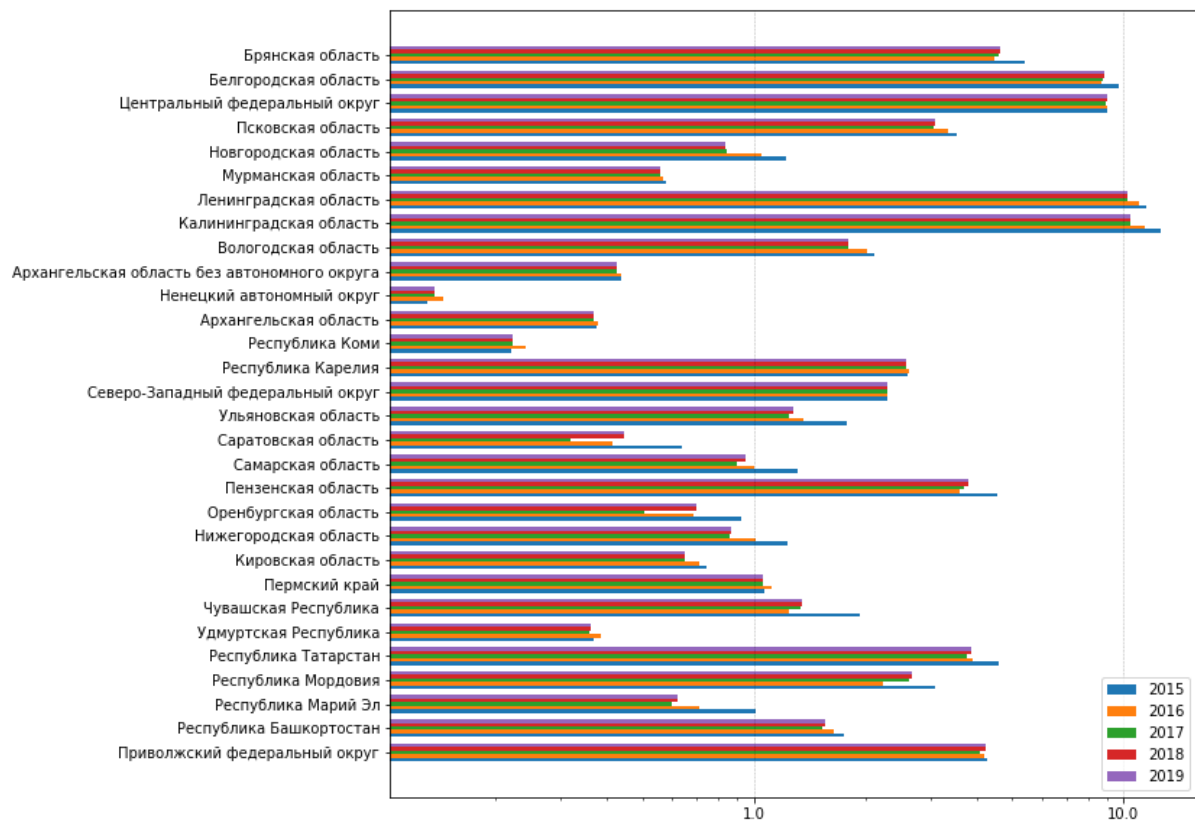


Рисунок 10 - Динамика изменения уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты в период 2015-2019 г. (Продолжение)

3.2. Прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на водные объекты Российской Федерации при увеличении потребления фосфорных удобрений на период 2030 г.

Согласно плану внесения сельскохозяйственными производителями минеральных удобрений по субъектам Российской Федерации на среднесрочный период (до 2025 года), утвержденному в соответствии со «Стратегией развития химического и нефтехимического комплекса на период 2030 года», максимальный прирост количества используемых удобрений будет иметь место в Краснодарском крае (+23%, 82 млн тонн), Ставропольском крае (+30% к уровню 2018 г., или +64 млн тонн), Тамбовской области (+40%, 50 млн тонн), Брянской области (+23%, 18 млн тонн), Республике Татарстан (+19%, 28 млн тонн), Орловской области (+23%, 23 млн тонн), Ростовской области (+13%, 35 млн тонн) [7]. Большинство из перечисленных регионов уже находятся в зоне превышения значения планетарной границы в 5 раз, а для некоторых планетарная граница превышена в 10 и более раз (рисунок 11). Увеличение объёмов потребления фосфорных удобрений в перечисленных регионах, закономерно, приведёт к повышению существующего уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, что, в свою очередь, повлечёт за собой дополнительные экономические издержки для производителей сельскохозяйственной продукции, связанные со снижением доступности пресной воды и необходимостью внедрения дополнительных этапов в существующий процесс водоподготовки из-за эвтрофирования пресноводных систем на территории этих регионов.

Для каждого субъекта Российской Федерации был произведён расчёт, соответствующий реализации дорожной карты развития производства минеральных удобрений и увеличения объёмов их использования, результаты которого представлены в виде иллюстрационного материала (рисунок 12) для сравнения с текущим уровнем фосфорной нагрузки.

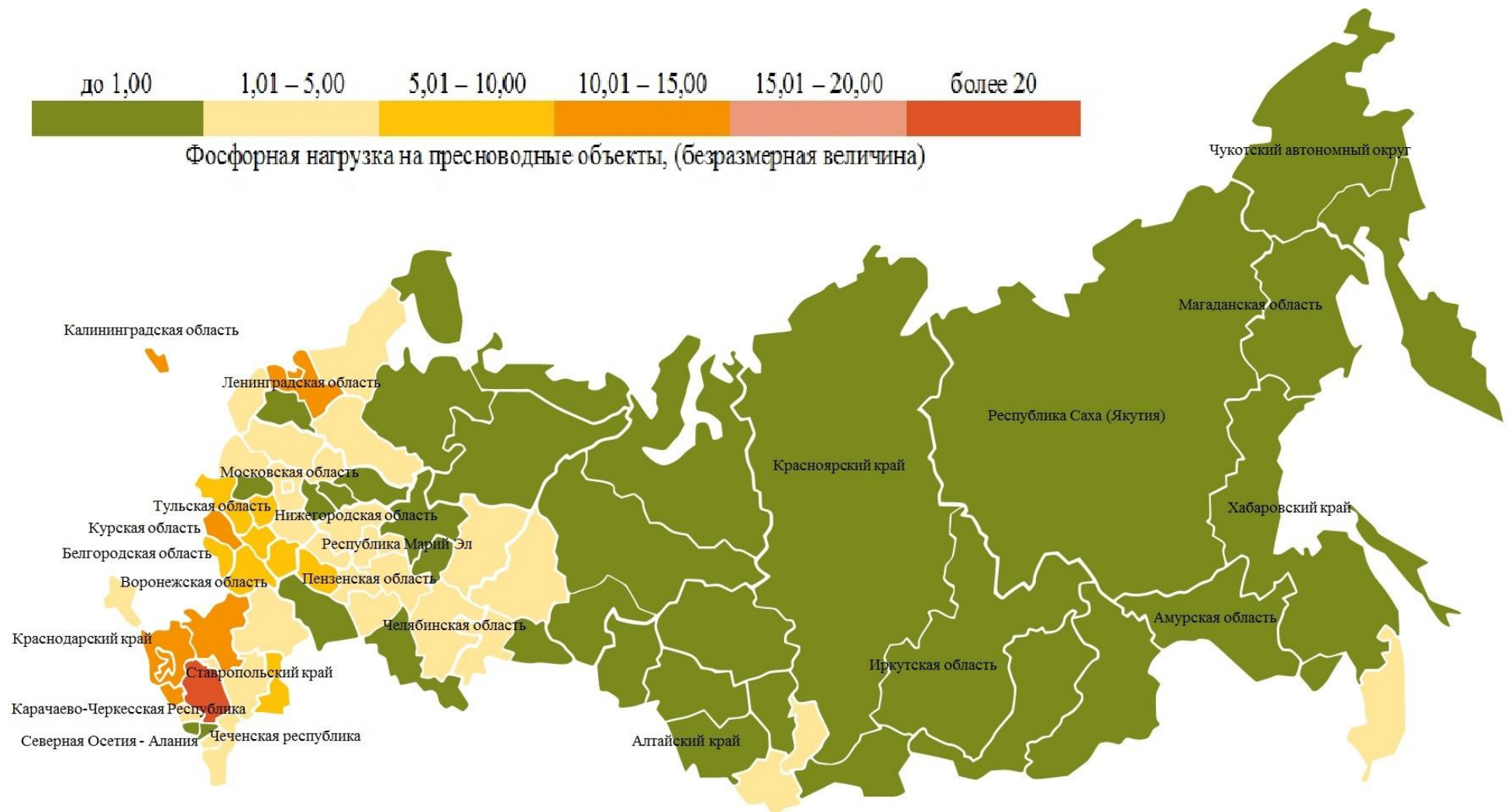


Рисунок 11 - Оценка уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации на период 2019 г.

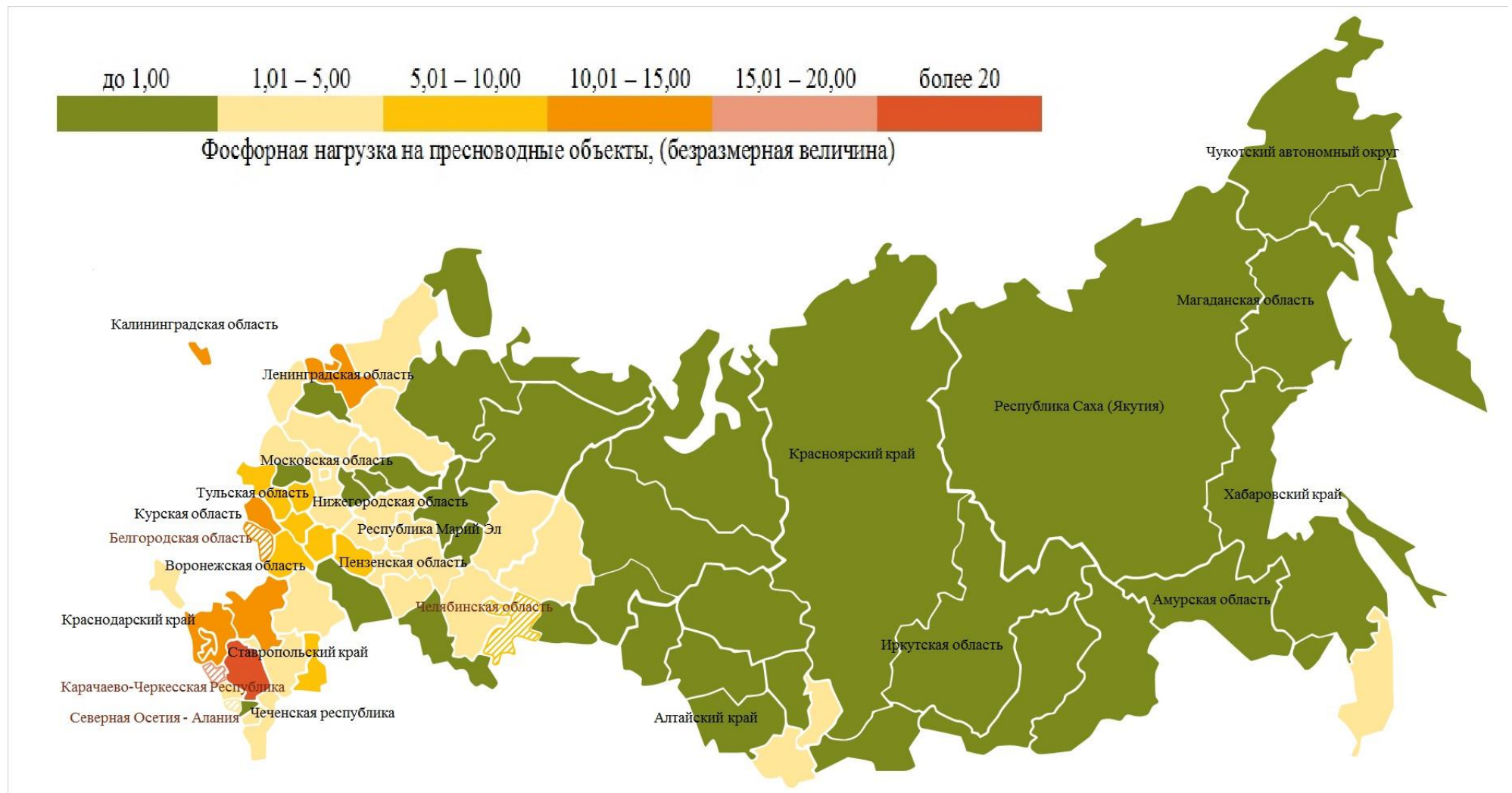


Рисунок 12 – Оценка уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации при условии повышения объёмов потребления фосфорных удобрений на период 2030 г.

Уровень фосфорной нагрузки на пресноводные объекты в значительной степени увеличится для Белгородской и Челябинской областей, а также для Карачаево-Черкесской республики и Северной Осетии. Белгородская и Челябинская области относятся к регионам с низким уровнем водообеспеченности, водные ресурсы в который, в основном, используются для обеспечения нужд промышленного сектора по добыче и переработке природного сырья. По количественному показателю качества водные объекты Челябинской области классифицируются как загрязненные и очень загрязнённые [59] из-за сброса сточных вод металлургических комплексов, не прошедших необходимые стадии очистки. В Белгородской области для большинства водных объектов характерно превышение предельно-допустимых концентраций по содержанию ионов железа. На территории Карачаево-Черкесская республики находится одно из главных водохранилищ Ставропольской обводнительно-оросительной системы, расположенной в бассейнах Кубани, Терека и Кумы [60], за счёт которого обеспечивается функционирование системы орошения для большинства регионов Северо-Кавказского федерального округа.

Превышение значений предельно-допустимых концентраций уже регистрируется в некоторых створах рек Белгородской области [61]. Повышение уровня фосфорной нагрузки более чем в 5 раз для Челябинской области и более чем в 10 раз Белгородской области приведёт к значительному ухудшению качества водных ресурсов, а также может стать одной из причин потери биоразнообразия в данных регионах.

От качества пресноводных объектов Карачаево-Черкесской республики зависят многие субъекты Северо-Кавказского федерального округа и его снижение из-за эвтрофирования водоёмов может привести к значительным экономическим издержкам, ввиду необходимости внедрения дополнительных систем очистки воды, что, в свою очередь может стать причиной удорожания сельскохозяйственной продукции, производимой в этом федеральном округе.

В качестве одного из основных решений, принятого в рамках Саммита ООН по продовольственным системам, было предложено кардинальным образом

пересмотреть планы по внесению минеральных удобрений, содержащих фосфор, и по возможности снизить уровень их использования в цепочке производства сельскохозяйственной продукции или осуществить замену на новые виды комплексных удобрений. Произведенные автором расчеты по распределению величины вкладов различных источников (рисунок 13) в формирование фосфорной нагрузки на пресноводные объекты показывают, что не только внесение минеральных удобрений может являться основной составляющей нагрузки. В некоторых субъектах Российской Федерации, таких как Белгородская, Брянская Ленинградская области и Республика Адыгея, от 10 до 20 % уровня фосфорной нагрузки формируют такие источники как органические удобрения, сточные воды и процессы естественного выветривания, а для Ленинградской области вклад этих источников составляет более 40 %.

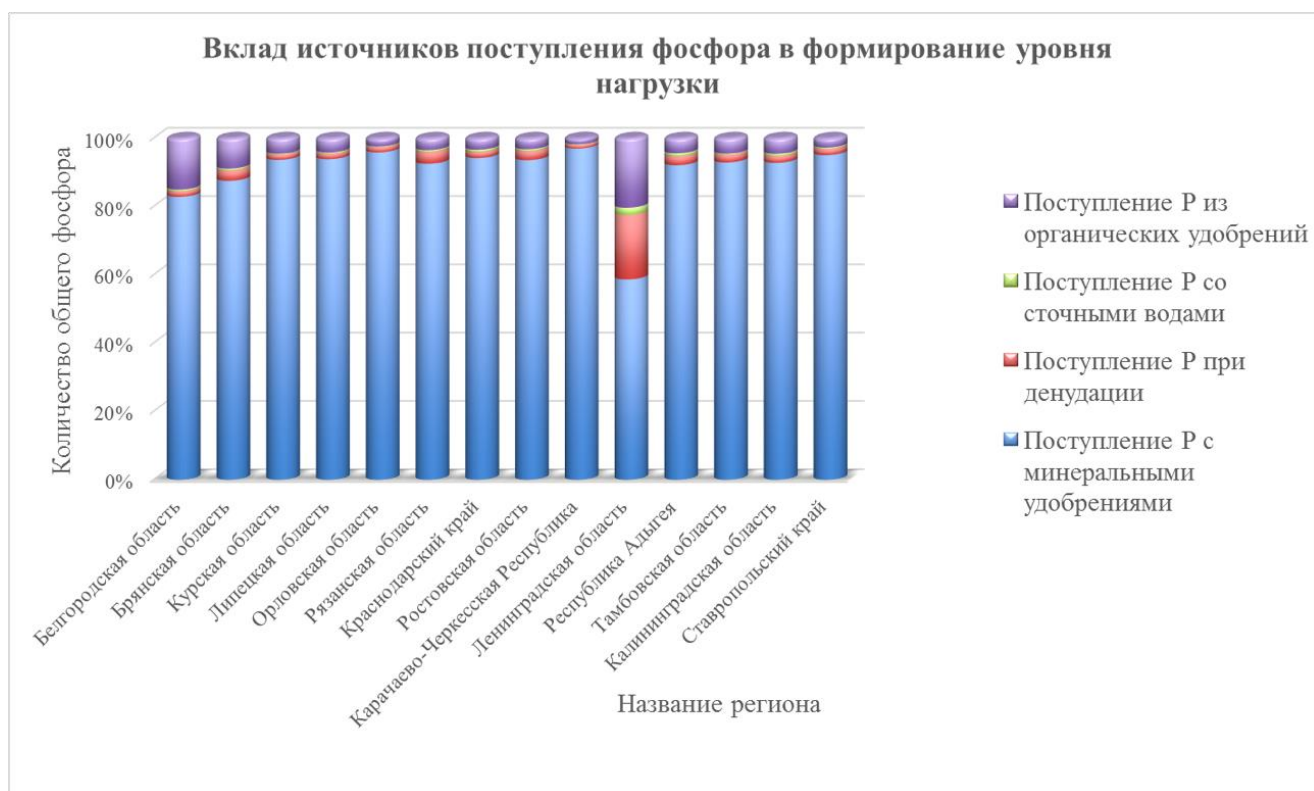


Рисунок 13 - Вклад источников поступления фосфора в формирование уровня нагрузки

Как показывают расчёты, при разработке и внедрении мер по снижению уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты, уменьшение количества используемых минеральных удобрений не всегда является основным фактором.

Разработка и внедрение инженерно-технических мер по снижению уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты должна включать в себя не только расчеты уровня нагрузки для исследуемых территорий, но и крайне желательно наличие натурных исследований для определения общего состояния системы.

3.3. Прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на водные объекты Российской Федерации при различных сценариях, учитывающих глобальные климатические изменения и увеличение объёмов потребления фосфорных удобрений на период 2045 г.

В настоящее время центральной проблемой климатических исследований является предсказание изменений климата, вызванных антропогенной деятельностью. Для ее решения Всемирной метеорологической организацией (WMO, 1975) в рамках Программы ООН по окружающей среде в 1988 году создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК/IPCC), активность которой базируется на тесном взаимодействии ведущих экспертов из научных институтов и центров, решающих задачи прогноза погоды, а также из политических организаций. Основной задачей группы является предоставление мировому сообществу ясного научного мнения о текущем состоянии знаний об изменении климата и его потенциальных экологических и социально-экономических последствиях. Результаты активности МГЭИК лежат в основе планирования деятельности человечества в изменяющихся климатических условиях, в том числе, по компенсации нежелательных природных эффектов [62].

Основываясь на прогнозных оценках различных научных групп о состоянии глобальных водных систем к 2025 году можно сделать вывод, что общее состояние этих систем в значительной степени будет зависеть от объёмов использования чистой воды для производства различных товаров, включая продукты питания. Авторами исследования [63] были смоделированы возможные сценарии развития, учитывающих глобальные климатические изменения и экстенсивный рост потребления чистой воды при увеличении численности населения планеты в

различных вариациях: в первом сценарии численность населения оставалась постоянной, а климат претерпевал значительные изменения; во втором сценарии климат оставался неизменным, а численность населения увеличивалась; третий сценарий представляет собой комбинацию первого и второго сценариев (возрастает численность населения и изменяются климатические условия).

В глобальном масштабе первый сценарий показал увеличение отношения использования воды для промышленных и сельскохозяйственных нужд к среднегодовому поверхностному и подземному стоку всего лишь на 5 %, в то время как во втором сценарии данное отношение увеличилось на 50 %, а в третьем - на 60%. Несмотря на то, что по прогнозам на 2025 год большая часть населения будет жить в районах достаточно обеспеченных водными ресурсами, при развитии по третьему сценарию водные ресурсы станут труднодоступными для 0,2 млрд. человек, что на 85 % больше по сравнению с 1985 годом. При 117-процентном росте мирового производства животноводства, который по своей сути неэффективен по сравнению с растениеводством [64] базовый сценарий показывает увеличение глобальных избытков N и P (23% и 54% соответственно) для сельскохозяйственной системы в целом в период между 2000 и 2050 годами [65].

На доступность водных ресурсов, помимо климатических изменений, также влияют биогеохимические циклы азота и фосфора, которые могут нарушаться в результате антропогенной деятельности. Изменение климата оказывает влияние на биоразнообразие. Преобладание мельчайших организмов, производящих меньшую биомассу, вероятно, приведёт к изменению доминирующих организмов во время весеннего цветения фитопланктона, что в свою очередь, окажет воздействие на развитие циклов химических элементов, а также на структуру пищевой цепи и на объёмы выброса оксида азота, входящего в состав парниковых газов [66].

Автором исследования произведены расчёты уровня антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации с использованием данных об изменении количества осадков на период 2045 года.

Визуальное представление полученных результатов отображено на рисунке 14 в сравнении с уровнем нагрузки на момент 2019 года (рисунок 11).

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что антропогенная фосфорная нагрузка значительно увеличится в субъектах, имеющих сельскохозяйственное назначение, и, в некоторых случаях, будет доходить до критических и экстремально высоких значений, что, в свою очередь, приведёт к значительному ухудшению качества водных ресурсов в этих субъектах. Экстремально высокие расчётные значения уровня фосфорной нагрузки позволяют сделать предположение о необходимости проведения экологической реабилитации водных объектов в данных регионах, которая включает в себя комплекс дорогостоящих инженерно-технических мероприятий. Рациональное ограничение потока фосфора и его соединений, попадающих в водную среду вследствие сельскохозяйственной деятельности, позволит снизить общий уровень нагрузки и предотвратить фосфор-индуцированную эвтрофикацию в указанных субъектах.

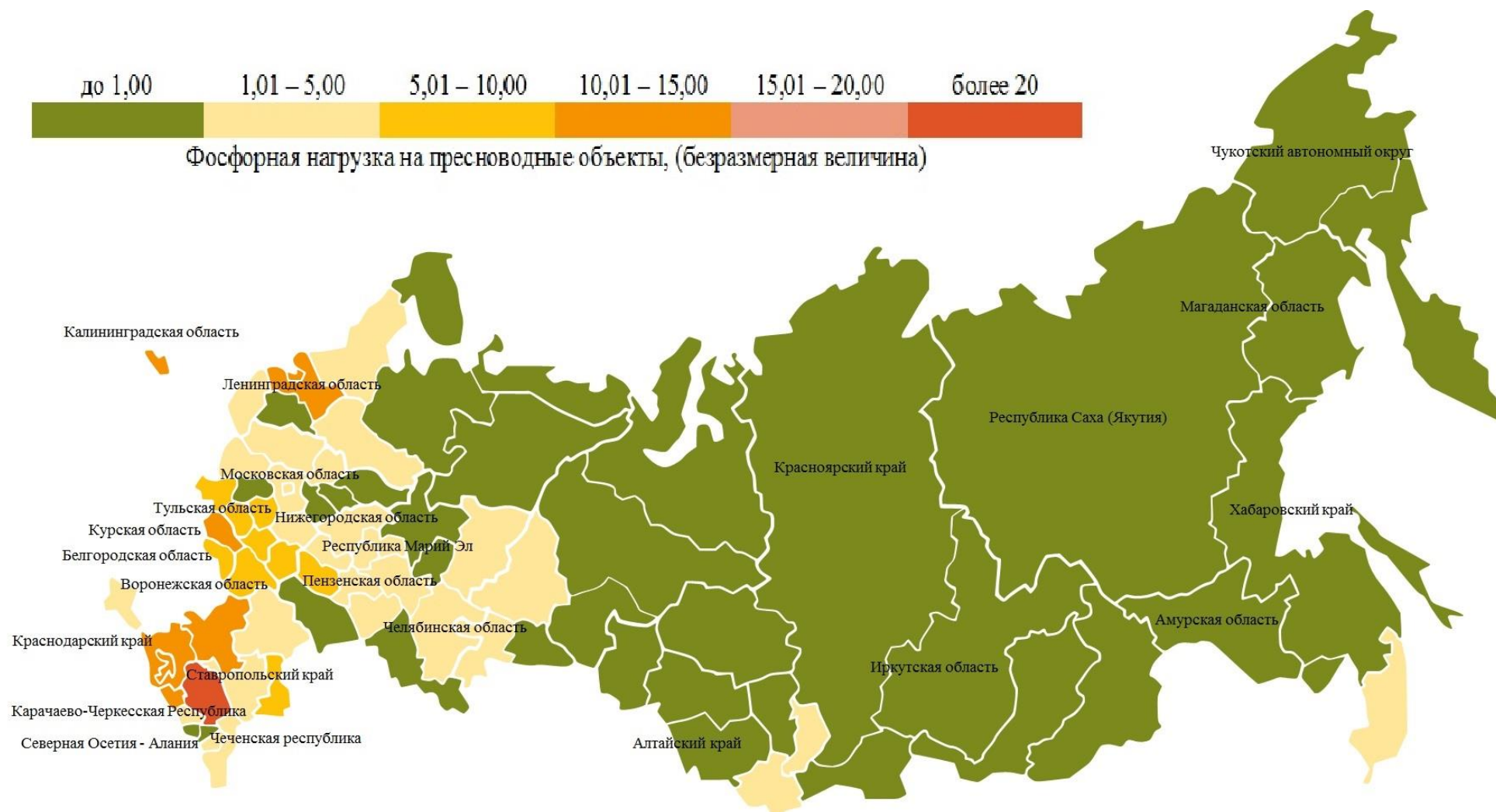


Рисунок 11 - Оценка уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации на период 2019 г.

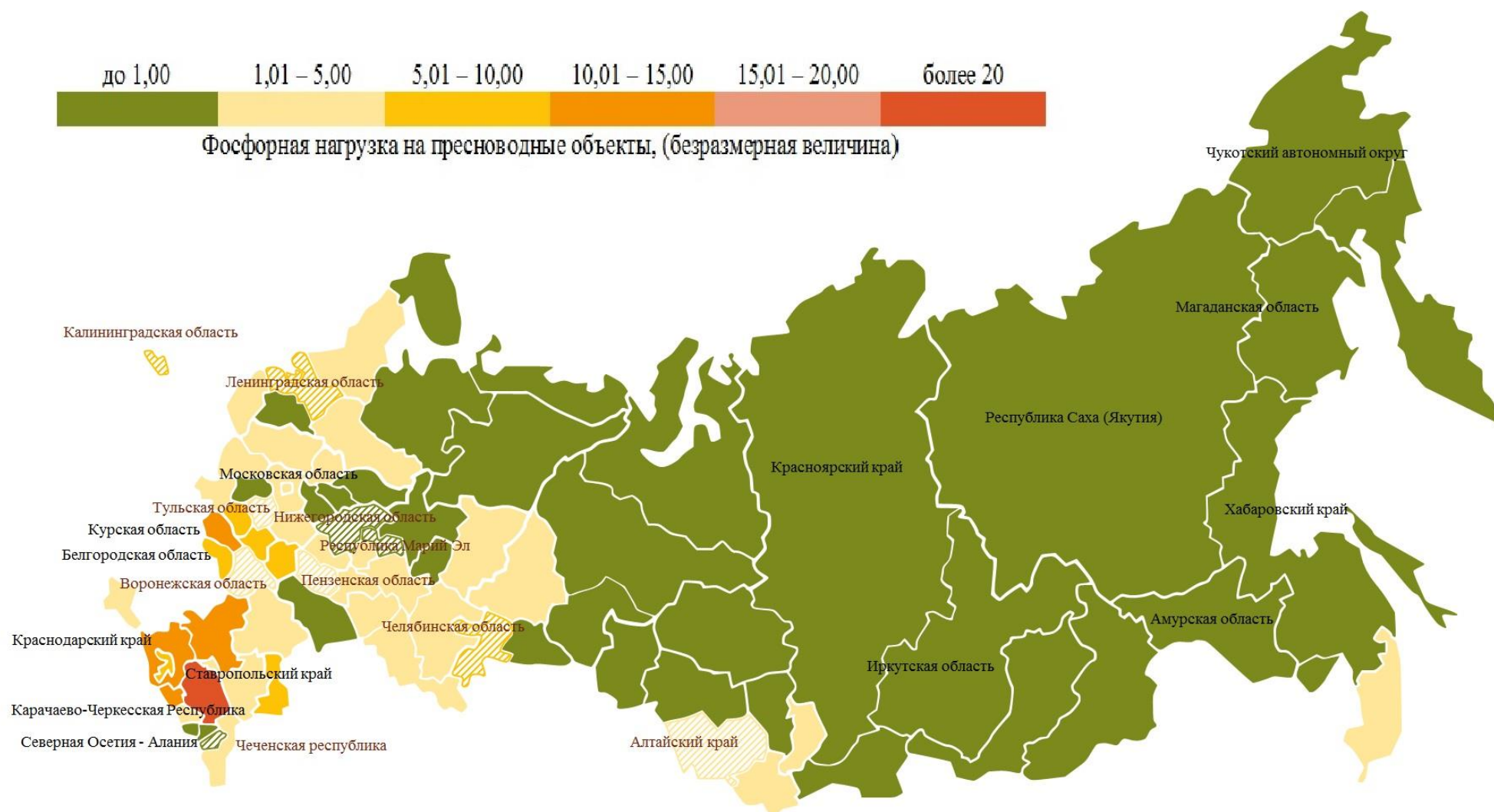


Рисунок 14 - Оценка фосфорной нагрузки на пресноводные системы субъектов Российской Федерации с учётом климатических изменений на 2045 год

3.4. Выводы

1. Произведена оценка фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации на момент 2019 года, показывающая что значение планетарной границы по фосфору не превышено для 37 из 85 субъектов Российской Федерации, что составляет порядка 40 % от общего количества субъектов Федерации, следовательно, для 60 % субъектов Российской Федерации значение уровня антропогенной фосфорной нагрузки либо равняется значению планетарной границы по фосфору, либо превышает это значение в 2 и более раз.

2. Исследование динамики изменения уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации показало, что в ряде регионов, таких как Волгоградская, Ивановская, Костромская, Новгородская, Ульяновская и Ярославская областях, а также в Республиках Марий Эл, Татарстан и Чувашия, имеет место снижение уровня нагрузки при рассмотрении периода с 2015 по 2019 годы.

3. Произведено прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты с учётом увеличения объёмов потребления фосфорных удобрений, утвержденного «Стратегией развития химического и нефтехимического комплекса на период 2030 г.», которое показало значительное увеличится для Белгородской и Челябинской областей, а также для Карачаево-Черкесской республики.

4. Произведено прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты с учётом увеличения объёмов потребления фосфорных удобрений и изменения климатических параметров на период 2045 года, которое показало снижение уровня фосфорной нагрузки в ряде регионов, включая Воронежскую, Калининградскую, Ленинградскую, Нижегородскую, Пензенскую и Тульскую области, а также Чеченскую республику и республику Марий Эл, и повышение уровня нагрузки в Челябинской области.

Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Представлены методы расчёта миграции фосфора и его соединений в компонентах биосферы с учётом трансграничного переноса вещества, позволяющие учитывать максимально возможное количество источников поступления фосфора, что в значительной степени повышает точность получаемых в ходе расчётов результатов.

2. Сформулирован порядок поиска, сбора и анализа первичных данных необходимых для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты. Для каждого из 85 субъектов Российской Федерации было найдено и (или) рассчитано 90 различных параметров, на основании которых составлена и зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности база данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки (Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2021622068, 04.10.2021. Заявка № 2021621846 от 03.09.2021).

3. Произведена оценка фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации на момент 2019 года, показывающая что значение планетарной границы по фосфору не превышено для 37 из 85 субъектов Российской Федерации, что составляет порядка 40 % от общего количества субъектов Федерации, следовательно, для 60 % субъектов Российской Федерации значение уровня антропогенной фосфорной нагрузки либо равняется значению планетарной границы по фосфору, либо превышает это значение в 2 и более раз.

4. Произведено прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты с учётом увеличения объёмов потребления фосфорных удобрений, утвержденного «Стратегией развития химического и нефтехимического комплекса на период 2030 г.», которое показало значительное увеличится для Белгородской и Челябинской областей, а также для Карачаево-Черкесской республики.

5. Произведено прогнозирование уровня фосфорной нагрузки на пресноводные объекты с учётом увеличения объёмов потребления фосфорных удобрений и

изменения климатических параметров на период 2045 года, которое показало снижение уровня фосфорной нагрузки в ряде регионов, включая Воронежскую, Калининградскую, Ленинградскую области и повышение уровня нагрузки в Челябинской области.

Предложенная методика расчётов использована в качестве одного из компонентов для оценки состояния промышленных площадок и принятия решений о необходимости проведения дополнительных инженерно-технических мероприятий с целью улучшения экологических показателей на промышленных площадках предприятий-членов Ассоциации «РОСХИМПРЕАКТИВ».

Основываясь на полученных в ходе исследования результатах, автором сформулированы следующие практические рекомендации:

1. В регионах, основным направлением деятельности которых является сельское хозяйство и животноводство, например, Ставропольский край, необходимо включить фосфор в перечень соединений, отслеживаемых на постоянной основе с помощью систем мониторинга.

2. На государственном уровне рассмотреть возможность снижения объёмов потребления сельскохозяйственными производителями фосфорных минеральных удобрений за счёт их замены отходами животноводческих ферм и птицефабрик, в соответствии с повесткой Саммита ООН по продовольственным системам.

3. Внедрить на государственном уровне инициативу по повышению производительности и эффективности очистных сооружений муниципальных предприятий по очистке сточных вод хозяйственно-бытового назначения.

Список литературы

1. Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения. Питьевая вода [Электронный ресурс] // Официальный сайт Всемирной организации здравоохранения: [сайт]. [2021]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (дата обращения: 20.08.2021).
2. Keatley, B. E. Land-Use Legacies Are Important Determinants of Lake Eutrophication in the Anthropocene / B.E. Keatley, E.M. Bennett, G.K. MacDonald, Z.E. Taranu, I. Gregory-Eaves // PLoS ONE. — V. 6. — № 1. — PP. 1-7. DOI:10.1371/journal.pone.0015913.
3. Драбкова, В. Г. Оценка изменения состояния вод крупнейших озёр и водохранилищ Российской Федерации / В. Г. Драбкова, А. В. Измайлова // География и природные ресурсы. — 2014. — № 4. — С. 22-29.
4. Проект Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [сайт]. [2021]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07_09_2020_M_P_O%20\(1\).pdf](https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07_09_2020_M_P_O%20(1).pdf) (дата обращения: 10.10.2021).
5. Приказ Минпромторга России N 651, Минэнерго России N 172 от 08.04.2014 (ред. от 14.01.2016) "Об утверждении Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года" [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. [2021]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420245722> (дата обращения: 15.07.2021).
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 марта 2018 г. No 532-р «Об утверждении «дорожной карты» по развитию производства минеральных удобрений» [Электронный ресурс] // Правительство России: [сайт]. [2021]. URL: <http://government.ru/docs/31896/> (дата обращения: 25.08.2021).
7. Волкова, А. В. Рынок минеральных удобрений [Текст] // Национальный исследовательский институт Высшая школа экономики. — М., 2019. — 52 с.

8. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.12.2020 № 999 "Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду" [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. [2021]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202104210002> (дата обращения: 25.09.2021).

9. ГОСТ Р 56276-2014 /ISO/TS 14067:2013 Национальный стандарт Российской Федерации «Газы парниковые. УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ПРОДУКЦИИ. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации» [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. [2021]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200117795> (дата обращения: 29.09.2021).

10. Carlson, R. E. A trophic state index for Lakes // *Limnology and Oceanography*. — 1977. — № 22. — PP. 361–369.

11. Mo, Li. Towards meaningful consumption-based planetary boundary indicators: The phosphorus exceedance footprint / Mo Li, Thomas Wiedmann, Michalis Hadjikakou // *Global Environmental Change*. — 2019. — V. 54. — PP 227-238.

12. Неверова-Дзиопак, Е. Оценка трофического состояния поверхностных вод : монография / Е. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова; СПбГАСУ. — СПб., 2020. — 176 с. — Текст : непосредственный.

13. Медоуз, Д. Х. Пределы роста: 30 лет спустя / Д.Х. Медоуз, Й. Рандерс, Д.Л. Медоуз // М.: БИНОМ лаборатория знаний, 2012. — 358 с.

14. Саммит Организации объединенных наций (ООН) по продовольственным системам [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООН [сайт]. [2021]. URL: <https://www.un.org/ru/food-systems-summit> (дата обращения: 05.10.2021).

15. Steffen, W. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet / W. Steffen, K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. de Vries, C.A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J.

Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers, S. Sörlin // *Science Express*. — 2015. — V. 10.1126. — PP. 1-15.

16. Mekonnen, M. M. Global Anthropogenic Phosphorus Loads to Freshwater and Associated Grey Water Footprints and Water Pollution Levels: A High-Resolution Global Study / M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra // *Water Resources Research*. — 2017. — V. 54. — № 1. — PP. 345-358.

17. 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.

18. Helmes, R. J. K. Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale / R.J.K. Helmes, M.A.J. Huijbregts, A.D. Henderson, O. Jolliet // *International Journal of Life Cycle Assessment*. — 2012. — V. 17. — PP. 646-654.

19. UNEP Global chemicals outlook. UNEP/SETAC scientific consensus model for characterizing human toxicological and ecotoxicological impacts of chemical emissions in life cycle assessment. - 2012. - GPS Publishing. - P. 11.

20. Даценко, Ю.С. Методы оценки внутренней биогенной нагрузки водоёмов (Обзор) // *Труды КарНЦ РАН Лимнология и океанология*. — 2019. — № 9. — С. 116-124.

21. Попов, А.Н. Выбор приоритетных действий, направленных на экологическую реабилитацию непроточных и малопроточных озёр // *Водное хозяйство России*. — 2017. — № 5. — С. 68-89. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-5-5.

22. Carpenter, S. R. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus / S.R. Carpenter, E.M. Bennett // *Environmental research letters*. — 2011. — V. 6 014009. — PP. 1-12.

23. Alexander, R. B. Estimates of diffuse phosphorus sources in surface waters of the United States using a spatially referenced watershed model / R.B. Alexander, R.A. Smith, G.E. Schwarz // *Water Science & Technology* — 2004. — V. 49. — № 3. — PP. 1–10.

24. Хрисанов, Н. И. Управление эвтрофированием водоёмов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов // С.-П.: Гидрометеиздат, 1993. — 276 с.
25. Кондратьев, С. А. Метод расчета внешней нагрузки на Чудско-Псковское озеро с Российской территории водосбора / С.А. Кондратьев, М.М. Мельник, М.В. Шмакова, Е.Г. Маркова, Т.Ю. Ульянова // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). — 2010. — № 1. — С.183-197.
26. Тарасова, Н. П. Оценка уровня химического загрязнения в контексте планетарных границ / Н.П. Тарасова, А.С. Макарова // Известия Академии наук. Серия химическая. — 2016. — № 5. — С. 1383–1394.
27. Rockström, J. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity [Электронный ресурс] / J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, III F.S. Chapin, E. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H.J. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, J. Foley // Ecology and Society. — 2009. — V. 14. — № 2. — PP. 32. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32> (дата обращения: 29.07.2021).
28. Steffen, W. The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration / W. Steffen, W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney, C. Ludwig // THE ANTHROPOCENE REVIEW. — 2015. — PP. 1-18. DOI: 10.1177/2053019614564785.
29. Медоуз, Д. Х. Пределы роста / Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, Й. Рандерс, В.П. Беренс // М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 1972. — 207 с.
30. Bennett, E. M. Human Impact on Erovable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective Increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication / E.M. Bennett, S.R. Carpenter, N.F. Caraco // Bioscience. — 2001. — V. 51. — № 3. — PP. 227-234.
31. Стадницкий, Г. В. Экология: учеб. пособие для химико-технологических вузов / Г.В. Стадницкий, А.И. Родионов // М.: Высшая школа. — 1988. — 272 с.

32. Essential role of phosphorus in plants [Электронный ресурс] // Официальный сайт Mosaic [сайт]. [2021]. URL: <https://www.cropnutrition.com/nutrient-management/phosphorus> (дата обращения: 23.07.2021).
33. Bennett, E. M. A phosphorus budget for the Lake Mendota watershed / E.M. Bennett, T. Reed-Anderson, J.N. Houser, J.R. Gabriel, S.R. Carpenter // *Ecosystems*. — 1999. — V. 2. — PP. 69-75.
34. Tarasova, N.P. Phosphorus within Planetary Boundaries / N.P. Tarasova, A.S. Makarova, E.G. Vasileva // *Phosphorus, Sulfur and Silicon and the Related Elements*. — 2016. — V. 191. — PP. 1447–1451. DOI: 10.1080/10426507.2016.1211654.
35. Российский Статистический Ежегодник 2020 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [сайт]. [2021]. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_13/Main.htm (дата обращения: 19.07.2021).
36. Garrels, R. M. Evolution of sedimentary rocks / R.M. Garrels, F.T. Mackenzie // New York: W. W. Norton & Co. — 1971. — PP. 397.
37. Taylor, S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. — 1964. — V. 28. — № 8. — PP. 1273-1285.
38. Lerman, A. Modeling of geochemical cycles: phosphorus as an example / A. Lerman, F.T. Mackenzie, R.M. Garrels // *Memoir of the Geological Society of America*. — 1975. — V. 142. — PP. 205-218.
39. Duce, R. A. The atmospheric input of trace species to the world ocean / R.A. Duce, P.S. Liss, J.T. Merrill, M. Zhou// *Global Biogeochemical Cycles*. — 1991. — V. 5. — № 3. — PP. 193–259.
40. Rosenbaum, R. K. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment / R.K. Rosenbaum, T.M. Bachmann, L.S. Gold, M.A.J. Huijbregts, O. Jolliet, R. Juraske, A. Koehler, H.F. Larsen, M. MacLeod, M. Margni, T.E. McKone, J. Payet, M. Schuhmacher, D. Van de Meent, M.Z. Hauschild // *The*

International Journal of Life Cycle Assessment. — 2008. — V. 13. — № 7. — PP.532 - 546.

41. Миллер, Т. Жизнь в окружающей среде: учеб. пособие / под ред. Г. А. Ягодина – М.: Издательская группа «Прогресс», «Пангея», 1993. — 256 с.

42. HELCOM Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea (PLC-Water) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Хельсинской конвенции по защите морской среды Балтийского моря [сайт]. [2021]. URL: <https://helcom.fi/media/publications/PLC-Water-Guidelines-2019.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).

43. Fekete, B.M. Global, Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances / B.M. Fekete, C.J. Vörösmarty, W. Grabs // Global Runoff Data Centre (GRDC). Federal Institute of Hydrology (BfG). Koblenz, Germany. 2000.

44. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. — 1000 с.

45. Helmes, R. Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale / R. Helmes, M.H.A. Huijbregts, O. Jolliet // International Journal of Life Cycle Assessment. — 2012. — № 17. — PP. 646-654.

46. Miller, Z. F. Quantifying river form variations in the Mississippi Basin using remotely sensed imagery/ Z.F. Miller, T.M. Pavelsky, G.H. Allen// Hydrology and Earth System Sciences. — 2014. — V. 18. — PP. 4883–4895.

47. Vörösmarty, C. J. Geomorphometric attributes of the global system of rivers at 30-minute spatial resolution (STN-30) / C.J. Vörösmarty, B.M. Fekete, M. Meybeck, R. Lammers // Journal of Hydrology. — 2000. — V. 237. — № 1. — PP. 17–39.

48. Mayorga, E. Global Nutrient Export from WaterSheds (NEWS 2): model development and implementation / E. Mayorga, S. Seitzinger, J.A. Harrison, E. Dumont, A.H.W. Beusen, A.F. Bouwman, B.M. Fekete, C. Kroeze, G. Van Drecht // Environmental Modelling & Software. — 2010. — V. 25. — PP. 837–853.

49. Баранов, Е. Е. Пути поступления фосфора в водохранилища Волжского бассейна // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. — 2014. — Т. 23. — № 2. — С. 4-13.
50. Фомина, В.Ф. Эффективность использования водных ресурсов в регионах Северо-Западного федерального округа в свете Водной стратегии // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2010. — № 3 (11). — С. 75-89.
51. Hejzlar, J. Nitrogen and phosphorus retention in surface water: an intercomparison of predictions by catchment models of different complexity / J. Hejzlar, S. Anthony, B. Arheimer, H. Behrendt, F. Bouroui, B. Grizzetti, P. Groenendijk, M.H.J.L. Leuken, H. Johnsson, A. Lo Porto, B. Kronvang, Y. Panagopulos, C. Siderius, M. Silgram, M. Venohr, J. Zaloudník // Journal of Environmental Monitoring. — 2009. V. 11. — PP. 584–593.
52. Graham, W. F. Atmospheric pathways of the phosphorus cycle / W.F. Graham, R.A. Duce // Geochimica et Cosmochimica Acta — 1979. — V. 43. — PP. 1195-1208.
53. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». — М.: НИА-Природа, 2018. — 298 с.
54. Россия в цифрах. 2019: Крат.стат.сб./Росстат — М., 2019. — 549 с.
55. Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances Koblenz, Germany, February 2000: Report No. 20 / Eds. B.M. Fekete, C.J. Vörösmarty, W. Grabs. Global. Koblenz, Germany: Global Runoff Data Centre (GRDC), Federal Institute of Hydrology (BfG), 2000. — 108 p.
56. Алескерова, А.А. Цветение цианобактерий в Азовском море по данным сенсоров спутников серии LANDSAT / А.А. Алескерова, А.А. Кубряков, С.В. Станичный, П.Н. Лишаев, А.И. Мизюк // Исследование земли из космоса. — 2018. — № 6. — С. 52–64.

57. Левашина, Н.В. Промыслово-биологическая характеристика популяции судака *Sander Lucioперca* дельты волги в современный период // Вопросы рыболовства. 2018. Том 19. № 3. С. 343–353.
58. Качество поверхностных вод российской федерации ежегодник 2018. ФГБУ "Гидрохимический институт" // под редакцией М.М. Трофимчука, Ростов-на-Дону: Росгидромет. 2019. - 560 с.
59. Андреева М.А. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ // Успехи современного естествознания. – 2002. – № 4. – С. 23-25; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14380> (дата обращения: 13.10.2021).
60. Карачаево-Черкесская Республика. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Научно-популярной энциклопедии «Вода России» [сайт]. [2021]. URL: https://water-rf.ru/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8/2545/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%BE-%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0 (дата обращения: 12.10.2021).
61. Общее состояние водных ресурсов Белгородской области. 2019 год. Бюллетень Управления воспроизводства окружающей среды департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области [Электронный ресурс] // Официальный сайт Департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области [сайт]. [2021]. URL: https://belapk.ru/media/site_platform_media/2020/12/23/obsovorebo.pdf (дата обращения: 03.09.2021).
62. Waters C.N. et al., The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. Science. 2016, Vol. 351 (6269), P. 137.

63. Vörösmarty C.J. et al. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth // Science. 2000, Vol. 289. P. 284-288.
64. Van der Hoek K. W., Nitrogen efficiency in global animal production. Environmental Pollution. 1998. V. 102. P. 127-132.
65. Bouwman A.F. et al., Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period, Livestock and Global Change Special Feature. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, V. 110 (52). P.1-6.
66. Биогенные вещества и эвтрофикация в Балтийском море: причины, последствия, решения. Информационное бюро Совета Министров северных стран в Калининграде, 2007 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Справка о практическом применении результатов
диссертационной работы от Ассоциации «РОСХИМРЕАКТИВ»



Ассоциация «РОСХИМРЕАКТИВ»
Юридический адрес: Российская Федерация,
196240, Санкт-Петербург, 6-й Предпортовый проезд, д. 8,
Литер «Б», офис № 217
Почтовый адрес: 107076, Москва, а/я 25
Тел./факс: (495) 223-61-01, 964-98-68, доб. 110
E-mail: office@arhr.ru
www.roshimreaktiv.ru, www.arhr.ru

Исх. № 68 от 30.08.2020 г.

Для предоставления в ученый совет

СПРАВКА

о практическом использовании результатов диссертационной работы

Е.Г. Васильевой

Руководство Ассоциации «РОСХИМРЕАКТИВ» подтверждает, что результаты диссертационного исследования Васильевой Евгении Григорьевны по оценке антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации, представленного на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 03.02.08 Экология (по отраслям), используются в качестве одного из методов оценки экологического состояния территорий, на которых расположены предприятия-члены Ассоциации, производящие различные фосфорсодержащие составы и реактивы.

Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты также могут быть использованы при оценке и последующем принятии решений о проведении инженерно-технических мероприятий, направленных на улучшение экологической обстановки на площадках и прилегающих территориях предприятий-членов Ассоциации.

Генеральный директор
Ассоциации «Росхимреактив»

И.А. Вендило

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от предприятия ООО «ЙОСЯ»



ООО «ЙОСЯ»
индустрия 4.0 для производств

414052, г. Астрахань, ул. Красноармейская 33, к.10
e-mail: info@iosya.com; тел.: +7 (985) 929-28-55

Для предоставления в ученый совет

Исх. № 2021080100 от «30» августа 2021
года

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы Е.Г. Васильевой

Материалы диссертационной работы Васильевой Евгении Григорьевны на тему: «Исследование влияния антропогенной фосфорной нагрузки на состояние пресноводных объектов субъектов Российской Федерации», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 03.02.08 Экология (по отраслям) получили практическое применение и использованы при создании программного комплекса в рамках выполнения этапа конкурса префектуры города Марсель (Франция) « MAKE THE CHOICE » (сделай выбор).

Разработанные алгоритмы для расчёта миграции и трансформации фосфора в пресноводных объектах в различных компонентах биосферы, а также обобщённый алгоритм расчёта и визуализации антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации были высоко оценены жюри конкурса, по итогам которого автору диссертационной работы предложено провести аналогичное исследования для территорий Европейского союза.

Генеральный директор ООО «ЙОСЯ».



В. Развин

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. База данных для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты Российской Федерации

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднегого-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водоемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ A lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Ariv, (км ²)	% площади водоемов от общей территории
Северо-Западный федеральный округ	1,69E+06	600,4	1111300	1220,8	3,62E+05	256820	83994,34	21160	21,5%
Республика Карелия	1,81E+05	56,2	26100	910,4	7,73E+04	35435	35982	5901	42,8%
Республика Коми	4,17E+05	164,8	402600	4,6	4,71E+04	40731	1806	4609	11,3%
Архангельская область	5,90E+05	387,2	69118	10,8	1,10E+05	58235	10793	41143	18,7%
Ненецкий автономный округ	1,77E+05	212,1	47144	10,1	4,38E+04	33818	7177	2828	24,8%
Архангельская область без автономного округа	4,13E+05	175,1	21974	0,7	6,63E+04	24417	3616	38315	16,1%
Вологодская область	1,45E+05	47,7	66600	28,9	1,94E+04	12718	2113	4532	13,4%
Калининградская область	1,51E+04	22,4	5200	0,4	2,31E+03	310	62,7	1938	15,3%
Ленинградская область	8,39E+04	82,1	50000	333,6	2,10E+04	8301	12130	544	25,0%
Мурманская область	1,45E+05	65,7	66900	63,4	6,90E+04	57010	11072	890	47,6%
Новгородская область	5,45E+04	21,7	15900	6,3	7,23E+03	5480	1663	88	13,3%
Псковская область	5,54E+04	12,1	165700	18,2	8,53E+03	4761	3124	647	15,4%

	Наименование параметра						
Регион	Ширина рек W _{гив} , (км)	Усредненная глубина рек D, (км)	Объем рек V _{гив} , (км ³)	Общий объем воды V, (км ³)	k adv, (1/год)	k ret, (1/год)	k use, (1/год)
Северо-Западный федеральный округ	0,0190	0,0111	234,73	1481	0,41	1,48	0,01
Республика Карелия	0,2261	0,0046	27,25	941	0,06	0,66	0,00
Республика Коми	0,0114	0,0069	31,69	40	4,08	4,07	0,07
Архангельская область	0,5953	0,0094	388,03	405	0,96	4,59	0,02
Ненецкий автономный округ	0,0600	0,0075	21,35	35	6,09	5,55	0,11
Архангельская область без автономного округа	1,7437	0,0070	269,41	273	0,64	4,53	0,01
Вологодская область	0,0680	0,0043	19,70	50	0,96	2,33	0,02
Калининградская область	0,3726	0,0033	6,37	7	3,31	4,27	0,06
Ленинградская область	0,0109	0,0053	2,89	337	0,24	0,54	0,00
Мурманская область	0,0133	0,0049	4,36	73	0,89	2,35	0,02
Новгородская область	0,0055	0,0032	0,29	7	3,04	3,41	0,05
Псковская область	0,0039	0,0026	1,69	20	0,59	2,49	0,01

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f^G
Северо-Западный федеральный округ	0,53	8,37E-03	8,37E+05	6834,6	6,83E+04	46,235	4623,5	3,16E+08	1,13E-02
Республика Карелия	1,39	5,32E-03	5,32E+05	212,9	2,13E+03	14,035	1403,5	2,99E+06	1,21E-03
Республика Коми	0,12	2,28E-04	2,28E+04	418,1	4,18E+03	20,935	2093,5	8,75E+06	2,80E-03
Архангельская область	0,18	2,29E-03	2,29E+05	753,3	7,53E+03	23,735	2373,5	1,79E+07	3,96E-03
Ненецкий автономный округ	0,09	1,97E-04	1,97E+04	25,7	2,57E+02	0,835	83,5	2,15E+04	1,19E-03
Архангельская область без автономного округа	0,19	1,54E-03	1,54E+05	727,6	7,28E+03	23,735	2373,5	1,73E+07	2,77E-03
Вологодская область	0,30	2,82E-04	2,82E+04	1448,5	1,45E+04	37,735	3773,5	5,47E+07	9,70E-04
Калининградская область	0,13	3,82E-05	3,82E+03	809,6	8,10E+03	119,235	11923,5	9,65E+07	1,01E-04
Ленинградская область	1,28	1,91E-03	1,91E+05	798,5	7,99E+03	43,935	4393,5	3,51E+07	5,63E-04
Мурманская область	0,31	4,15E-04	4,15E+04	27,2	2,72E+02	77,935	7793,5	2,12E+06	9,73E-04
Новгородская область	0,15	4,03E-05	4,03E+03	830,3	8,30E+03	25,235	2523,5	2,10E+07	3,66E-04
Псковская область	0,32	1,15E-04	1,15E+04	1511,1	1,51E+04	23,135	2313,5	3,50E+07	3,72E-04

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей $f^{\wedge}g_{agr}$	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	ΔX_1 , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Северо-Западный федеральный округ	1,42E-03	2,26E+08	1,13E+07	1,42E+07	944,8	1442	597,3
Республика Карелия	4,44E-05	2,42E+07	1,21E+06	4,44E+05	0,1	89,9	19
Республика Коми	8,71E-05	5,60E+07	2,80E+06	8,71E+05	0	116,4	19,4
Архангельская область	1,57E-04	7,92E+07	3,96E+06	1,57E+06	5,6	139,6	34,5
Ненецкий автономный округ	5,35E-06	2,37E+07	1,19E+06	5,35E+04	0	1,3	0,1
Архангельская область без автономного округа	1,52E-04	5,55E+07	2,77E+06	1,52E+06	5,6	138,3	34,4
Вологодская область	3,02E-04	1,94E+07	9,70E+05	3,02E+06	231,8	223,9	54,9
Калининградская область	1,69E-04	2,03E+06	1,01E+05	1,69E+06	429,2	136,9	64,9
Ленинградская область	1,66E-04	1,13E+07	5,63E+05	1,66E+06	127,4	285	262,5
Мурманская область	5,67E-06	1,95E+07	9,73E+05	5,67E+04	0	8,5	0,4
Новгородская область	1,73E-04	7,32E+06	3,66E+05	1,73E+06	38,8	307,4	97
Псковская область	3,15E-04	7,44E+06	3,72E+05	3,15E+06	111,9	134,4	44,6

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Np, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Северо-Западный федеральный округ	4,54E+06	1,10E+06	4,47E+05	6,09E+06	5,11E+08	13801	8,69E+06	765,2	1,13E+02
Республика Карелия	4,80E+02	6,87E+04	1,42E+04	8,34E+04	2,55E+07	634	3,99E+05	2,1	3,10E-01
Республика Коми	0,00E+00	8,89E+04	1,45E+04	1,03E+05	6,09E+07	872	5,49E+05	25	3,69E+00
Архангельская область	2,69E+04	1,07E+05	2,58E+04	1,59E+05	9,14E+07	1192	7,51E+05	5,5	8,13E-01
Ненецкий автономный округ	0,00E+00	9,93E+02	7,48E+01	1,07E+03	2,25E+07	43	2,71E+04	1,4	2,07E-01
Архангельская область без автономного округа	2,69E+04	1,06E+05	2,57E+04	1,58E+05	6,83E+07	1149	7,24E+05	3,1	4,58E-01
Вологодская область	1,11E+06	1,71E+05	4,10E+04	1,33E+06	6,87E+07	1193	7,52E+05	30,1	4,45E+00
Калининградская область	2,06E+06	1,05E+05	4,85E+04	2,21E+06	9,46E+07	963	6,07E+05	72,1	1,07E+01
Ленинградская область	6,12E+05	2,18E+05	1,96E+05	1,03E+06	4,31E+07	1764	1,11E+06	269,7	3,99E+01
Мурманская область	0,00E+00	6,49E+03	2,99E+02	6,79E+03	2,05E+07	771	4,86E+05	1,3	1,92E-01
Новгородская область	1,86E+05	2,35E+05	7,25E+04	4,94E+05	2,57E+07	623	3,92E+05	123,3	1,82E+01
Псковская область	5,37E+05	1,03E+05	3,33E+04	6,73E+05	3,82E+07	657	4,14E+05	236,1	3,49E+01

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Soi, (кг/год)
Северо-Западный федеральный округ	1,27E+06	2,41E+07	2,61E+02	1,67E+06	5,61E+06	350,4077	1,7E+07	4,76E+06	3,45E+07
Республика Карелия	3,50E+03	6,61E+04	7,17E-01	4,58E+03	1,54E+04	0,96165208	46638,75	1,31E+04	9,46E+04
Республика Коми	4,16E+04	7,87E+05	8,54E+00	5,45E+04	1,83E+05	11,4482391	555223,21	1,55E+05	1,13E+06
Архангельская область	9,16E+03	1,73E+05	1,88E+00	1,20E+04	4,03E+04	2,51861259	122149,11	3,42E+04	2,48E+05
Ненецкий автономный округ	2,33E+03	4,41E+04	4,78E-01	3,05E+03	1,03E+04	0,64110139	31092,5	8,71E+03	6,30E+04
Архангельская область без автономного округа	5,16E+03	9,76E+04	1,06E+00	6,76E+03	2,27E+04	1,41958164	68847,678	1,93E+04	1,40E+05
Вологодская область	5,01E+04	9,48E+05	1,03E+01	6,56E+04	2,21E+05	13,7836798	668488,75	1,87E+05	1,36E+06
Калининградская область	1,20E+05	2,27E+06	2,46E+01	1,57E+05	5,28E+05	33,0167214	1601263,7	4,48E+05	3,25E+06
Ленинградская область	4,49E+05	8,49E+06	9,21E+01	5,88E+05	1,98E+06	123,503603	5989748	1,68E+06	1,21E+07
Мурманская область	2,17E+03	4,09E+04	4,44E-01	2,84E+03	9,53E+03	0,59530843	28871,607	8,08E+03	5,85E+04
Новгородская область	2,05E+05	3,88E+06	4,21E+01	2,69E+05	9,04E+05	56,462715	2738360,9	7,67E+05	5,55E+06
Псковская область	3,93E+05	7,43E+06	8,06E+01	5,15E+05	1,73E+06	108,11717	5243528	1,47E+06	1,06E+07

	Наименование параметра				
Регион	X2, (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Северо-Западный федеральный округ	2,92E+08	0,20	0,15	2,29	1,85
Республика Карелия	3,54E+07	0,04	0,03	2,63	2,37
Республика Коми	7,61E+06	0,19	0,11	0,21	0,18
Архангельская область	1,66E+07	0,04	0,03	0,37	0,35
Ненецкий автономный округ	1,92E+06	0,06	0,03	0,13	0,10
Архангельская область без автономного округа	1,33E+07	0,05	0,04	0,44	0,42
Вологодская область	2,15E+07	0,43	0,31	1,84	1,60
Калининградская область	1,29E+07	1,90	1,15	12,25	9,06
Ленинградская область	7,16E+07	0,21	0,16	11,16	8,69
Мурманская область	6,45E+06	0,09	0,06	0,60	0,45
Новгородская область	4,86E+06	0,68	0,48	0,94	0,85
Псковская область	1,59E+07	0,78	0,70	3,41	3,51

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднего-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водоемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ A lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Aгiv, (км ²)	% площади водоемов от общей территории
Центральный федеральный округ	6,49E+05	126,1	196500	40,7	25658	12364	9232,91	4061	4,0%
Белгородская область	2,71E+04	2,7	5000	0,3	477	225	164,5	88	1,8%
Брянская область	3,49E+04	7,3	11500	0,2	1067	754	93,4	220	3,1%
Владимирская область	2,91E+04	35,2	12500	0,2	710	383	92,8	234	2,4%
Воронежская область	5,22E+04	13,7	14300	0,5	1044	403	301	340	2,0%
Ивановская область	2,14E+04	57,3	16400	3,3	1153	506	636,5	11	5,4%
Калужская область	2,98E+04	11,3	11900	0,1	496	286	50,1	160	1,7%
Костромская область	6,02E+04	53,4	14700	2,4	1838	869	625	344	3,1%
Курская область	3,00E+04	3,9	7600	0,5	704	322	206,3	176	2,3%
Липецкая область	2,40E+04	6,3	5500	0,3	435	165	126,5	144	1,8%
Московская область	4,58E+04	18	10000	1,5	1422	504	452	466	3,1%
Орловская область	2,47E+04	4,1	9200	0,1	182	0,8	53,61	128	0,7%
Рязанская область	3,96E+04	25,7	3500	0,4	1226	554	223	449	3,1%
Смоленская область	4,98E+04	13,7	16700	1,4	1689	1153	322,2	214	3,4%
Тамбовская область	3,45E+04	4,1	6900	0,4	867	439	187,3	241	2,5%
Тверская область	8,42E+04	21,1	20500	7,4	7134	4651	1842	641	8,5%
Тульская область	2,57E+04	10,6	11000	0,3	245	19	87	139	1,0%
Ярославская область	3,62E+04	35,8	19300	20,4	4967	1099	3754	114	13,7%

	Наименование параметра						
Регион	Ширина рек W _{ггв} , (км)	Усредненная глубина рек D, (км)	Объем рек V _{ггв} , (км ³)	Общий объем воды V, (км ³)	k adv, (1/год)	k ret, (1/год)	k use, (1/год)
Центральный федеральный округ	0,0207	0,0062	25,29	67	1,88	3,56	0,08
Белгородская область	0,0175	0,0015	0,13	0	5,79	6,14	0,25
Брянская область	0,0191	0,0022	0,48	1	10,01	4,65	0,44
Владимирская область	0,0187	0,0039	0,91	1	30,45	4,58	1,34
Воронежская область	0,0238	0,0027	0,93	2	9,02	5,44	0,40
Ивановская область	0,0006	0,0047	0,05	3	16,65	2,63	0,73
Калужская область	0,0134	0,0026	0,41	1	20,68	4,56	0,91
Костромская область	0,0234	0,0045	1,56	4	13,23	3,85	0,58
Курская область	0,0231	0,0017	0,30	1	4,93	5,30	0,22
Липецкая область	0,0261	0,0021	0,29	1	10,60	5,13	0,47
Московская область	0,0466	0,0030	1,41	3	5,99	4,16	0,26
Орловская область	0,0139	0,0018	0,22	0	12,86	5,42	0,57
Рязанская область	0,1283	0,0035	1,55	2	12,61	4,87	0,55
Смоленская область	0,0128	0,0027	0,59	2	6,58	3,39	0,29
Тамбовская область	0,0349	0,0018	0,42	1	4,72	5,13	0,21
Тверская область	0,0313	0,0032	2,06	10	2,13	3,50	0,09
Тульская область	0,0126	0,0025	0,35	1	17,34	4,47	0,76
Ярославская область	0,0059	0,0039	0,45	21	1,71	2,58	0,08

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f ^{AG}
Центральный федеральный округ	0,18	3,80E-04	3,80E+04	33296	3,33E+05	71,735	7173,5	2,39E+09	4,36E-03
Белгородская область	0,08	2,63E-06	2,63E+02	2136,7	2,14E+04	88,535	8853,5	1,89E+08	1,82E-04
Брянская область	0,07	4,12E-06	4,12E+02	1874,2	1,87E+04	73,735	7373,5	1,38E+08	2,34E-04
Владимирская область	0,03	6,53E-06	6,53E+02	995,5	9,96E+03	32,335	3233,5	3,22E+07	1,95E-04
Воронежская область	0,07	8,59E-06	8,59E+02	4077,9	4,08E+04	67,935	6793,5	2,77E+08	3,50E-04
Ивановская область	0,05	1,94E-05	1,94E+03	822	8,22E+03	19,435	1943,5	1,60E+07	1,44E-04
Калужская область	0,04	3,09E-06	3,09E+02	1376,8	1,38E+04	21,835	2183,5	3,01E+07	2,00E-04
Костромская область	0,06	2,28E-05	2,28E+03	994,5	9,95E+03	9,335	933,5	9,28E+06	4,04E-04
Курская область	0,10	4,47E-06	4,47E+02	2438,8	2,44E+04	105,935	10593,5	2,58E+08	2,01E-04
Липецкая область	0,06	3,36E-06	3,36E+02	1953,6	1,95E+04	100,335	10033,5	1,96E+08	1,61E-04
Московская область	0,10	1,70E-05	1,70E+03	1670,8	1,67E+04	42,835	4283,5	7,16E+07	3,08E-04
Орловская область	0,05	1,80E-06	1,80E+02	2051,4	2,05E+04	106,235	10623,5	2,18E+08	1,66E-04
Рязанская область	0,06	1,15E-05	1,15E+03	2513	2,51E+04	56,935	5693,5	1,43E+08	2,66E-04
Смоленская область	0,10	1,18E-05	1,18E+03	2094,2	2,09E+04	16,635	1663,5	3,48E+07	3,34E-04
Тамбовская область	0,10	4,91E-06	4,91E+02	2724,7	2,72E+04	71,635	7163,5	1,95E+08	2,32E-04
Тверская область	0,17	5,59E-05	5,59E+03	2419,8	2,42E+04	9,735	973,5	2,36E+07	5,65E-04
Тульская область	0,04	3,45E-06	3,45E+02	1974,3	1,97E+04	80,235	8023,5	1,58E+08	1,73E-04
Ярославская область	0,23	1,18E-04	1,18E+04	1128,9	1,13E+04	14,935	1493,5	1,69E+07	2,43E-04

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей f ^g ag	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	Δ X ₁ , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Центральный федеральный округ	6,94E-03	8,72E+07	4,36E+06	6,94E+07	25997	9495	2963
Белгородская область	4,45E-04	3,64E+06	1,82E+05	4,45E+06	3525	554,1	207,2
Брянская область	3,90E-04	4,69E+06	2,34E+05	3,90E+06	893,8	1123	119,3
Владимирская область	2,07E-04	3,91E+06	1,95E+05	2,07E+06	188,5	348,6	172,7
Воронежская область	8,50E-04	7,01E+06	3,50E+05	8,50E+06	4473	1762	499,4
Ивановская область	1,71E-04	2,87E+06	1,44E+05	1,71E+06	131,1	145	87,6
Калужская область	2,87E-04	4,00E+06	2,00E+05	2,87E+06	140,5	258,3	99
Костромская область	2,07E-04	8,08E+06	4,04E+05	2,07E+06	65,4	184,9	112,7
Курская область	5,08E-04	4,03E+06	2,01E+05	5,08E+06	4212	943,6	142,1
Липецкая область	4,07E-04	3,22E+06	1,61E+05	4,07E+06	2528	697,1	158,6
Московская область	3,48E-04	6,15E+06	3,08E+05	3,48E+06	284	762,3	526,8
Орловская область	4,27E-04	3,32E+06	1,66E+05	4,27E+06	3137	358,8	76,8
Рязанская область	5,24E-04	5,32E+06	2,66E+05	5,24E+06	1398	361,6	111,1
Смоленская область	4,36E-04	6,69E+06	3,34E+05	4,36E+06	228,2	225,5	78,8
Тамбовская область	5,68E-04	4,63E+06	2,32E+05	5,68E+06	3120	522,3	121,1
Тверская область	5,04E-04	1,13E+07	5,65E+05	5,04E+06	108,3	341	100
Тульская область	4,11E-04	3,45E+06	1,73E+05	4,11E+06	1465	652,4	167,8
Ярославская область	2,35E-04	4,86E+06	2,43E+05	2,35E+06	97,1	239,2	143,6

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Np, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Центральный федеральный округ	1,25E+08	7,25E+06	2,22E+06	1,34E+08	2,27E+09	38820	2,45E+07	4188,2	6,19E+02
Белгородская область	1,69E+07	4,23E+05	1,55E+05	1,75E+07	1,71E+08	1544	9,73E+05	1370,9	2,03E+02
Брянская область	4,29E+06	8,58E+05	8,92E+04	5,24E+06	1,34E+08	1242	7,82E+05	329,4	4,87E+01
Владимирская область	9,05E+05	2,66E+05	1,29E+05	1,30E+06	3,25E+07	1413	8,90E+05	33,5	4,95E+00
Воронежская область	2,15E+07	1,35E+06	3,73E+05	2,32E+07	2,52E+08	2329	1,47E+06	371,1	5,48E+01
Ивановская область	6,30E+05	1,11E+05	6,55E+04	8,06E+05	1,62E+07	1043	6,57E+05	25,8	3,81E+00
Калужская область	6,75E+05	1,97E+05	7,40E+04	9,46E+05	3,00E+07	1005	6,33E+05	97,6	1,44E+01
Костромская область	3,14E+05	1,41E+05	8,43E+04	5,40E+05	1,44E+07	656	4,13E+05	11,1	1,64E+00
Курская область	2,02E+07	7,21E+05	1,06E+05	2,11E+07	2,36E+08	1119	7,05E+05	424,2	6,27E+01
Липецкая область	1,21E+07	5,33E+05	1,19E+05	1,28E+07	1,82E+08	1160	7,31E+05	293,4	4,34E+01
Московская область	1,36E+06	5,82E+05	3,94E+05	2,34E+06	7,16E+07	7134	4,49E+06	241,2	3,56E+01
Орловская область	1,51E+07	2,74E+05	5,74E+04	1,54E+07	2,01E+08	770	4,85E+05	133	1,97E+01
Рязанская область	6,71E+06	2,76E+05	8,31E+04	7,07E+06	1,36E+08	1141	7,19E+05	58,9	8,71E+00
Смоленская область	1,10E+06	1,72E+05	5,89E+04	1,33E+06	3,55E+07	968	6,10E+05	71,6	1,06E+01
Тамбовская область	1,50E+07	3,99E+05	9,05E+04	1,55E+07	1,78E+08	1069	6,73E+05	402	5,94E+01
Тверская область	5,20E+05	2,61E+05	7,48E+04	8,55E+05	2,84E+07	1325	8,35E+05	140,1	2,07E+01
Тульская область	7,04E+06	4,98E+05	1,25E+05	7,66E+06	1,50E+08	1522	9,59E+05	116,4	1,72E+01
Ярославская область	4,66E+05	1,83E+05	1,07E+05	7,56E+05	1,84E+07	1272	8,01E+05	66,8	9,87E+00

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Sof, (кг/год)
Центральный федеральный округ	6,98E+06	1,32E+08	1,43E+03	9,13E+06	3,07E+07	1917,901	9,3E+07	2,60E+07	1,89E+08
Белгородская область	2,28E+06	4,32E+07	4,68E+02	2,99E+06	1,00E+07	627,775637	30446220	8,52E+06	6,17E+07
Брянская область	5,49E+05	1,04E+07	1,12E+02	7,18E+05	2,41E+06	150,841998	7315621	2,05E+06	1,48E+07
Владимирская область	5,58E+04	1,05E+06	1,14E+01	7,31E+04	2,45E+05	15,3406403	743999,1	2,08E+05	1,51E+06
Воронежская область	6,18E+05	1,17E+07	1,27E+02	8,09E+05	2,72E+06	169,93766	8241733,3	2,31E+06	1,67E+07
Ивановская область	4,30E+04	8,12E+05	8,81E+00	5,63E+04	1,89E+05	11,8145827	572990,35	1,60E+05	1,16E+06
Калужская область	1,63E+05	3,07E+06	3,33E+01	2,13E+05	7,15E+05	44,6939253	2167591,4	6,07E+05	4,39E+06
Костромская область	1,85E+04	3,49E+05	3,79E+00	2,42E+04	8,13E+04	5,08301814	246519,11	6,90E+04	5,00E+05
Курская область	7,07E+05	1,34E+07	1,45E+02	9,25E+05	3,11E+06	194,25372	9421027,4	2,64E+06	1,91E+07
Липецкая область	4,89E+05	9,24E+06	1,00E+02	6,40E+05	2,15E+06	134,356534	6516099,6	1,82E+06	1,32E+07
Московская область	4,02E+05	7,59E+06	8,24E+01	5,26E+05	1,77E+06	110,45261	5356793,5	1,50E+06	1,09E+07
Орловская область	2,22E+05	4,19E+06	4,54E+01	2,90E+05	9,75E+05	60,9046318	2953787,5	8,27E+05	5,99E+06
Рязанская область	9,81E+04	1,85E+06	2,01E+01	1,28E+05	4,32E+05	26,9720512	1308105,9	3,66E+05	2,65E+06
Смоленская область	1,19E+05	2,25E+06	2,44E+01	1,56E+05	5,25E+05	32,7877566	1590159,3	4,45E+05	3,22E+06
Тамбовская область	6,70E+05	1,27E+07	1,37E+02	8,77E+05	2,95E+06	184,087684	8927989,2	2,50E+06	1,81E+07
Тверская область	2,33E+05	4,41E+06	4,78E+01	3,06E+05	1,03E+06	64,1559316	3111470,9	8,71E+05	6,31E+06
Тульская область	1,94E+05	3,66E+06	3,97E+01	2,54E+05	8,53E+05	53,303001	2585119,3	7,24E+05	5,24E+06
Ярославская область	1,11E+05	2,10E+06	2,28E+01	1,46E+05	4,90E+05	30,5896947	1483556,4	4,15E+05	3,01E+06

	Наименование параметра				
Регион	X2, (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Центральный федеральный округ	4,50E+08	6,69	6,21	8,98	8,90
Белгородская область	1,92E+07	41,10	36,75	9,19	8,66
Брянская область	9,87E+06	13,54	11,58	5,37	3,45
Владимирская область	9,60E+05	0,83	0,73	0,63	0,42
Воронежская область	1,82E+07	11,97	10,51	5,59	4,34
Ивановская область	9,00E+05	0,26	0,25	0,55	0,53
Калужская область	1,34E+06	2,46	2,28	0,88	0,60
Костромская область	8,64E+05	0,21	0,22	0,20	0,21
Курская область	2,45E+07	30,96	27,60	13,19	10,08
Липецкая область	1,21E+07	20,37	17,35	8,13	6,02
Московская область	8,35E+06	2,78	2,50	2,82	2,29
Орловская область	1,10E+07	34,60	29,15	7,44	5,39
Рязанская область	7,72E+06	3,79	3,28	3,44	2,43
Смоленская область	3,83E+06	1,84	1,88	1,40	1,08
Тамбовская область	1,96E+07	22,58	20,42	8,64	7,20
Тверская область	6,21E+06	0,63	0,72	1,00	1,16
Тульская область	6,92E+06	11,32	9,48	5,06	3,18
Ярославская область	5,08E+06	0,24	0,27	2,12	2,05

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднегого-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водоемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ А lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Ariv, (км ²)	% площади водоемов от общей территории
Сибирский федеральный округ	5,14E+06	1303,2	2143785	548,1	558850	418239	87605,66	53005	10,9%
Республика Алтай	9,29E+04	34	625000	50,9	1597	734	600	263	1,7%
Республика Тыва	1,69E+05	45,5	72200	0,1	12545	10264	1346	935	7,4%
Республика Хакасия	6,16E+04	97,7	9800	74,8	1444	321	458,73	664	2,3%
Алтайский край	1,68E+05	55,1	51000	14,3	8173	3745	3690,3	738	4,9%
Красноярский край	2,37E+06	930,2	624600	438,0	319117	226905	29874,13	62338	13,5%
Иркутская область	7,75E+05	309,5	309400	51,5	43483	17102	17526,32	8855	5,6%
Кемеровская область	9,57E+04	43,2	245152	0,2	1823	906	295,05	622	1,9%
Новосибирская область	1,78E+05	64,3	12100	13,4	38259	30596	7572	91	21,5%
Омская область	1,41E+05	41,3	19000	0,6	23166	20278	1771,03	1117	16,4%
Томская область	3,14E+05	182,3	95000	12,9	97824	91742	4451	1631	31,1%
Уральский федеральный округ	1,82E+06	597,3	514700	74,3	582286	401952	71594,23	108740	32,0%
Курганская область	7,15E+04	4,3	5100	0,1	7025	3837	3027,4	161	9,8%
Свердловская область	1,94E+05	30,2	68000	6,8	23101	20610	1188,6	1302	11,9%
Тюменская область	1,46E+06	583,7	32700	4,5	547474	46092	71137	430245	37,4%
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	5,35E+05	380,8	100000	40,0	231001	199332	30000	1669	43,2%
Ямало-Ненецкий автономный округ	7,69E+05	581,3	291000	75,0	265297	130473	44000	90824	34,5%
Челябинская область	8,85E+04	7,4	17900	33,9	4686	1927	2410	349	5,3%

	Наименование параметра						
Регион	Ширина рек W _{ггв} , (км)	Усредненная глубина рек D, (км)	Объем рек V _{ггв} , (км ³)	Общий объем воды V, (км ³)	k _{adv} , (1/год)	k _{ret} , (1/год)	k _{use} , (1/год)
Сибирский федеральный округ	0,0247	0,0148	783,26	1373	0,95	3,39	0,07
Республика Алтай	0,0004	0,0038	1,01	52	0,65	0,25	0,05
Республика Тыва	0,0130	0,0043	3,99	5	8,98	7,15	0,63
Республика Хакасия	0,0678	0,0057	3,76	79	1,24	0,29	0,09
Алтайский край	0,0145	0,0046	3,38	18	3,04	3,65	0,21
Красноярский край	0,0998	0,0130	813,13	1274	0,73	3,13	0,05
Иркутская область	0,0286	0,0087	76,87	130	2,38	4,47	0,17
Кемеровская область	0,0025	0,0042	2,61	3	14,82	5,34	1,04
Новосибирская область	0,0075	0,0049	0,44	17	3,80	6,33	0,27
Омская область	0,0588	0,0041	4,60	7	5,70	6,19	0,40
Томская область	0,0172	0,0071	11,64	34	5,41	3,35	0,38
Уральский федеральный округ	0,2113	0,0111	1203,96	1318	0,45	4,77	0,06
Курганская область	0,0315	0,0018	0,29	1	5,75	57,88	0,71
Свердловская область	0,0192	0,0037	4,78	14	2,21	2,74	0,27
Тюменская область	13,1573	0,0110	4723,23	4732	0,12	4,60	0,02
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	0,0167	0,0094	15,64	76	5,04	6,42	0,62
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,3121	0,0110	995,55	1084	0,54	4,61	0,07
Челябинская область	0,0195	0,0022	0,76	35	0,21	1,05	0,03

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f^AG
Сибирский федеральный округ	0,23	7,76E-03	7,76E+05	56677,1	5,67E+05	9,735	973,5	5,52E+08	3,45E-02
Республика Алтай	1,06	2,94E-04	2,94E+04	1791,3	1,79E+04	1,235	123,5	2,21E+06	6,24E-04
Республика Тыва	0,06	2,86E-05	2,86E+03	3833,7	3,83E+04	0,835	83,5	3,20E+06	1,13E-03
Республика Хакасия	0,62	4,44E-04	4,44E+04	1917,9	1,92E+04	14,235	1423,5	2,73E+07	4,14E-04
Алтайский край	0,14	1,02E-04	1,02E+04	11007	1,10E+05	5,835	583,5	6,42E+07	1,13E-03
Красноярский край	0,26	7,20E-03	7,20E+05	5411,5	5,41E+04	29,435	2943,5	1,59E+08	1,59E-02
Иркутская область	0,14	7,35E-04	7,35E+04	2799,5	2,80E+04	24,335	2433,5	6,81E+07	5,20E-03
Кемеровская область	0,05	1,65E-05	1,65E+03	2630,8	2,63E+04	6,935	693,5	1,82E+07	6,43E-04
Новосибирская область	0,10	9,55E-05	9,55E+03	8400,1	8,40E+04	6,435	643,5	5,41E+07	1,19E-03
Омская область	0,08	4,09E-05	4,09E+03	6721	6,72E+04	3,835	383,5	2,58E+07	9,47E-04
Томская область	0,11	1,91E-04	1,91E+04	1371,1	1,37E+04	10,735	1073,5	1,47E+07	2,11E-03
Уральский федеральный округ	0,19	7,45E-03	7,45E+05	16352,6	1,64E+05	22,08	20,635	2063,5	1,22E-02
Курганская область	0,02	4,22E-06	4,22E+02	4458,3	4,46E+04	19,94	18,635	1863,5	4,80E-04
Свердловская область	0,19	7,73E-05	7,73E+03	2580,6	2,58E+04	29,57	27,635	2763,5	1,30E-03
Тюменская область	0,21	2,67E-02	2,67E+06	4214,2	4,21E+04	40,16	37,535	3753,5	9,83E-03
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	0,08	4,27E-04	4,27E+04	630,6	6,31E+03	0,89	0,835	83,5	3,59E-03
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,19	6,12E-03	6,12E+05	200,8	2,01E+03	0,89	0,835	83,5	5,17E-03
Челябинская область	0,77	1,97E-04	1,97E+04	5099,5	5,10E+04	5,92	5,535	553,5	5,94E-04

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей $f^{\wedge}g_{agr}$	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	ΔX_1 , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Сибирский федеральный округ	1,18E-02	6,91E+08	3,45E+07	1,18E+08	13018	5330	1530
Республика Алтай	3,73E-04	1,25E+07	6,24E+05	3,73E+06	9,1	27,9	11,2
Республика Тыва	7,99E-04	2,26E+07	1,13E+06	7,99E+06	7,5	26,8	3,1
Республика Хакасия	4,00E-04	8,27E+06	4,14E+05	4,00E+06	162,9	137,9	62,2
Алтайский край	2,29E-03	2,26E+07	1,13E+06	2,29E+07	3295	874,5	220,4
Красноярский край	1,13E-03	3,18E+08	1,59E+07	1,13E+07	2208	1156	217,6
Иркутская область	5,83E-04	1,04E+08	5,20E+06	5,83E+06	857,6	600,3	152,9
Кемеровская область	5,48E-04	1,29E+07	6,43E+05	5,48E+06	967,6	685,9	226,3
Новосибирская область	1,75E-03	2,39E+07	1,19E+06	1,75E+07	1785	443,5	211,2
Омская область	1,40E-03	1,89E+07	9,47E+05	1,40E+07	3137	806,4	250
Томская область	2,86E-04	4,22E+07	2,11E+06	2,86E+06	296,5	253,8	87,3
Уральский федеральный округ	3,41E-03	2,44E+08	1,22E+07	3,41E+07	4549	2613	770
Курганская область	9,29E-04	9,60E+06	4,80E+05	9,29E+06	1267	332,3	171,7
Свердловская область	5,38E-04	2,61E+07	1,30E+06	5,38E+06	660,6	801,5	163,9
Тюменская область	8,78E-04	1,97E+08	9,83E+06	8,78E+06	1482	680,4	176,2
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	1,31E-04	7,18E+07	3,59E+06	1,31E+06	0	79,9	18,3
Ямало-Ненецкий автономный округ	4,18E-05	1,03E+08	5,17E+06	4,18E+05	0	1,1	0,1
Челябинская область	1,06E-03	1,19E+07	5,94E+05	1,06E+07	1140	798,5	258,1

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Нр, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Сибирский федеральный округ	6,25E+07	4,07E+06	1,14E+06	6,77E+07	1,02E+09	19292	1,22E+07	1012,3	1,50E+02
Республика Алтай	4,37E+04	2,13E+04	8,37E+03	7,34E+04	1,03E+07	211	1,33E+05	24,8	3,67E+00
Республика Тыва	3,60E+04	2,05E+04	2,32E+03	5,88E+04	1,67E+07	312	1,97E+05	12,4	1,83E+00
Республика Хакасия	7,82E+05	1,05E+05	4,65E+04	9,34E+05	3,02E+07	534	3,36E+05	21,7	3,21E+00
Алтайский край	1,58E+07	6,68E+05	1,65E+05	1,67E+07	4,61E+07	2391	1,51E+06	194,4	2,87E+01
Красноярский край	1,06E+07	8,83E+05	1,63E+05	1,17E+07	4,38E+08	2853	1,80E+06	129,5	1,91E+01
Иркутская область	4,12E+06	4,59E+05	1,14E+05	4,69E+06	1,56E+08	2418	1,52E+06	101,4	1,50E+01
Кемеровская область	4,65E+06	5,24E+05	1,69E+05	5,34E+06	1,96E+07	2734	1,72E+06	93,3	1,38E+01
Новосибирская область	8,57E+06	3,39E+05	1,58E+05	9,07E+06	5,02E+07	2731	1,72E+06	165,9	2,45E+01
Омская область	1,51E+07	6,16E+05	1,87E+05	1,59E+07	1,39E+07	1974	1,24E+06	157,1	2,32E+01
Томская область	1,42E+06	1,94E+05	6,53E+04	1,68E+06	5,03E+07	1070	6,74E+05	111,8	1,65E+01
Уральский федеральный округ	2,18E+07	2,00E+06	5,76E+05	2,44E+07	5,11E+08	12234	7,71E+06	752,9	1,11E+02
Курганская область	6,09E+06	2,54E+05	1,28E+05	6,47E+06	7,64E+07	877	5,53E+05	45,7	6,75E+00
Свердловская область	3,17E+06	6,12E+05	1,23E+05	3,91E+06	8,68E+07	4321	2,72E+06	197	2,91E+01
Тюменская область	7,12E+06	5,20E+05	1,32E+05	7,77E+06	3,28E+08	3546	2,23E+06	136,2	2,01E+01
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	0,00E+00	6,11E+04	1,37E+04	7,47E+04	6,74E+07	1597	1,01E+06	13,9	2,05E+00
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,00E+00	8,40E+02	7,48E+01	9,15E+02	9,79E+07	540	3,40E+05	5,1	7,54E-01
Челябинская область	5,48E+06	6,10E+05	1,93E+05	6,28E+06	2,26E+07	3490	2,20E+06	374	5,53E+01

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Sof, (кг/год)
Сибирский федеральный округ	1,69E+06	3,19E+07	3,46E+02	2,21E+06	7,42E+06	463,5621	2,2E+07	6,29E+06	4,56E+07
Республика Алтай	4,13E+04	7,81E+05	8,47E+00	5,41E+04	1,82E+05	11,3566531	550781,43	1,54E+05	1,12E+06
Республика Тыва	2,07E+04	3,90E+05	4,23E+00	2,70E+04	9,09E+04	5,67832657	275390,71	7,71E+04	5,58E+05
Республика Хакасия	3,61E+04	6,83E+05	7,41E+00	4,73E+04	1,59E+05	9,9370715	481933,75	1,35E+05	9,77E+05
Алтайский край	3,24E+05	6,12E+06	6,64E+01	4,24E+05	1,42E+06	89,0215069	4317415,7	1,21E+06	8,75E+06
Красноярский край	2,16E+05	4,08E+06	4,42E+01	2,82E+05	9,49E+05	59,3018783	2876056,2	8,05E+05	5,83E+06
Иркутская область	1,69E+05	3,19E+06	3,46E+01	2,21E+05	7,43E+05	46,4340576	2251985,3	6,31E+05	4,57E+06
Кемеровская область	1,55E+05	2,94E+06	3,19E+01	2,03E+05	6,84E+05	42,7248281	2072093	5,80E+05	4,20E+06
Новосибирская область	2,76E+05	5,22E+06	5,66E+01	3,62E+05	1,22E+06	75,9705143	3684461,2	1,03E+06	7,47E+06
Омская область	2,62E+05	4,95E+06	5,36E+01	3,43E+05	1,15E+06	71,9407342	3489022,7	9,77E+05	7,07E+06
Томская область	1,86E+05	3,52E+06	3,82E+01	2,44E+05	8,19E+05	51,196525	2482958,2	6,95E+05	5,03E+06
Уральский федеральный округ	1,25E+06	2,37E+07	2,57E+02	1,64E+06	5,52E+06	344,7752	1,7E+07	4,68E+06	3,39E+07
Курганская область	7,61E+04	1,44E+06	1,56E+01	9,97E+04	3,35E+05	20,927381	1014948	2,84E+05	2,06E+06
Свердловская область	3,28E+05	6,20E+06	6,73E+01	4,30E+05	1,44E+06	90,2121237	4375158,9	1,23E+06	8,87E+06
Тюменская область	2,27E+05	4,29E+06	4,65E+01	2,97E+05	9,98E+05	62,3700063	3024856,1	8,47E+05	6,13E+06
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2,32E+04	4,38E+05	4,75E+00	3,03E+04	1,02E+05	6,36522091	308704,11	8,64E+04	6,26E+05
Ямало-Ненецкий автономный округ	8,50E+03	1,61E+05	1,74E+00	1,11E+04	3,74E+04	2,33544077	113265,54	3,17E+04	2,30E+05
Челябинская область	6,23E+05	1,18E+07	1,28E+02	8,16E+05	2,74E+06	171,265656	8306139,2	2,33E+06	1,68E+07

	Наименование параметра				
Регион	X ₂ , (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Сибирский федеральный округ	2,45E+08	0,18	0,18	0,65	0,71
Республика Алтай	1,21E+07	0,23	0,29	2,26	2,19
Республика Тыва	1,94E+07	0,25	0,22	0,09	0,14
Республика Хакасия	8,15E+06	0,45	0,69	4,48	3,84
Алтайский край	1,14E+08	0,09	0,08	0,72	1,02
Красноярский край	1,21E+06	0,41	0,44	0,66	0,61
Иркутская область	5,71E+06	0,34	0,47	0,42	0,38
Кемеровская область	1,81E+06	0,25	0,47	0,19	0,20
Новосибирская область	6,13E+06	0,18	0,15	0,47	0,60
Омская область	2,45E+08	0,18	0,18	0,19	0,35
Томская область	1,21E+07	0,23	0,29	0,28	0,23
Уральский федеральный округ	1,05E+08	0,08	0,08	0,76	0,85
Курганская область	1,23E+06	1,64	1,98	0,22	0,29
Свердловская область	1,88E+07	1,38	1,23	1,08	1,22
Тюменская область	7,05E+07	0,01	0,01	0,65	0,68
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	5,71E+06	0,08	0,06	0,14	0,13
Ямало-Ненецкий автономный округ	1,88E+07	0,02	0,01	0,32	0,32
Челябинская область	3,22E+07	0,92	1,32	4,39	6,97

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднегого-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водосемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ A lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Ariv, (км ²)	% площади водоёмов от общей территории
Дальневосточный федеральный округ	6,17E+06	1960,3	4047600	257,6	625479	423779	112136,62	89563	10,1%
Республика Бурятия	3,51E+05	97,1	152200	39,4	28963	4877	20828,2	3258	8,2%
Республика Саха (Якутия)	3,08E+06	881,1	1527600	117,9	328711	197841	84801	46069	10,7%
Забайкальский край	4,32E+05	75,6	492951	8,0	13956	10769	2316,72	870	3,2%
Камчатский край	4,64E+05	275,2	359800	32,4	33678	25232	5946,3	2500	7,3%
Приморский край	1,65E+05	46,3	180000	14,3	8881	4667	3142,5	1072	5,4%
Хабаровский край	7,88E+05	491,2	553700	4,6	70821	56066	4722,7	10032	9,0%
Амурская область	3,62E+05	170,6	207300	49,3	59451	47945	10264,4	1242	16,4%
Магаданская область	4,63E+05	124,9	380000	17,1	52930	48154	2456,33	2320	11,4%
Сахалинская область	8,71E+04	57,3	106000	19,6	8752	6416	1118	1218	10,0%
Еврейская автономная область	3,63E+04	217,7	8231	0,1	9498	9146	65	287	26,2%
Чукотский автономный округ	7,22E+05	194,6	734800	18,4	52757	28331	1247	23179	7,3%

	Наименование параметра						
Регион	Ширина рек $W_{ггв}$, (км)	Усредненная глубина рек D , (км)	Объем рек $V_{ггв}$, (км ³)	Общий объем воды V , (км ³)	k_{adv} , (1/год)	k_{ret} , (1/год)	k_{use} , (1/год)
Дальневосточный федеральный округ	0,0221	0,0172	1539,30	1839	1,07	4,53	0,05
Республика Бурятия	0,0214	0,0057	18,42	58	1,66	6,34	0,12
Республика Саха (Якутия)	0,0302	0,0128	588,98	727	1,21	5,18	0,05
Забайкальский край	0,0018	0,0052	4,48	14	5,57	3,82	0,39
Камчатский край	0,0069	0,0083	20,78	56	4,94	3,12	0,22
Приморский край	0,0060	0,0043	4,61	19	2,40	3,30	0,11
Хабаровский край	0,0181	0,0103	103,32	113	4,33	4,58	0,19
Амурская область	0,0060	0,0070	8,65	63	2,72	2,88	0,12
Магаданская область	0,0061	0,0062	14,39	36	3,44	2,68	0,15
Сахалинская область	0,0115	0,0047	5,66	26	2,21	1,56	0,10
Еврейская автономная область	0,0349	0,0076	2,19	3	68,74	3,32	3,02
Чукотский автономный округ	0,0315	0,0073	169,48	191	1,02	4,00	0,04

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f ^{AG}
Дальневосточный федеральный округ	0,18	1,04E-02	1,04E+06	8013,3	8,01E+04	37,49	35,035	3503,5	4,14E-02
Республика Бурятия	0,12	3,30E-04	3,30E+04	3147,6	3,15E+04	0,89	0,835	83,5	2,36E-03
Республика Саха (Якутия)	0,16	4,11E-03	4,11E+05	1640,2	1,64E+04	32,57	30,435	3043,5	2,07E-02
Забайкальский край	0,10	7,67E-05	7,67E+03	7645,6	7,65E+04	3,78	3,535	353,5	2,90E-03
Камчатский край	0,12	3,15E-04	3,15E+04	475,6	4,76E+03	0,89	0,835	83,5	3,12E-03
Приморский край	0,17	1,09E-04	1,09E+04	1648,5	1,65E+04	69,80	65,235	6523,5	1,11E-03
Хабаровский край	0,11	6,41E-04	6,41E+04	665,5	6,66E+03	28,18	26,335	2633,5	5,29E-03
Амурская область	0,17	3,54E-04	3,54E+04	2733,7	2,73E+04	23,68	22,135	2213,5	2,43E-03
Магаданская область	0,16	2,05E-04	2,05E+04	121,5	1,22E+03	0,89	0,835	83,5	3,11E-03
Сахалинская область	0,26	1,47E-04	1,47E+04	182,5	1,83E+03	46,58	43,535	4353,5	5,85E-04
Еврейская автономная область	0,01	1,79E-05	1,79E+03	537,2	5,37E+03	52,57	49,135	4913,5	2,44E-04
Чукотский автономный округ	0,20	1,08E-03	1,08E+05	8,6	8,60E+01	0,89	0,835	83,5	4,84E-03

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей f^g agr	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	Δ X ₁ , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Дальневосточный федеральный округ	1,67E-03	8,28E+08	4,14E+07	1,67E+07	773,3	1305	450,2
Республика Бурятия	6,56E-04	4,72E+07	2,36E+06	6,56E+06	81,4	145,9	53,6
Республика Саха (Якутия)	3,42E-04	4,14E+08	2,07E+07	3,42E+06	12,2	76,3	36,7
Забайкальский край	1,59E-03	5,80E+07	2,90E+06	1,59E+07	211,2	171,9	34,6
Камчатский край	9,91E-05	6,23E+07	3,12E+06	9,91E+05	0,2	47,6	18,2
Приморский край	3,43E-04	2,21E+07	1,11E+06	3,43E+06	307,3	421,5	193,2
Хабаровский край	1,39E-04	1,06E+08	5,29E+06	1,39E+06	19,3	280,7	62,3
Амурская область	5,70E-04	4,86E+07	2,43E+06	5,70E+06	417,7	298,1	67,8
Магаданская область	2,53E-05	6,21E+07	3,11E+06	2,53E+05	0	10,2	4,1
Сахалинская область	3,80E-05	1,17E+07	5,85E+05	3,80E+05	0	93,3	42
Еврейская автономная область	1,12E-04	4,87E+06	2,44E+05	1,12E+06	16,7	77,2	25,9
Чукотский автономный округ	1,79E-06	9,69E+07	4,84E+06	1,79E+04	0	0	0,1

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Нр, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Дальневосточный федеральный округ	3,71E+06	9,97E+05	3,37E+05	5,05E+06	1,05E+09	6227	3,92E+06	192	2,84E+01
Республика Бурятия	3,91E+05	1,11E+05	4,01E+04	5,43E+05	4,03E+07	974	6,14E+05	37,4	5,53E+00
Республика Саха (Якутия)	5,86E+04	5,83E+04	2,74E+04	1,44E+05	4,40E+08	955	6,02E+05	22,5	3,33E+00
Забайкальский край	1,01E+06	1,31E+05	2,59E+04	1,17E+06	6,50E+07	1090	6,87E+05	49,5	7,32E+00
Камчатский край	9,61E+02	3,64E+04	1,36E+04	5,09E+04	5,86E+07	320	2,02E+05	6,3	9,31E-01
Приморский край	1,48E+06	3,22E+05	1,44E+05	1,94E+06	1,23E+08	1938	1,22E+06	14,8	2,19E+00
Хабаровский край	9,27E+04	2,14E+05	4,66E+04	3,54E+05	1,16E+08	1340	8,44E+05	9,2	1,36E+00
Амурская область	2,01E+06	2,28E+05	5,07E+04	2,28E+06	9,87E+07	811	5,11E+05	41,6	6,15E+00
Магаданская область	0,00E+00	7,79E+03	3,07E+03	1,09E+04	5,88E+07	150	9,45E+04	0,6	8,87E-02
Сахалинская область	0,00E+00	7,13E+04	3,14E+04	1,03E+05	1,86E+07	491	3,09E+05	8,4	1,24E+00
Еврейская автономная область	8,02E+04	5,90E+04	1,94E+04	1,59E+05	2,97E+07	171	1,08E+05	1,3	1,92E-01
Чукотский автономный округ	0,00E+00	0,00E+00	7,48E+01	7,48E+01	9,20E+07	51	3,21E+04	0	0,00E+00

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Sof, (кг/год)
Дальневосточный федеральный округ	3,20E+05	6,04E+06	6,56E+01	4,19E+05	1,41E+06	87,92248	4264114	1,19E+06	8,65E+06
Республика Бурятия	6,23E+04	1,18E+06	1,28E+01	8,16E+04	2,74E+05	17,1265656	830613,92	2,33E+05	1,68E+06
Республика Саха (Якутия)	3,75E+04	7,08E+05	7,68E+00	4,91E+04	1,65E+05	10,3034151	499700,89	1,40E+05	1,01E+06
Забайкальский край	8,25E+04	1,56E+06	1,69E+01	1,08E+05	3,63E+05	22,6675133	1099342	3,08E+05	2,23E+06
Камчатский край	1,05E+04	1,98E+05	2,15E+00	1,37E+04	4,62E+04	2,88495624	139916,25	3,92E+04	2,84E+05
Приморский край	2,47E+04	4,66E+05	5,05E+00	3,23E+04	1,08E+05	6,77735752	328692,14	9,20E+04	6,66E+05
Хабаровский край	1,53E+04	2,90E+05	3,14E+00	2,01E+04	6,74E+04	4,21295197	204322,14	5,72E+04	4,14E+05
Амурская область	6,93E+04	1,31E+06	1,42E+01	9,07E+04	3,05E+05	19,0498698	923891,42	2,59E+05	1,87E+06
Магаданская область	9,99E+02	1,89E+04	2,05E-01	1,31E+03	4,40E+03	0,27475774	13325,357	3,73E+03	2,70E+04
Сахалинская область	1,40E+04	2,64E+05	2,87E+00	1,83E+04	6,16E+04	3,84660832	186555	5,22E+04	3,78E+05
Еврейская автономная область	2,17E+03	4,09E+04	4,44E-01	2,84E+03	9,53E+03	0,59530843	28871,607	8,08E+03	5,85E+04
Чукотский автономный округ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0	0,00E+00	0,00E+00

	Наименование параметра				
Регион	X2, (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Дальневосточный федеральный округ	1,87E+08	0,10	0,08	0,41	0,38
Республика Бурятия	5,25E+06	0,09	0,11	0,22	0,25
Республика Саха (Якутия)	6,84E+07	0,09	0,07	0,30	0,28
Забайкальский край	6,94E+06	0,51	0,59	0,26	0,26
Камчатский край	7,13E+06	0,13	0,09	0,22	0,15
Приморский край	2,15E+07	1,11	0,85	1,66	1,41
Хабаровский край	1,29E+07	0,11	0,08	0,20	0,18
Амурская область	1,77E+07	0,28	0,22	0,58	0,53
Магаданская область	9,39E+06	0,26	0,17	0,27	0,20
Сахалинская область	4,98E+06	0,19	0,13	0,87	0,55
Еврейская автономная область	3,98E+05	0,13	0,08	0,12	0,10
Чукотский автономный округ	1,82E+07	0,10	0,07	0,34	0,30

	Наименование параметра								
Регион	Площадь территории округа, (км ²)	Среднего-летнего расход воды, (км ³ /год)	Протяженность речной сети L (км), справочная	Объем озер и водохранилищ, (км ³)	Площадь водоемов, (км ²)	Площадь А болот, (км ²)	Суммарные площади озер и водохранилищ А lak + Ares, (км ²)	Площадь рек, Ariv, (км ²)	% площади водоемов от общей территории
Южный федеральный округ	4,21E+05	288,2	84998	32,3	26536	5327	11414,16	9795	6,3%
Республика Адыгея	7,80E+03	14,1	5200	3,1	575	40	441,1	94	7,4%
Республика Калмыкия	7,47E+04	1,1	4007,9	4,9	2995	1383	1239,9	372	4,0%
Республика Крым	2,72E+04	1	5996	0,5	2	51	472,94	5996	0,0%
Краснодарский край	7,55E+04	23	29100	2,8	5665	1812	2010	1843	7,5%
Астраханская область	4,90E+04	237,7	1500	0,6	8041	1191	946	5904	16,4%
Волгоградская область	1,13E+05	258,6	37000	37,1	5250	352	4195	703	4,7%
Ростовская область	1,01E+05	26,1	9600	10,3	4010	549	1848	1613	4,0%
Северо-Кавказский федеральный округ	1,70E+05	28	48405,3	20,3	4388	553	1193,07	2642	2,6%
Республика Дагестан	5,03E+04	20,7	24000	5,3	1975	206	387	1382	3,9%
Республика Ингушетия	3,60E+03	1,7	1350	0,0	18	1	1,3	16	0,5%
Кабардино-Балкарская Республика	1,25E+04	7,5	5500	0,1	167	12	16,58	138	1,3%
Карачаево-Черкесская Республика	1,43E+04	6,1	4200	0,5	238	13	59,27	166	1,7%
Республика Северная Осетия-Алания	8,00E+03	8	3358	0,0	120	5	11,55	103	1,5%
Чеченская Республика	1,56E+04	11,6	6508,8	0,1	312	27	17,99	267	2,0%
Ставропольский край	6,62E+04	6	5800	3,8	1558	289	699	570	2,4%

	Наименование параметра						
Регион	Ширина рек W _{гив} , (км)	Усредненная глубина рек D, (км)	Объем рек V _{гив} , (км³)	Общий объем воды V, (км³)	k adv, (1/год)	k ret, (1/год)	k use, (1/год)
Южный федеральный округ	0,1152	0,0085	82,82	116	2,49	4,52	0,31
Республика Адыгея	0,0181	0,0028	0,26	3	4,24	2,19	0,52
Республика Калмыкия	0,0928	0,0011	0,40	5	0,20	3,52	0,03
Республика Крым	1,0000	0,0010	6,24	7	0,15	5,04	0,01
Краснодарский край	0,0633	0,0033	6,12	9	2,54	6,05	0,31
Астраханская область	3,9360	0,0079	46,48	47	5,04	4,61	0,62
Волгоградская область	0,0190	0,0081	5,71	43	6,03	1,94	0,74
Ростовская область	0,1680	0,0035	5,61	16	1,64	3,15	0,20
Северо-Кавказский федеральный округ	0,0546	0,0036	9,43	30	0,94	1,95	0,04
Республика Дагестан	0,0576	0,0032	4,41	10	2,12	2,54	0,09
Республика Ингушетия	0,0116	0,0013	0,02	0	77,38	4,80	3,40
Кабардино-Балкарская Республика	0,0252	0,0022	0,30	0	21,07	4,40	0,93
Карачаево-Черкесская Республика	0,0395	0,0020	0,34	1	7,49	2,83	0,33
Республика Северная Осетия- Алания	0,0308	0,0022	0,23	0	29,54	4,36	1,30
Чеченская Республика	0,0410	0,0026	0,69	1	15,14	4,27	0,67
Ставропольский край	0,0983	0,0020	1,15	5	1,21	2,98	0,05

	Наименование параметра								
Регион	t, (год)	Доля объема пресной воды региона от объема пресной воды на земле	ΔX_2 , (кг/год)	Aagr, (тыс. га)	Площадь с/х земель, Aagr (км ²)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/га)	Вносимые удобрения, Ad fer, (кг/км ²)	Суммарный объем внесенных удобрений, S fer, (кг/год)	Доля общей площади от общемировой суши f ^{AG}
Южный федеральный округ	0,14	6,54E-04	6,54E+04	31833	3,18E+05	68,935	6893,5	2,19E+09	2,83E-03
Республика Адыгея	0,14	1,88E-05	1,88E+03	360	3,60E+03	100,035	10003,5	3,60E+07	5,24E-05
Республика Калмыкия	0,27	3,05E-05	3,05E+03	6317	6,32E+04	8,135	813,5	5,14E+07	5,02E-04
Республика Крым	0,19	3,81E-05	3,81E+03	1792,5	1,79E+04	21,835	2183,5	3,91E+07	1,82E-04
Краснодарский край	0,11	5,12E-05	5,12E+03	4708,1	4,71E+04	117,335	11733,5	5,52E+08	5,07E-04
Астраханская область	0,10	2,66E-04	2,66E+04	3173,7	3,17E+04	98,035	9803,5	3,11E+08	3,29E-04
Волгоградская область	0,11	2,42E-04	2,42E+04	8761,4	8,76E+04	20,035	2003,5	1,76E+08	7,58E-04
Ростовская область	0,20	9,02E-05	9,02E+03	8512,8	8,51E+04	57,835	5783,5	4,92E+08	6,78E-04
Северо-Кавказский федеральный округ	0,34	1,68E-04	1,68E+04	12094,8	1,21E+05	75,835	7583,5	9,17E+08	1,14E-03
Республика Дагестан	0,21	5,51E-05	5,51E+03	3348,6	3,35E+04	11,535	1153,5	3,86E+07	3,38E-04
Республика Ингушетия	0,01	1,24E-07	1,24E+01	222	2,22E+03	16,435	1643,5	3,65E+06	2,42E-05
Кабардино-Балкарская Республика	0,04	2,01E-06	2,01E+02	696,1	6,96E+03	61,735	6173,5	4,30E+07	8,39E-05
Карачаево-Черкесская Республика	0,09	4,60E-06	4,60E+02	664,1	6,64E+03	266,835	26683,5	1,77E+08	9,60E-05
Республика Северная Осетия- Алания	0,03	1,53E-06	1,53E+02	400,8	4,01E+03	49,335	4933,5	1,98E+07	5,37E-05
Чеченская Республика	0,05	4,33E-06	4,33E+02	975,8	9,76E+03	18,635	1863,5	1,82E+07	1,05E-04
Ставропольский край	0,24	2,80E-05	2,80E+03	5787,4	5,79E+04	80,735	8073,5	4,67E+08	4,44E-04

	Наименование параметра						
Регион	Доля с/х площади от суммарных с/х площадей f ^{agr}	S den, (кг/год)	Ktdust * x1, (кг/год)	Δ X ₁ , (кг/год)	Us*As зерно, (тыс. тонн)	Us*As картофель, (тыс. тонн)	Us*As овощи, (тыс. тонн)
Южный федеральный округ	6,63E-03	5,65E+07	2,83E+06	6,63E+07	26998	1772	3204
Республика Адыгея	7,50E-05	1,05E+06	5,24E+04	7,50E+05	541,6	37,3	65,6
Республика Калмыкия	1,32E-03	1,00E+07	5,02E+05	1,32E+07	297,3	9,7	16,8
Республика Крым	3,73E-04	3,65E+06	1,82E+05	3,73E+06	1103	392,1	416,9
Краснодарский край	9,81E-04	1,01E+07	5,07E+05	9,81E+06	12871	603,8	766,9
Астраханская область	6,61E-04	6,58E+06	3,29E+05	6,61E+06	28,8	324,7	832,6
Волгоградская область	1,83E-03	1,52E+07	7,58E+05	1,83E+07	3914	399,7	801,3
Ростовская область	1,77E-03	1,36E+07	6,78E+05	1,77E+07	9345	397,2	721,1
Северо-Кавказский федеральный округ	2,52E-03	2,29E+07	1,14E+06	2,52E+07	11012	1375	2226
Республика Дагестан	6,98E-04	6,75E+06	3,38E+05	6,98E+06	311,7	359,5	1294
Республика Ингушетия	4,63E-05	4,83E+05	2,42E+04	4,63E+05	97,7	57	6,4
Кабардино-Балкарская Республика	1,45E-04	1,68E+06	8,39E+04	1,45E+06	938,2	225,4	347,5
Карачаево-Черкесская Республика	1,38E-04	1,92E+06	9,60E+04	1,38E+06	299	197,9	65
Республика Северная Осетия-Алания	8,35E-05	1,07E+06	5,37E+04	8,35E+05	650,4	109,9	36,8
Чеченская Республика	2,03E-04	2,09E+06	1,05E+05	2,03E+06	159,5	32	36,5
Ставропольский край	1,21E-03	8,89E+06	4,44E+05	1,21E+07	8556	393,7	440,1

	Наименование параметра								
Регион	Us*As*ks, (вынос зерна, кг/год)	Us*As*ks, (вынос картофеля, кг/год)	Us*As*ks, (вынос овощей, кг/год)	Us*As*ks, (кг/год)	Kter*X1, (кг/год)	Np, (тыс. чел)	Sp, (кг/год)	Продукция крупного рогатого скота по субъектам, (тыс. тонн)	Доля субъекта в производстве крупного рогатого скота
Южный федеральный округ	1,30E+08	1,35E+06	2,40E+06	1,33E+08	2,05E+09	13964	8,80E+06	988,2	1,46E+02
Республика Адыгея	2,60E+06	2,85E+04	4,90E+04	2,68E+06	3,36E+07	446	2,81E+05	26,5	3,92E+00
Республика Калмыкия	1,43E+06	7,41E+03	1,26E+04	1,45E+06	4,63E+07	282	1,78E+05	69	1,02E+01
Республика Крым	5,30E+06	3,00E+05	3,12E+05	5,91E+06	3,30E+07	2284	1,44E+06	113	1,67E+01
Краснодарский край	6,18E+07	4,61E+05	5,73E+05	6,29E+07	4,89E+08	5404	3,40E+06	405,9	6,00E+01
Астраханская область	1,38E+05	2,48E+05	6,23E+05	1,01E+06	3,10E+08	1017	6,41E+05	35,9	5,31E+00
Волгоградская область	1,88E+07	3,05E+05	5,99E+05	1,97E+07	1,52E+08	2569	1,62E+06	150,7	2,23E+01
Ростовская область	4,49E+07	3,03E+05	5,39E+05	4,57E+07	4,42E+08	4246	2,67E+06	186,8	2,76E+01
Северо-Кавказский федеральный округ	5,29E+07	1,05E+06	1,66E+06	5,56E+07	8,58E+08	9590	6,04E+06	706,9	1,04E+02
Республика Дагестан	1,50E+06	2,75E+05	9,68E+05	2,74E+06	3,53E+07	2964	1,87E+06	150,8	2,23E+01
Республика Ингушетия	4,69E+05	4,36E+04	4,79E+03	5,18E+05	3,13E+06	453	2,85E+05	4	5,91E-01
Кабардино-Балкарская Республика	4,51E+06	1,72E+05	2,60E+05	4,94E+06	3,82E+07	859	5,41E+05	72,1	1,07E+01
Карачаево-Черкесская Республика	1,44E+06	1,51E+05	4,86E+04	1,64E+06	1,76E+08	470	2,96E+05	31,2	4,61E+00
Республика Северная Осетия- Алания	3,12E+06	8,40E+04	2,75E+04	3,24E+06	1,67E+07	704	4,44E+05	23	3,40E+00
Чеченская Республика	7,66E+05	2,45E+04	2,73E+04	8,18E+05	1,73E+07	1346	8,48E+05	24,6	3,64E+00
Ставропольский край	4,11E+07	3,01E+05	3,29E+05	4,17E+07	4,22E+08	2794	1,76E+06	401,3	5,93E+01

	Наименование параметра								
Регион	Поголовье рогатого по субъектам Nj, (шт)	Nj*Kfj, (рогатый скот)	Доля субъекта в производстве свиней	Поголовье свиней Nj, (шт)	Nj*kfj, (свиньи)	Доля субъекта в производстве птицы	Поголовье птицы Nj, (шт)	Nj*kfj, (птица)	Sof, (кг/год)
Южный федеральный округ	1,65E+06	3,11E+07	3,37E+02	2,16E+06	7,24E+06	452,526	2,2E+07	6,15E+06	4,45E+07
Республика Адыгея	4,41E+04	8,34E+05	9,05E+00	5,78E+04	1,94E+05	12,1351334	588536,6	1,65E+05	1,19E+06
Республика Калмыкия	1,15E+05	2,17E+06	2,36E+01	1,50E+05	5,06E+05	31,5971398	1532416,1	4,29E+05	3,11E+06
Республика Крым	1,88E+05	3,56E+06	3,86E+01	2,46E+05	8,28E+05	51,7460405	2509608,9	7,03E+05	5,09E+06
Краснодарский край	6,76E+05	1,28E+07	1,39E+02	8,85E+05	2,97E+06	185,873609	9014604,1	2,52E+06	1,83E+07
Астраханская область	5,98E+04	1,13E+06	1,23E+01	7,83E+04	2,63E+05	16,4396713	797300,53	2,23E+05	1,62E+06
Волгоградская область	2,51E+05	4,74E+06	5,15E+01	3,29E+05	1,10E+06	69,009985	3346885,5	9,37E+05	6,79E+06
Ростовская область	3,11E+05	5,88E+06	6,38E+01	4,07E+05	1,37E+06	85,5412422	4148627,8	1,16E+06	8,41E+06
Северо-Кавказский федеральный округ	1,18E+06	2,23E+07	2,41E+02	1,54E+06	5,18E+06	323,7104	1,6E+07	4,40E+06	3,18E+07
Республика Дагестан	2,51E+05	4,75E+06	5,15E+01	3,29E+05	1,11E+06	69,055778	3349106,4	9,38E+05	6,79E+06
Республика Ингушетия	6,66E+03	1,26E+05	1,37E+00	8,72E+03	2,93E+04	1,83171825	88835,714	2,49E+04	1,80E+05
Кабардино-Балкарская Республика	1,20E+05	2,27E+06	2,46E+01	1,57E+05	5,28E+05	33,0167214	1601263,7	4,48E+05	3,25E+06
Карачаево-Черкесская Республика	5,20E+04	9,82E+05	1,07E+01	6,80E+04	2,29E+05	14,2874023	692918,57	1,94E+05	1,40E+06
Республика Северная Осетия- Алания	3,83E+04	7,24E+05	7,85E+00	5,02E+04	1,69E+05	10,5323799	510805,35	1,43E+05	1,04E+06
Чеченская Республика	4,10E+04	7,74E+05	8,40E+00	5,37E+04	1,80E+05	11,2650672	546339,64	1,53E+05	1,11E+06
Ставропольский край	6,68E+05	1,26E+07	1,37E+02	8,75E+05	2,94E+06	183,767133	8912443	2,50E+06	1,81E+07

	Наименование параметра				
Регион	X2, (кг/год)	C ₂₀₁₉ , (мг/л)	C ₂₀₄₅ , (мг/л)	Нагрузка 2019	Нагрузка 2045
Южный федеральный округ	2,87E+08	2,48	2,71	9,05	9,80
Республика Адыгея	5,04E+06	1,52	1,63	10,09	9,21
Республика Калмыкия	1,32E+07	2,46	3,91	2,55	3,75
Республика Крым	7,60E+06	1,13	7,274	3,48	1,82
Краснодарский край	5,74E+07	6,34	6,72	10,18	10,61
Астраханская область	3,04E+07	0,64	0,69	8,46	8,73
Волгоградская область	1,84E+07	0,43	0,55	2,27	2,78
Ростовская область	9,08E+07	5,69	6,29	13,38	13,15
Северо-Кавказский федеральный округ	3,05E+08	10,27	10,18	24,30	24,01
Республика Дагестан	9,25E+06	0,95	1,18	3,23	3,11
Республика Ингушетия	4,20E+04	1,91	2,16	0,20	0,18
Кабардино-Балкарская Республика	1,59E+06	4,47	4,28	1,75	1,69
Карачаево-Черкесская Республика	1,67E+07	20,49	18,76	14,98	14,51
Республика Северная Осетия-Алания	5,17E+05	1,91	1,86	0,96	0,88
Чеченская Республика	9,60E+05	1,25	1,38	1,01	0,94
Ставропольский край	1,04E+08	21,01	21,14	21,76	21,30

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2021622068ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2021622068</u>	Авторы: Васильева Евгения Григорьевна (RU), Макарова Анна Сергеевна (RU), Пищаева Ксения Витальевна (RU), Васильев Александр Сергеевич (RU), Развин Илья Владимирович (RU)
Дата регистрации: 04.10.2021	
Номер и дата поступления заявки: 2021621846 03.09.2021	
Дата публикации: <u>04.10.2021</u>	Правообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «ЙОСЯ» (RU)
Контактные реквизиты: hurts.ivanova@yandex.ru	

Название базы данных:

База данных для расчета антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации

Реферат:

База данных предназначена для расчёта антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации включает в себя данные из различных источников, включая Статистический ежегодник Федеральной службы государственной статистики, государственные доклады министерств и ведомств, научные статьи и пр. В рамках базы представлены данные об общих размерах субъектов Федерации и площадях их сельскохозяйственных земель, о обеспеченности субъектов водными ресурсами и соотношением их использования для обеспечения промышленных и хозяйственно-бытовых нужд, о количестве вносимых в почву минеральных удобрений и объёмах выращиваемых сельскохозяйственных культур и др. Данные сгруппированы для каждого отдельно взятого субъекта Российской Федерации в последовательности, необходимой для обеспечения расчётов антропогенной фосфорной нагрузки на пресноводные объекты субъектов Российской Федерации.

ОС: Linux, Windows 7/8/10.

Вид и версия системы управления базой данных: Access**Объем базы данных:** 143 КБ