



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Магистерская диссертация

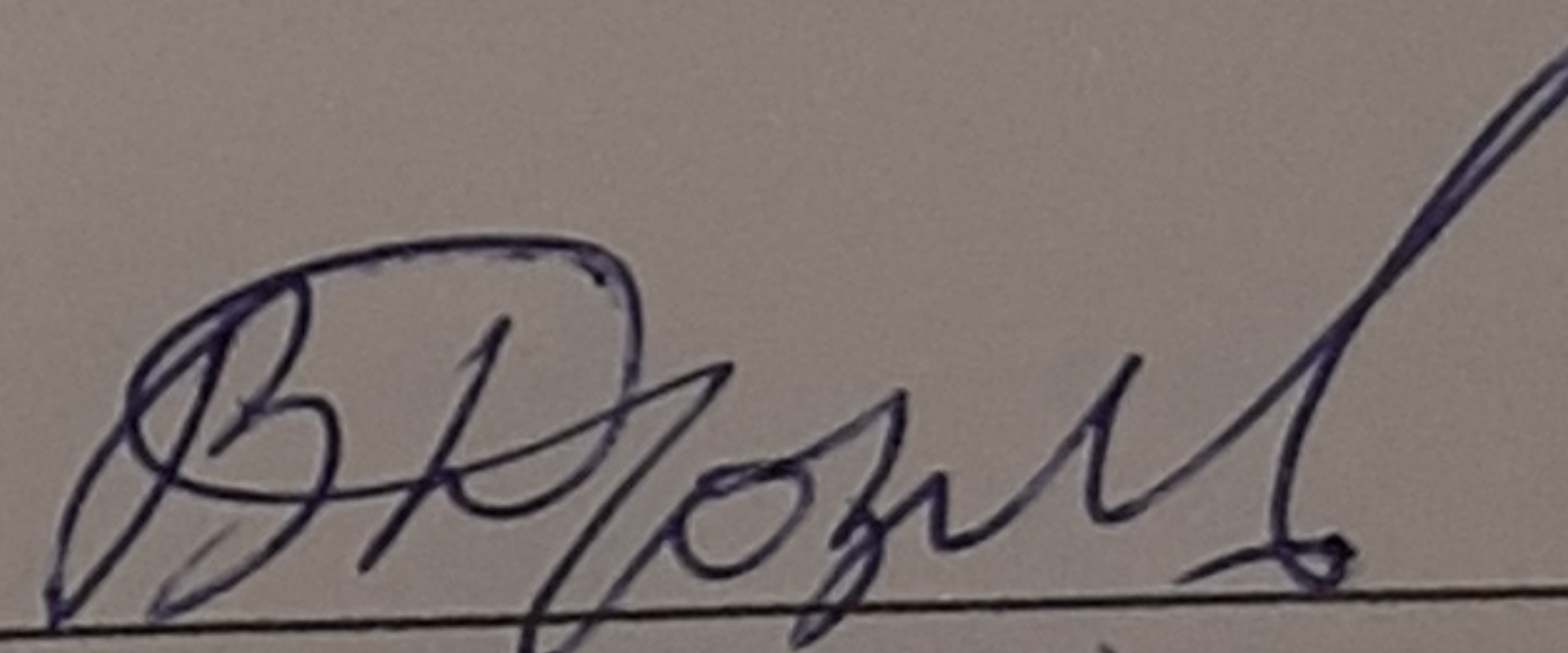
**На тему: "Исследование формирования биогенной нагрузки от
диффузных (распределенных) источников в Ленинградской области"**

Исполнитель **Большакова Мария Павловна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **Доцент кафедры ГПЭБ**
(ученая степень, ученое звание)
Ершова Александра Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« » ноября 2022 г.

**Санкт-Петербург
2022**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Физико-географическая характеристика Ленинградской области.	7
1.2 Характеристика водных объектов Ленинградской области	8
1.3 Частный водосбор реки Невы	9
1.2.1 Водосбор реки Волхов.....	10
1.2.2 Водосбор реки Сясь	11
1.2.3 Водосбор реки Свирь	12
1.2.4 Водосбор реки Оять.....	12
1.2.5 Водосбор реки Паши	13
1.2.6 Водосбор реки Вуокса	14
1.2.7 Водосбор реки Морье	14
1.3 Водосборный бассейн реки Луги.....	16
1.4 Водосборный бассейн реки Нарвы	18
1.5 Почвы Ленинградской области	21
Глава 2 Биогенная нагрузка.	22
2.1 Хельсинкская комиссия (ХЕЛКОМ). Биогенная нагрузка, получаемая от диффузных источников. Комиссия по вопросам защиты морской среды	26
2.2 Условия формирования биогенной нагрузки на акваторию крупных бассейнов Ленинградской области.....	27
2.2.1 Сельскохозяйственные предприятия.....	40
2.2.2 Сточные воды	50

2.2.2.1 Очистка хозяйственно-бытовых и общесплавных стоков Ленинградской области.....	53
Глава 3. Методики изучения диффузной нагрузки от распределенных источников.....	58
3.1 Описание математических моделей биогенной нагрузки	58
3.2 Математическая модель формирования биогенной нагрузки на водосбор Ленинградской области	61
Глава 4. Расчет и анализ биогенной нагрузки на водосбор Ленинградской области.....	69
4.1 Результаты расчета биогенной нагрузки на водосбор Ленинградской области	75
Заключение.....	79
Список использованной литературы.....	81

Введение

На текущий момент развивается политика действий европейских стран при участии России в сфере защиты экологии Балтийского моря. Разрабатываемые меры должны снизить уровень антропогенного воздействия на акваторию Балтийского моря.

Главное следствие оказываемой антропогенной нагрузки развитие эвтрофикации рек, входящих в состав водосбора Балтийского моря.

Данная тема является актуальной, так как в Ленинградской области за последние десятилетия наблюдается рост производительности аграрного хозяйства, за счет этого фактора увеличивается приток в водные объекты биогенных веществ, таких как азот и фосфор, что впоследствии вызывает явление эвтрофикации. Данный вид нагрузки растет из года в год и напрямую противоречит требованиям Плану действий по Балтийскому морю (сокращенно - ПДБМ), разработанному организацией ХЕЛКОМ.

В данном исследовании выполняется количественная оценка биологической нагрузки поступления биогенных веществ за счет стока в водные объекты Ленинградской области. При проведении расчетов были использованы статистические данные Росстата.

Для того, чтобы оценить уровень внешней нагрузки на водоемы Ленинградской области, в данной работе была применена математическая модель, позволяющая оценить уровень выноса химических элементов с водосбора и выполнить анализ развития алгоритмов формирования составляющих внешней нагрузки на водные объекты [33].

Поскольку наибольший вклад в загрязнение биогенными веществами привносит речной сток от диффузных источников, в частности от сельскохозяйственных земель, представляется целесообразным анализ загрязнения биогенными веществами (азотом и фосфором), попадающих в

водные объекты с сельскохозяйственных предприятий и животноводческих ферм Ленинградской области.

Объектом исследования являются поверхностные водные объекты, расположенные на территории Ленинградской области.

В настоящей магистерской диссертации предметом исследования является воздействие биогенной нагрузки, оказываемой диффузными источниками на водосборы Ленинградской области.

Цель данной работы - выполнить количественную оценку биогенной нагрузки за счет поступления фосфора (Р общий) и азота (N общий) от диффузных (распределенных) источников на поверхностные водные объекты, находящиеся в Ленинградской области.

Так же в цели данного исследования входит определение и описание тех факторов загрязнения, которые можно отнести к антропогенным.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

1. Проанализировать данные физико-географических характеристик Ленинградской области.

2. Охарактеризовать часть водосбора Балтийского моря на территории Ленинградской области, а также выполнить описание частного водосбора реки Невы.

3. Рассмотреть современные научные труды, включающие в себя информацию касательно биогенной нагрузки. Провести обзор справочных данных о биогенной нагрузке, получаемой непосредственно Финским заливом.

4. Изучить условия появления биогенной нагрузки, оказываемой на водосборы крупных рек Ленинградской области.

5. Оценить уровень биогенной нагрузки на водосборы (в частности реки), оказываемой хозяйственной деятельностью человека - ростом уровня урбанизации территории Ленинградской области и деятельностью сельскохозяйственных предприятий.

6. Проанализировать возможность реализации рекомендаций ХЕЛКОМ, указанных в Плане действия по Балтийскому морю (ПДБМ) для вод Финского залива с российской стороны.

Глава 1. Физико-географическая характеристика Ленинградской области.

«Ленинградская область относится к Северо-Западному федеральному округу России. Крупнейшим городом Ленинградской области является город Санкт-Петербург, который является ее административным центром. Ленинградская область имеет наземные границы с двумя государствами, а именно с Финляндией (длина границы - 137 км) и Эстонией (длина границы 68 км)» [20].

В общем числе длина периметра сухопутной границы Ленинградской области составляет 2440 км. Она граничит с пятью внутренними субъектами Российской Федерации. На севере находится граница с Карелией, длина которой составляет 375 км. Граница с Псковской областью на юге имеет длину 259 км. Юго-восточная граница с Новгородской областью составляет 712 км. На востоке проходит граница с Вологодской областью, протяженностью 541 км; граница с самим Санкт-Петербургом, имеющим статус города федерального значения, имеет длину 348 км [20].

За период 2021 года изменений в границах Ленинградской области не произошло. Площадь области составляет 83 908 км², из которых 10 068,0 км² заняты Ладожским и Онежским озёрами, что составляет 11,9% от общей площади региона. Хвойные и лиственные породы деревьев составляют лесной покров.

В Ладожское озеро впадает 35 рек, и вытекает из него река Нева. Согласно данным на 01.01.2021 г., Ленинградская область имеет высокую степень урбанизации. В ее состав входит 63 городских поселения. Также насчитывается 134 поселения, считающихся поселениями сельского типа. Муниципальные районы, в состав которых входят вышеуказанные поселения, насчитывают 16 районов. В состав Ленинградской области входит 217

муниципальных образований, в том числе 31 город. В городах проживает почти две трети населения региона. Из числа городов, входящих в подчинение Ленинградской области, семь имеют население более 50 тыс. человек, и, таким образом, имеют среднюю населенность [20].

Наибольшее антропогенное влияние на крупные водные объекты Ленинградской области оказывается за счет прибрежных территорий с высокоразвитой промышленной инфраструктурой, включающих в себя нефтяные терминалы, угольные терминалы порта, которые создают экологическую нагрузку [20].

За последние несколько лет данное положение усугубилось за счет масштабного строительства, а также за счет возросшей рекреационной нагрузки.

За счет этих факторов такие территории являются зонами с повышенным экологическим риском.

1.2 Характеристика водных объектов Ленинградской области

Наиболее крупными реками, впадающими в Финский залив, и относящимися таким образом к водосбору Балтийского моря, являются реки Нева, Нарва и Луга.

Также на юго-востоке Ленинградской области протекают реки, относящиеся к верховолжскому бассейну.

Территория Ленинградской области включает в себя около 25 тыс. рек, (в большинстве представляющих собой небольшие реки и ручьи). Их общая длина составляет примерно 50 тыс. км. Плотность покрытия рек составляет 0,6 км/км². Понижение уровня воды (межень) происходит преимущественно зимой и осенью, исключая паводки, вызванные осенними дождями. Период ледостава продолжается с конца ноября по декабрь. Ледоход, наступающий

ориентировочно в конце апреля, а иногда в мае, присутствует в крупных реках, таких как Нева, Луга и Нарва.

Водосбор реки Невы составляет основную часть всего водосбора Ленинградской области.

Нева начинает течение из вод Ладожского озера, затем попадает в Финский залив, который, в свою очередь, является частью Балтийского моря. Водосбор Ладожского озера включает следующие крупные реки: Вуоксу, Волхов и Свирь. В среднем за несколько лет речной сток в Ленинградской области составил 89,2 км³/год [34].

1.3 Частный водосбор реки Невы

«Река Нева, вытекающая из Ладожского озера, впадает в Невскую губу Финского залива, относящемуся к Балтийскому морю. Водосборная площадь бассейна Невы составляет 281 тыс. км² (при учете бассейна Ладожского озера). Длина реки равна 74 км. Площадь собственного бассейна Невы всего 5,17 тыс. км², что составляет приблизительно 2% от общей площади бассейна. Нева является частью Волго-Балтийского водного пути, а также Беломорско-Балтийского канала. По Неве осуществляется движение судоходного транспорта на всем протяжении реки» [39].

Санкт-Петербург - наиболее крупный город Ленинградской области, расположен в дельте р. Невы. В западной части области на левом берегу Невы находятся города Кировск и Отрадное. В устье Невы располагается г. Шлиссельбург. Самый большой процент урбанизации территорий приходится на Санкт-Петербург [39].

«Лесной покров по берегам водосбора представлен хвойными, лиственными, а также смешанными лесами. На территории частного водосбора реки Невы преобладают болотные и торфяные почвы, а также средне- и слабоподзолистые почвы; сильноподзолистые и подзолы; дерново-

подзолистые; дерново-карбонатные. Речной бассейн Невы, включающий в себя бассейны рек Онежского и Ладожского озер, разделен на три частных подбассейна. Земли, используемые для сельскохозяйственных нужд, распределяются по всей территории водосборного бассейна неравномерно. Наибольшая часть посевной площади засеивается зерновыми, а также зернобобовыми культурами. Частный водосбор реки Невы включает в себя водосборы таких рек, как Волхов, Сясь, Свирь, Оять, Паша, Морье, Авлога» [39].

1.2.1 Водосбор реки Волхов

Водосбор Ладожского озера включает в себя бассейн реки Волхов и озеро Ильмень. Площадь бассейна составляет 80,2 тыс. квадратных километров. Таким образом, Ладожское озеро имеет связь с Балтийским морем. Через р. Неву воды попадают в Невскую губу, затем в Финский залив, далее в Балтийское море.

Протекает через четыре российских региона. На Ленинградскую область, на территории которой также находится данный водоем, приходится 8% от ее общей площади. Наиболее значительный вклад приходится на Новгородскую область - 61%, Псковскую область - 21%, Тверскую область - 10 %. Река имеет протяженность 224 км с площадью 80200 тыс. км² [37].

Почвы имеют разный гранулометрический состав и представляют собой глины и пески. Река протекает по таёжно -лесной зоне. Имеет подзолистый тип почв по все территории водосбора, которые делятся на два часто встречаемых подтипа: дерново-подзолистые и подзолистые, меняющиеся с севера на юг [31].

На территории водосбора реки Волхов преобладают хвойные породы деревьев (ель, сосна, лиственница) составляющих большую часть лесного массива на данной территории. Такой характер растительности свойственен

для средней, а также южной тайги. Таким образом, территориально бассейн реки относят к Евроазиатской хвойной лесной зоне [31].

Население данного участка составляет 977,19 тыс. человек, при этом городское население включает 668,77 тыс. человек, что составляет 71,4 % от всего населения бассейна. Наиболее населенным городом в бассейне реки Волхов является Великий Новгород с населением 227,1 тыс. чел. Из остальных городов следует выделить такие наиболее крупные населенные пункты, как «г. Великие Луки с населением 98,55 тыс. жителей, г. Вышний Волочек – 51,7 тыс. чел., г. Боровичи – 54,8 тыс. чел., г. Старая Русса – 32,2 тыс. чел., а также г. Удомля с населением 30,8 тыс. жителей» [31].

1.2.2 Водосбор реки Сясь

Свой исток река Сясь начинает в пределах Новгородской области из болота, расположенного на западном склоне Валдайской возвышенности.

Затем река тянется по территории Ленинградской области в пределах Тихвинского и Волховского районов, далее впадает в Ладожское озеро. Устье реки Сясь находится восточнее устья реки Волхов.

«Длина реки составляет 260 км. Площадь водосборного бассейна 7330 км². В пределах Ленинградской области длина реки составляет 190 км, а площадь водосбора - 6200 км². В междуречьях Волхов - Сясь и Сясь - Паша находятся наиболее крупные болотные массивы» [34].

Сясьстрой - крупнейший город, расположенный на берегу реки Сясь. Также в пределах водосбора реки расположены следующие населенные пункты: города - Тихвин, Бокситогорск, Пикалёво; поселки городского типа - Колчаново и Неболчи. В своей совокупности население, проживающее на территории водосбора р. Сясь составляет примерно 108 тыс. чел. [41].

В долине реки Сясь проходят зоны, которые географически относятся к среднетаежной и южнотаежной подзонам [25]. Для водосбора реки Сясь являются характерными дерново-подзолистые и подзолистые почвы.

На территории водосбора осуществляется сельскохозяйственная деятельность, к основным видам хозяйств относятся животноводческие и растениеводческие предприятия, а также рыбхозы.

1.2.3 Водосбор реки Свирь

Река Свирь начинает свой путь из Онежского озера и заканчивает в Ладожском озере. Длина реки составляет 224 километра. Ее же площадь, учитывая площадь Онежского озера - 83230 км², из них в пределах Ленинградской области - 17915 км². «Средняя ширина реки составляет 180 - 200 м. Средняя скорость течения составляет 1,2-1,5 м/с, а среднегодовой расход воды - 780 м³/с» [40].

На территории водосбора р. Свирь располагаются следующие поселения:

- г. Вознесенье;
- г. Лодейное поле;
- г. Подпорожье;
- пгт. Свирьстрой [40].

1.2.4 Водосбор реки Оять

«Река Оять длиной 266 км и площадью водосбора 5250 км² протекает по Ленинградской области на территории Подпорожского, а также Лодейнопольского района. Оять имеет истоки в Чаймозере, в Вологодской области. Река впадает в Свирь с ее левого берега, на расстоянии 15 км от устья

Свири. Длина составляет 250 км (в Ленинградской области). Площадь водосборного бассейна составляет 4960 км². Речные ресурсы используются в качестве источника обеспечения водой жилых и промышленных зон в таких населённых пунктах, как посёлок Курба, село Винницы, деревня Ярославичи» [17].

1.2.5 Водосбор Река Паша

Река Паша целиком находится в пределах Ленинградской области. Она является самым крупным притоком реки Свирь. «Ее длина составляет 242 км. Средний уклон равен 0,44 м/км. Площадь водосбора реки Паши составляет 6650 км²» [8].

Истоки реки Паши начинаются из озера Пашозеро, расположенного в Тихвинском р-не Ленинградской области, на склоне Вепсовской возвышенности.

Река Паша является притоком р. Свирь и впадает в нее на расстоянии 8 км от ее устья. В свою очередь, р. Свирь имеет сильно разветвленную сеть притоков. Река имеет высокие берега, покрытые хвойными и смешанными лесами.

Грунт русла реки чаще всего является песчаным, иногда каменистым - это характеризуется наличием гальки и валунов в местах порогов. Из населенных пунктов здесь расположены преимущественно деревни: Шугозеро, Вихмязь, Рыбежно, Надкопанье, Свирица [8].

1.2.6 Водосбор реки Вуоксы

Длина реки Вуоксы составляет 153 км. Река берет свое начало на территории Финляндии. Она вытекает из озера Сайма, а затем впадает в западную часть Ладожского озера. Река преодолевает Выборгский и Приозерский районы Ленинградской области, вся ее протяженность на территории Ленинградской области составляет 27 км.

«В целом площадь водосбора реки Вуоксы составляет 68700 км², из которых 6690 км² относятся к российской территории, что составляет 10% от все площади водосбора. В свою очередь, из них 6430 км² относятся к Ленинградской области» [40].

Р. Вуокса имеет сеть, состоящую из множества притоков. В своей совокупности длина всех притоков не составит и 20 км. Такая сеть включает в себя до пятисот малых притоков, а также 12 рек, длина которых составляет более 10 км. Такими реками являются р. Бегуновка, р. Волчья, р. Вьюн. Река Вуокса включает систему приблизительно из 3,5 тысяч озер.

Через северный и южный рукава река заканчивает свое течение в Ладожском озере. Система притоков р. Вуоксы (в основном через южный рукав) приносит Ладожскому озеру около 28% от всего притока получаемых вод, что составляет в общем до 18,8 км³ воды ежегодно.

1.2.7 Водосбор реки Морье

Вытекает из озера Хепоярви, преобладающее направление течения — на восток. Протекает по безлюдной территории Ржевского полигона. Впадает в бухту Морье Ладожского озера у деревни Морье, в 5 км севернее станции Ладожское озеро. Вход в реку из озера прегражден песчаным баром. Через бар ведёт проход с глубинами 0,6 — 0,9 м. Глубина реки составляет 1,2 — 2,3 м [28].

1.2.8 Водосбор реки Авлога

Авлога (финское название - Vuolejoki) – река, протекающая в Ленинградской области. Расположена во Всеволожском районе. Авлога впадает в Ладожское озеро. Имеет длину 54 км. Площадь водосбора составляет 385 км². В районе деревни Хиттолово (Всеволожский район Ленинградской области) расположены озера Сювеярви и Мадалаярви, из которых Авлога вытекает [6].

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют информацию касательно границ водосборов рек, образующих водосбор реки Невы в границах региона, а также на них обозначены основные ее основные притоки.



Рис. 1. Карта-схема водосборного бассейна р. Невы в границах Санкт-Петербурга и Ленинградской области

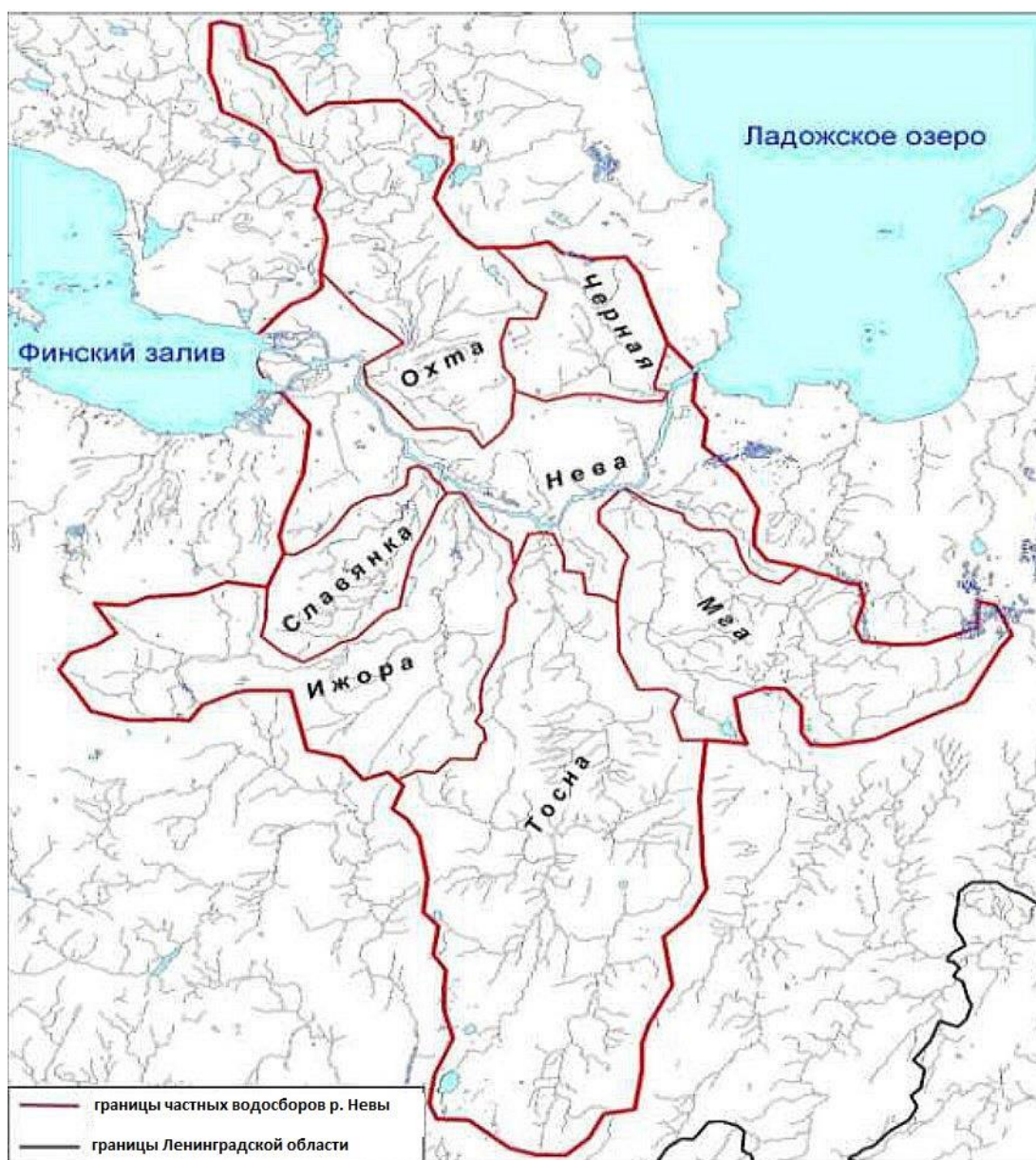


Рис. 2. Карта-схема границ водосборов основных притоков р. Невы

1.3 Водосборный бассейн реки Луги

«На территориях бассейна реки Луги и реках бассейна Финского залива протекает порядка 138 рек, длина которых составляет более 10 км, а также около 4767 рек, имеющих длину меньше 10 км» [33].

Река Луга имеет сеть притоков, которые составляют ее бассейн. Главным образом это такие крупные реки, как Оредеж, Ящера, Кемка, Долгая, а также Хревица. Помимо вышеперечисленных рек, система притоков р. Луги

включает малые реки южного побережья Финского залива. Это реки Дудергофка, Красненькая, Коваши, Лебяжье, Черная и Хаболовка.

«Бассейн реки Луги и рек бассейна Финского залива (от северной границы бассейна реки Луги до южной границы бассейна реки Невы) площадью около 16800 км² расположен на северо-западе европейской территории России на территории четырех субъектов Российской Федерации – г. Санкт-Петербурга (Кировский, Красносельский и Петродворцовый районы), Новгородской и Псковской областей (рисунки 1.1, 1.2). Бассейн вытянут в направлении по долготе на 135 км от 58°30' на юге и до 60°55' на севере, а по широте на 170 км от 28°20' на западе и до 30°50' на востоке» [4].

Для данной системы строения гидрографической сети является характерным наличие мелких рек. Таким образом, примерно 97% рек имеют длину, не достигающую 10 км.

Границы водосбора реки Луги обособляются границами бассейна р. Нарвы на западе, и бассейном р. Невы на востоке. На севере Ленинградской области Луга впадает в Финский залив.

«Наиболее крупными реками бассейна являются р. Луга (длина 353 км), а также р. Оредеж (длина 192 км)» [34].

На рисунке 3 обозначены границы бассейна реки Луга.

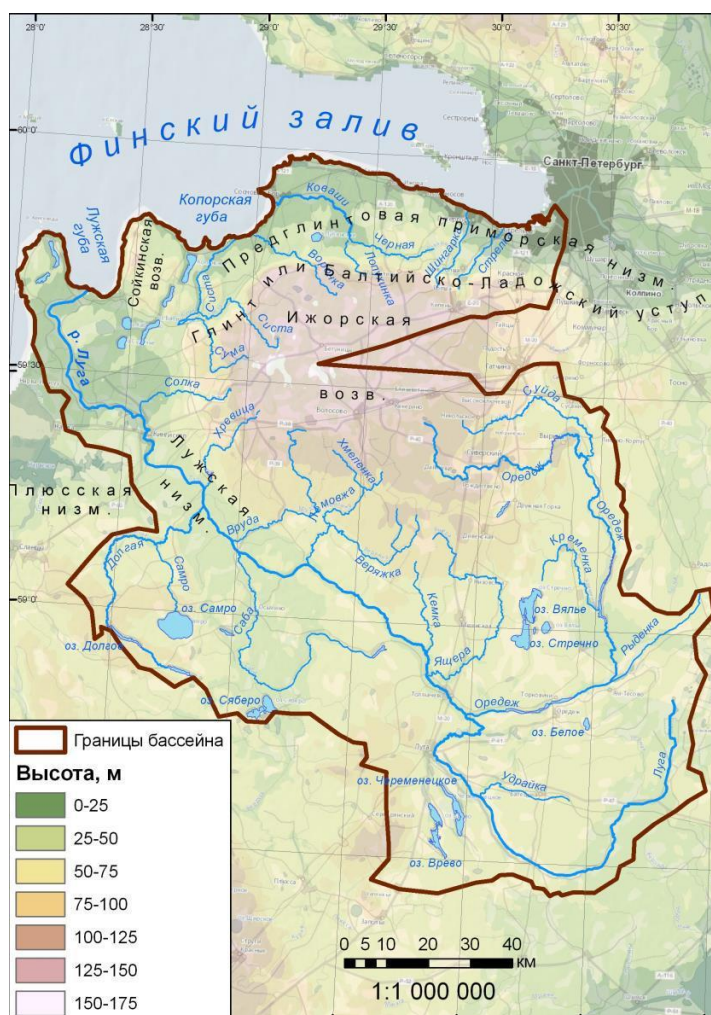


Рис. 3. Физическая карта бассейна реки Луги и рек бассейна Финского залива (от северной границы бассейна реки Луги до южной границы реки Невы)

1.4 Водосборный бассейн реки Нарв

Площадь реки Нарвы составляет 56200 км². Река протекает на территории четырех государств - Эстонии, Латвии, Россия и Белоруссии (рисунок 4). В пределах территории Российской Федерации, река располагается в северо-западной части страны. Здесь находиться 35,7 тыс. км² площади бассейна - это составляет 63,5 % от всего водосбора. Река пролегает через Псковскую и Ленинградскую область. На Псковскую область приходится 92 % площади бассейна, а на Ленинградскую - 8 %.

«Общее падение Нарвы - 29,8 м, средний уклон составляет 0,39%. Среднегодовой расход – 396 м³/с, а средняя скорость течения – 0,54 м/с. В ширину река достигает 179 м. Средняя глубина составляет 5,6 м, а площадь водного сечения – 1059 м². По полноводности Нарва занимает второе место из всех рек, впадающих в Финский залив» [37].

«На территорию России приходится 63,5% от общей площади бассейна, что составляет 35,7 тыс. км². Из них 92% находятся в Псковской области, а 8% - в Ленинградской области. Длина бассейна реки составляет порядка 400 км, а ширина - приблизительно 160 км. Псковско-Чудское озеро, имеющее площадь 3555 км², является четвертым по площади пресноводным водоемом в Европе [37].

Река Великая, впадающая в озеро с юга, имеет длину 430 км. Площадь водосбора реки - 25200 км², что составляет 45% от общей площади бассейна реки Нарвы. Река Нарва, длина которой составляет 77 км, вытекает из северной части Псковско-Чудского озера, далее впадая в Финский залив. Нарвский гидроузел находится в 20 км от устья Нарвы, образуя, таким образом, Нарвское водохранилище, площадь которого составляет 191 км². Объем водохранилища составляет 365 млн. км³. Оно было построено с целью регулирования суточного стока воды в 1956 г. [37].

В норме подпертый уровень водохранилища (НПУ) 25,0 м БС. Подпор от плотины распространяется вверх по Нарве до деревни Степановщина, а также по реке Плюссе до города Сланцы.

Сток реки Нарвы зарегулирован в верхнем течении Псковско-Чудским озером (коэффициент зарегулированности стока составляет 0,86), а в нижнем течении – Нарвским водохранилищем.

Ход уровня воды в нижнем течении реки, протяженность которого составляет 15 км, находится под влиянием нагонов со стороны Финского залива. Их высота в среднем достигает 0,2-0,4 м. Основные притоки Нарвы - это реки Втроя, Струга, Большая Черемуха, Боровня, Мустайыги, Плюсса,

Кульгу, Тыввайыэ, Россонь. Общее число притоков, длина которых менее 10 км, впадающих в Нарву – 39, а их суммарная длина составляет 113 км [37].



Рис. 4. Физическая карта бассейна реки Нарвы

1.5 Почвы Ленинградской области

Основные почвы Ленинградской области - подзолистого и подзолисто-глеевого типа.

На северной стороне региона преобладают поверхностно-подзолистые почвы, маломощные подзолы, на юге области чаще всего встречаются дерново-подзолистые.

С запада до востока Ленинградской области, в районе ордовикского плато, часто встречается болотный тип почв. Они представлены торфянистыми и дерново-карбонатными типами.

Наименее часто встречающимся типом почв в Ленинградской области является дерново-аллювиальный, встречаемый в поймах рек, таких как Луга, Оредеж и так далее [35].

«В основе принципа, по которому распределены участки области на почвенные районы и подрайоны, принимаются преобладающие типы и подтипы почв, а также учитывают такие факторы, как: механический состав, почвообразующую породу, глубину залегания карбонатов, характер рельефа, распространенность болот, заболоченность почв» [35].

«Общая площадь, которую занимает земельный фонд Ленинградской области, составила ориентировочно 8,4 млн.га. При этом площадь земель, занимаемых под сельскохозяйственные нужды, составляет более чем 1,7 млн.га» [35]. Это является большим, чем пятая часть от всей земельной площади [35].

Глава 2 Биогенная нагрузка.

В ходе теоретического обзора было указано, что термин «биогенная нагрузка» характеризуется количеством вещества, поступающего в водоем за наблюдаемый период времени.

Нагрузку можно рассчитать на объем водного объекта, или же на единицу площади акватории.

Нагрузка, оказываемая на водный объект, является постоянным воздействующим фактором. За счет нее определяется химический состав и качество воды, состав отложений дна, а также биологические процессы в воде.

Биогенная нагрузка представляет собой совокупность двух видов нагрузки: внешней нагрузки», которая формируется за счёт поступления от внешней среды, и внутренней нагрузки, образованной формированием веществ внутри самого водоема, или за счет отложений со дна [22].

Внешняя нагрузка по типу источников формирования подразделяется на точечную и рассредоточенную [22].

Точечная нагрузка формируется за счет сброса очищенных и неочищенных сточных вод, которые образуются в результате деятельности промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных предприятий.

«Вынос веществ с площади всего водосбора образует, таким образом, рассредоточенную нагрузку, включающую в себя эмиссию химических веществ из почв, а также смыв загрязнений с поверхности» [22].

В зависимости от природы сброса, нагрузка классифицируется как естественная или антропогенная.

Естественная нагрузка формируется за счет дождевого и талого стока, вымывающего химические вещества с естественных образований, не имеющих антропогенного происхождения (леса, болота, луга).

Деятельность человека как фактор, создающий нагрузку на водосбор, формируется за счет сточных вод промышленности, муниципальных предприятий, а также сельского хозяйства. В результате происходит вынос растворенных и взвешенных примесей с земельных территорий, на которых используются удобрения, а также с залежных земель.

Главной причиной эвтрофирования и загрязнения у водных объектов является оказываемая на него внутренняя и внешняя нагрузка [27].

Превышение допустимых нормативов у показателей качества природной воды, а также высокие концентрации загрязняющих веществ, возникает в результате загрязнения за счет поступления химических веществ, оказывающего негативное воздействие на гидробиоты.

В результате снижения воздействия нагрузки на водный объект показатели качества воды приходят к уровню допустимых показателей - за счет выноса химических веществ, их осаждения на дно, а также процесса самоочищения.

Эвтрофирование - процесс естественного развития экосистемы водных объектов в результате роста уровня его продуктивности, т.е. трофии. Его протекание имеет связь с морфометрией объекта, а также его проточностью и нагруженностью питательными (биогенными) элементами. Соединения азота и фосфора являются наиболее распространенными элементами, составляющими нагрузку на водный объект [13]. Развитие водных объектов в естественных условиях подразумевает поочередное прохождение «олиготрофного, мезотрофного, эвтрофного и гиперэвтрофного состояний» [13].

В экосистеме водосбора возможно возникновение дисбаланса, которое проявляется продукционно-деструкционными процессами. Данные процессы характеризуют завершающие стадии эвтрофирования в эвтрофных, а также в гиперэвтрофных водоемах.

В этой связи происходит возникновение анаэробных (бескислородных) зон и вызывает заморы. Заморы вызывают массовую гибель рыбы вследствие

недостатка кислорода. Уменьшение популяции рыбы, в свою очередь, способствует загрязнению водного объекта токсинами, выделяемыми определенными видами фитопланктона (водоем начинает «цвести»). Деятельность сельскохозяйственных предприятий, расположенных в водосборах и акваториях водных объектов, характеризующаяся выбросом отходов, способствует увеличению внешней нагрузки биогенными веществами. Таким образом, увеличивается скорость эвтрофирования водных объектов. В сравнении с естественным эвтрофированием наблюдается значительная разница в скорости, что позволяет говорить о наличии антропогенного эвтрофирования таких водных объектов. При этом, снижение объемов деятельности, и даже ее прекращение, которое означает снижение или прекращение биогенной нагрузки, не приводит к «откату» водного объекта в его первичное состояние. Стоит отметить, что скорости, с которыми происходит эвтрофирование, могут быть приближенными к естественным значениям (при условии снижения или прекращения нагрузки).

Таким образом, вследствие кардинальных изменений в таких характеристиках водоема, как морфометрия или проточность достигается его деэвтрофирование. Следовательно, существует прямая связь между загрязнением водоема и его эвтрофированием.

Загрязнение оказывает угнетающее действие на гидробиологические процессы, однако эвтрофирование, в свою очередь, на последних стадиях развития тоже может оказывать загрязняющее воздействие на водоем.

Внешняя нагрузка на водоем включает в себя, кроме прочих элементов, вынос химических веществ с различных подстилающих поверхностей. Посредством движения дождевых и талых вод нагрузка оказывается на водоемы.

«Рассредоточенная диффузная нагрузка» возникает за счет сбросов предприятий различной направленности - промышленность, сельское хозяйство; или же муниципальными предприятиями. Определяющим

фактором нагрузки является подстилающая поверхность, на которой она возникает.

Следовательно, «рассредоточенной диффузной нагрузкой» является вынос химических веществ в водные объекты.

На вынос химических элементов воздействует множество факторов - концентрация химических элементов в грунте водосбора; удерживание веществ в «гидрографической сети». Так же дожди и талые воды вызывают процесс эмиссии химических веществ в водоёмы.

«Детерминированные математические модели», основанные на «уравнениях химической кинетики», применяются с целью наиболее детального рассмотрения процессов, лежащих в основе возникновения «рассредоточенной нагрузки» на водоемы.

Такие факторы водных объектов, как крупная поверхность водосбора, а также его сложная структура осложняет процесс вычисления биогенной нагрузки. На практике при подсчете биогенной нагрузки затруднения вызывают различная природа и назначение почв и грунта, различия в «гидрографических сетях, а также неопределенность при задании значений для констант равновесия» [22]. Вышеуказанные факторы - главные параметры для построения математической модели расчета биогенной нагрузки.

«Аналогичным способом, позволяющим оценить нагрузку на водный объект, в отличие от детерминированного моделирования, является эмпирическая оценка модулей (коэффициентов) выноса, производимого с разных типов подстилающей поверхности. Как правило, они обладают размерностью $[M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}]$. Также распространено применение в расчетах (вместо модулей выноса) принятие средних значений концентрации химических веществ в стоке за год средней водности» [22].

Среди научной литературы существует множество исследований, посвященных изучению биогенной нагрузки, в том числе принципам ее образования и распространения в различных условиях, таких как тип почв и грунта [22].

2.1 Хельсинкская комиссия (ХЕЛКОМ). Биогенная нагрузка, получаемая от диффузных источников. Комиссия по вопросам защиты морской среды

Хельсинкская комиссия (ХЕЛКОМ) – международная организация, целью которой является контроль за соблюдением региональной морской конвенции, защищающей морскую среду Балтийского моря. В составе комиссии есть представители девяти государств - Польши, России, Швеции, Дании, Эстонии, Германии, Латвии, Литвы и Финляндии [26].

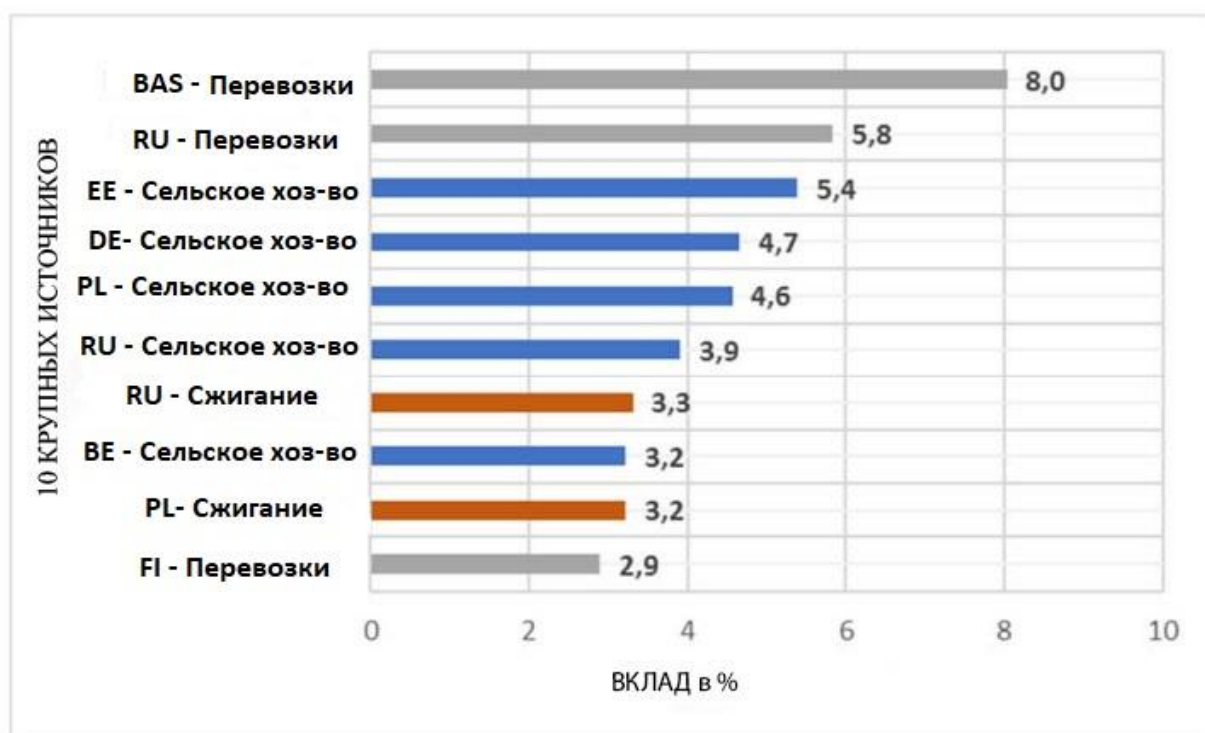


Рис. 5. Десять крупнейших составляющих ежегодных общих выпадений азота в Финский залив

Загрязнение от диффузных источников биогенными веществами вызывает эвтрофикацию акватории Балтийского моря, что является основной проблемой, озвученной в постановлении ХЭЛКОМ.

Таким образом, диффузная нагрузка с водосборных территорий в виде взвешенных веществ, таких как фосфор и азот, имеющая происхождение вследствие антропогенной деятельности, формируется за счет рассредоточенного выноса, производимого промышленными, сельскохозяйственными и муниципальными предприятиями [26].

В процессе рассмотрения проблемы ХЭЛКОМ было установлено, что для России актуальны комбинированные источники, осаждающие азот, и приводящий к возникновению эвтрофикации в Финском заливе на первом месте стоят перевозки по Балтийскому морю, также вносит вклад сельское хозяйство.

План мероприятий по Балтийскому морю (далее ПМБМ) - это стратегия, разработанная ХЭЛКОМ, призванная осуществить меры по минимизации загрязнения морской среды водосбора Балтийского моря и в дальнейшем способствующая восстановлению приемлемого уровня экологического состояния Балтийского моря. В плане были указаны перспективные меры, способствующие сокращению попадания азота и фосфора в водосбор Балтийского моря. Некоторыми из данных мер являются: более строгие требования к доочистке сточных вод; запрет на использование моющих средств с содержанием фосфора; проведение более жесткой политики касательно сельскохозяйственных предприятий, в частности, применения удобрений, кормов для скота, экологичной утилизации стоков животноводческих предприятий, побочных продуктов работы агарных хозяйств с применением новейших технологий утилизации.

Вышеперечисленные меры в перспективе должны снизить уровень биогенной нагрузки на Финский залив, оказываемой за счет поступления чрезмерного количества фосфора и прочих веществ.

Изначальный ПМБМ был утвержден сторонами - участниками ХЭЛКОМ 15 ноября 2007 года в столице Польши городе Кракове. Его

созданию способствовали девять государств, принимающих участие в конвенции.

Данный план подразумевал, что до 2021 года цели по приведению экологического состояния Балтийского моря в допустимые нормы должны быть достигнуты. К сожалению, отчеты ХЭЛКОМ об экологическом состоянии Балтийского моря с 2011 по 2018 год выявили, что цель не будет достигнута в столь короткий срок.

В новом Плане действий по Балтийскому морю (ПДБМ) ХЭЛКОМ, преследуя первоначальные цели и амбиции, придерживается тех же принципов действий, указанных в предыдущем соглашении.

В соответствии с принципами ХЭЛКОМ «о здоровой окружающей среде Балтийского моря, включающей различные биологические компоненты, функционирующие в равновесии, что обеспечивает ее надлежащее экологическое состояние и предполагает широкий спектр экологически устойчивой экономической и социальной деятельности» [28], новый ПДБМ состоит из 4-х разделов с конкретно сформулированными целями:

- «Биоразнообразие с его целью «здоровая и устойчивая экосистема Балтийского моря»;
- «Эвтрофикация с ее целью «Балтийское море, не затронутое эвтрофикацией»;
- «Опасные вещества и мусор, цель которого – «Балтийское море, не подвергающееся опасному воздействию токсичных веществ и отходов»;
- «Деятельность на море с целью «Экологически безопасная и стабильная деятельность на море» [28].

Вышеизложенные сегменты плана по выполнению актуальных экологических задач сформулированы ХЭЛКОМ в новом плане ПДБМ, а также содержат принципы действия по их выполнению. ХЭЛКОМ в своем

обновленном ПДБМ призывает выполнить ряд вышеуказанных мер по улучшению экологического состояния Балтийского моря к 2030 году.

Наиглавнейшей проблемой, озвученной ХЭЛКОМ, является эвтрофикация Балтийского моря. Последствием такой проблемы является рост водорослей и кислородный дефицит на морском дне. Последний факт приводит к возникновению на больших площадях акватории Балтийского моря гипоксического состояния. Факт образования такого состояния пагубно влияет на все экосистемы в целом. В настоящее время наблюдается малозначительное улучшение ситуации. Однако порядка 90% регионов остаются неудовлетворительными касательно вопроса эвтрофикации. Эта проблема относится ко всей акватории Балтийского моря и 86% прибрежных вод.

Таким образом, по данным оценок ХЭЛКОМ в период пяти лет, начиная с 2011 года, показатели эвтрофицированности возросли у 4-х из 17 стран.

Процесс эвтрофикации является последствием человеческой деятельности в пределах моря и/или суши. Такой процесс возникает в результате избыточного введения биогенных веществ (азот и фосфор) в воды Балтийского моря. Данные вещества поступают в морскую среду из естественных источников через водные и воздушные пути поступления.

«Речной сток» [28] включает в себя судоходство по рекам и прямые выбросы из точечных источников, которыми являются очистные сооружения и предприятия промышленности. В данном случае основную роль играют «диффузные источники» [28] в виде стоков агарных предприятий в водные объекты, в свою очередь, «точечные источники» [28] приносят лишь малую долю от всего загрязнения.

Ввиду отсутствия экологического контроля за антропогенным загрязнением биогенами Балтийского моря в прошлом, сейчас мы наблюдаем немалые накопления фосфора в донных отложениях.

С этим условием, увеличивается цикл роста процесса эвтрофикации в Балтийском море. Это происходит в результате понижения уровня кислорода в морской воде. В данном случае соединение фосфора (фосфат), скопившийся в донных отложениях, выделяется, и, тем самым, еще больше увеличивается биогенная нагрузка.

В настоящее время наблюдается снижение поступления биогенных веществ на 12% по азоту, и на 26% по фосфору. Этот результат достигнут всеми сторонами- участниками ХЭЛКОМ в течении последних 10 лет.

Несмотря на положительный результат, достигнутый ХЭЛКОМ, изначально установленные цели, которые были указаны в первом ПДБМ, не были достигнуты в установленный срок (т.е. к 2021 году).

Полученный результат по сокращению биогенного загрязнения был достигнут в результате применения мер по снижению выбросов точечных источников - очистных сооружений и промышленности. Также, при выполнении поставленной задачи, изменения коснулись транспортной и энергетической отраслей. Выполнение данных мер помогло снизить перенос азота по воздуху.

Несмотря на это, в период последних десятилетий не произошло явного снижения загрязнения от «диффузных источников» [28]. Таким образом, диффузный вклад азота и фосфора составил 35% от всего речного стока.

На текущий момент, основным диффузным источником поступления биогенной нагрузки в воды Балтийского моря является сельское хозяйство. Сокращение биогенной нагрузки, получаемой от сельского хозяйства, является наиболее перспективным сценарием ее снижения в целом.

Также существует потенциал дальнейшего сокращения для точечных источников, особенно в верхних частях речных бассейнов; для небольших населенных пунктов и индивидуальных домов, в которых еще нет надлежащей системы очистки сточных вод.

Многие сельские поселения, а также частные дома в отдельности, не имеют системы водоотведения. Это создает возможность снижения биогенной нагрузки от точечных источников на верховья речных бассейнов.

Невзирая на успешный результат по уменьшению биогенной нагрузки, такие отрасли как судоходство, требуют снижения уровня осаждённого азота в морской среде Балтийского моря.

В настоящее время уровень поступления аммиака остался без изменений, однако происходит его рост, и это является причиной к осуществлению мер по снижению уровня поступления биогенов от аграрных предприятий.

Главной целью ПДБМ является снижение уровня биогенной нагрузки, возникающей в результате пагубного влияния деятельности человека на окружающую среду Балтийского моря.

В целях формирования здоровой экологической ситуации в вопросе, связанном с эвтрофикацией, ХЭЛКОМ рассчитал «максимально допустимые поступления питательных веществ» (далее МАІ) - это предельно допустимые поступления, рассчитанные для региональных вкладов азота и фосфора, из воды и воздуха, в суббассейны Балтийского моря. Данные показатели МАІ были составлены для сторон-участников ХЭЛКОМ, в соответствии с актуальной информацией о уровне вклада азота и фосфора разными путями поступления и указаны в таблице 1. Для достижения этой цели, максимальное поступление не должно превышать для азота 792 209 тонн в год, а для фосфора - 21 716 тонн в год.

Таблица 1. Предельно допустимый уровень поступления питательных веществ (МАІ) азота (TN) и фосфора (TP) в суббассейны Балтийского моря (в тоннах/год).

Подбассейн Балтийского моря	Общий азот (TN) тонн/год	Общий фосфор(ТР) тонн/год
Каттегат	74,000	1,687
Датские проливы	65,998	1,601
Ботническое море	79,372	2,773
Ботнический залив	57,622	2,675
Рижский залив	88,417	2,020
Финский залив	101,800	3,600
Балтийское море	792,209	21,716

Достижение целевых показателей МАІ во всех суббассейнах не означает немедленное достижение целей по эвтрофикации.

При возникновении соответствия с показателями МАІ в перечисленных суббассейнах Балтийского моря, цели ПДБМ в вопросе эвтрофикации не будут достигнуты сразу.

Так как морская среда Балтийского моря более века подвергается длительному антропогенному воздействию, в донных отложения Балтийского моря скопилось большое количество питательных веществ. За счет этого фактора при возникновении соответствия с показателями МАІ в перечисленных суббассейнах Балтийского моря, цели ПДБМ в вопросе эвтрофикации не будут достигнуты сразу. Для восстановления здоровой экологической картины потребуются десятилетия.

Для достижения данной цели, в соответствии с рекомендациями ХЭЛКОМ, необходимо применить меры по правильному управлению запасами питательных веществ.

«Потолочные значения чистых поступлений питательных веществ» [28] (NIS) - показатели для суббассейнов Балтийского моря, которые определяют максимальные значения внесения водным или воздушным путем питательных веществ. Соответствие концентрации питательных веществ в морской воде с NIS приведет уровень эвтрофикации в норму.

Данный показатель был подсчитан как «доли максимально допустимых внесений в каждый подбассейн с использованием пропорции поступлений азота и фосфора в эталоне период 1997-2003 гг.» [28].

Значения показателей NIS, для бассейна Финского залива представлены в таблицах.

Таблица 2. Чистые потолки поступления биогенных веществ (NIS) азота для стран ХЭЛКОМ с воздушным транспортом и судоходством по Финскому заливу (в тоннах/год).

Страна	NIS азота для Финского залива
Германия	1,645
Дания	421
Эстония	11,334
Финляндия	20,457
Литва	305
Латвия	246
Польша	1,407
Россия	61,503
Швеция	626

Таблица 3. Чистые потолки поступления питательных веществ (НПС) фосфора для стран ХЕЛКОМ в водосборном бассейне Финского залива (в тоннах/год).

Страна	НПС фосфора для Финского залива
Эстония	225
Финляндия	315
Россия	2,909

Согласно данным ХЭЛКОМ, показатели значений НПС, рассчитанные для России, составили:

- По азоту - 61,503 т/ год;
- По фосфору - 2,909 т/ год;

В свою очередь, показатели предельно допустимых поступлений питательных веществ (МАП), рассчитанные ХЭЛКОМ для России составили:

- По азоту - 101,800т/ год;
- По фосфору - 3,600 т/ год.

В соответствие с обновленным ПДБМ, мероприятия по снижению уровня поступления азота и фосфора в воды Финского залива и Балтийского моря в целом необходимо реализовать до 2027 года [28].

Снижение концентрации азота и фосфора в одном суббассейне Балтийского моря влияет и на остальные. Здесь применим механизм перераспределения. Соответственно, снижение содержания биогенных веществ в пределах установленных показателей НПС одного суббассейна, должно учитываться странами для достижения удовлетворительных показателей НПС другого суббассейна.

Совместными усилиями необходимо продолжать Целевые региональные исследования по совершенствованию качества оценки по естественным фоновым потерям, атмосферным выпадениям, удержанию, трансграничным нагрузкам и другим аспектам.

В будущем необходимо быть уверенными в том, что после достижения соответствия показателям МАИ, вынос биогенных веществ не продолжится. С этой целью были созданы программы и рекомендации HELCOM, направленные на сокращение круговорота азота и фосфора в водах Балтийского моря.

Важным условием для достижения целей, поставленных HELCOM в ПДМБ является взаимодействие с органами власти. Данное условие позволит обеспечить контроль выполнения экологических требований для речных бассейнов [49].

Скорость снижения эвтрофикации в Балтийском море напрямую будет зависеть от снижения биогенной нагрузки в суббассейнах других стран, не принявших участие в ХЭЛКОМ. С этой целью к 2030 году, необходимо снизить:

- 52 758 тонн азота, приносимого воздушным путем, при выполнении «Гётеборгского протокола Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния»;

- 5 561 тонну азота, вносимого водными путями в Балтийское море;

- 930 тонн фосфора, переносимого водными путями, в случае если страны, не принимающие участие в конвенции ХЭЛКОМ, начнут осуществлять меры по сокращению биогенного загрязнения.

- 16 803 тонны снизятся в результате выполнения мер по снижению выбросов азота, указанных в решении Международной Морской организации (ММО).

Ввиду существования и выполнения требований политики ЕС и России (Водный кодекс РФ, Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды») в области охраны окружающей среды, регулирующей водные отношения, которые нормируют и контролируют сброс биогенных веществ в водные объекты, выполнение поставленных задач ПДМБ является возможным.

Средние годовые количества поступления азота и фосфора в акваторию Балтийского моря сократились.

При рассмотрении вкладов биогенной нагрузки от разных стран, можно увидеть различия в порядке поступления азота и фосфора от них. Оно состоит в том, что долгое время многие страны оценивали возможность по снижению концентрации одного лишь фосфора, так как этот элемент является основной причиной роста уровня эвтрофикации в водах Балтийского моря (кроме Датских проливов и Каттегата, так как там более соленая вода). Следовательно, до этого момента проблеме загрязнения Балтийского моря азотом не уделялось должного внимания.

В данный период времени существует тенденция к понижению уровня биогенной нагрузки, оказываемой фосфором. Это улучшение характерно для всех суббасейнов Балтийского моря [49].

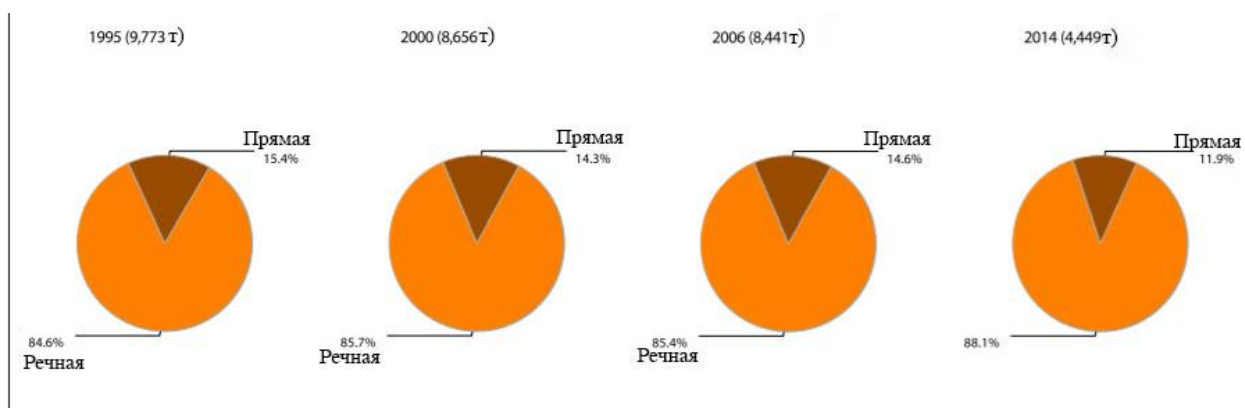


Рис. 6. Нагрузка фосфором на Финский залив в период 1995-2014 гг.

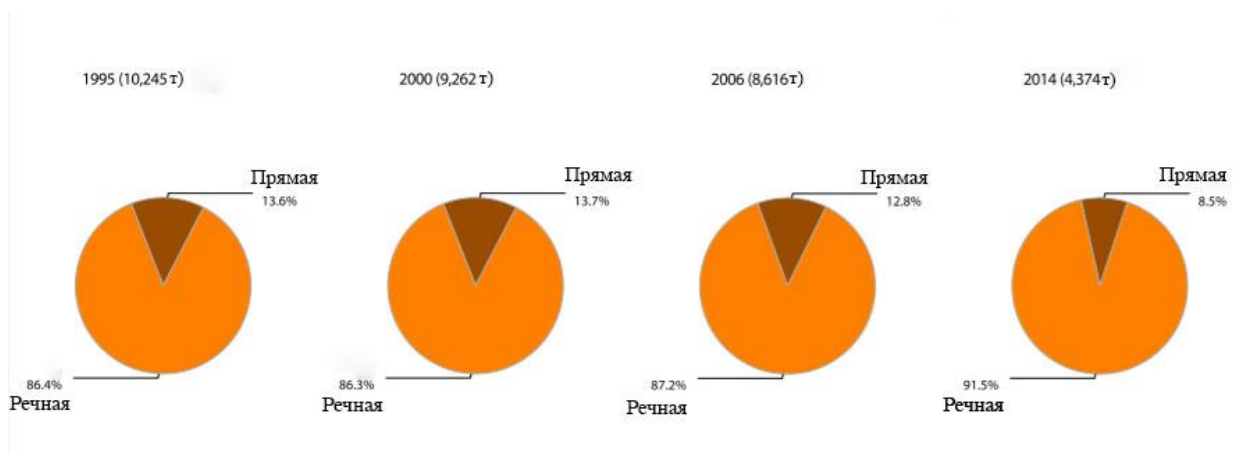


Рис. 7. Нагрузка фосфором, поступающим от России в Балтийское море в период 1995-2014 гг.

Такое улучшение экологического состояния наблюдается для всех стран-участниц ХЭЛКОМ. Первыми странами, у которых произошло снижение биогенной нагрузки фосфором, были Дания (1995 г), Швеция, Германия, Эстония. Затем снижение произошло у Литвы, России и Финляндии.

За оцениваемый период для подавляющего количества стран характерно уменьшение вклада «прямых точечных источников». Доля биогенного загрязнения для стран остается разной, главным образом отличается объемами и периодом, когда происходит загрязнение.

Распределение «источников речных нагрузок» возможно использовать как инструмент для оценки вклада различных диффузных и точечных источников, создающих «общую нагрузку речного азота и фосфора», поступающего в Балтийское море.

«Распределение источников может быть выполнено с использованием одного из двух подходов, либо на основе нагрузки на внутренние воды (подход к источнику или валовая нагрузка) или в устье реки (подход нагрузки или чистая нагрузка)» [32].

В конечном итоге, полученные результаты у двух подходов разнятся.

Для источников, находящихся близко к береговой зоне, удержание питательных веществ ниже, чем, например, для источников, расположенных в горных районах. Такое различие существует по причине того, в что в горных районах грунтовые воды проходят более длинный путь, прежде чем доберутся до водного объекта.

При проведении анализа (оценки) влияния «диффузных источников» применяют различные подходы.

Естественная биогенная нагрузка, оказываемая на суббассейны Балтийского моря, и включающая в себя такие вещества, как азот и фосфор, различна в ряде его регионов. Так, наименьший уровень биогенной нагрузки был зафиксирован в Рижском заливе - доля азота составила 12%, а фосфора - 11%. Высокий уровень нагрузки отмечается в Финском заливе - 68% азота и 59% фосфора, а также в Ботническом заливе - нагрузка азотом и фосфором достигла там 65% для обоих вышеуказанных компонентов [32]. При этом, такого рода фоновая нагрузка занимает треть от нагрузки биогенными веществами в целом.

Биогенная нагрузка от диффузных источников антропогенного происхождения, оказываемая на водосбор Балтийского моря за счёт выноса биогенов из речных бассейнов, составляет 46% по азоту, а по фосфору - 36% (от речной нагрузки в целом). Нагрузка оказывается преимущественно предприятиями сельского хозяйства, которые, в свою очередь, также в различной степени вносят свой вклад в нагрузку, так как имеют различные площади и рознящиеся типы устройства [32].



Рис. 8. Речная нагрузка на Балтийское море

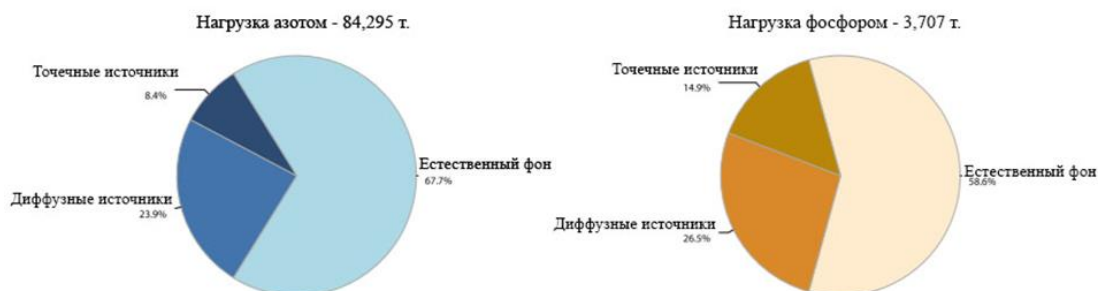


Рис. 9. Источники речного азота и фосфор, поступающий от России

2.2 Условия формирования биогенной нагрузки на акваторию крупных бассейнов Ленинградской области

Одной из причин, оказывающих негативное воздействие на водные экосистемы, может послужить хозяйственная деятельность человека, организованная на территориях, непосредственно прилегающих к водным объектам.

В следствие такого расположения загрязняющие вещества попадают в реки и озера вместе со сточными водами предприятий. В таком случае

оказываемая нагрузка даже в безаварийных условиях постоянна как по составу и концентрации загрязняющих веществ, так и по объему сбрасываемых вод [22].

2.2.1 Сельскохозяйственные предприятия

Стоки с животноводческих предприятий наиболее опасны, так как в них превышено содержание азота, фосфора, серы и патогенной микрофлоры. Данное условие является причиной биологического загрязнения и эвтрофикации водоемов, и впоследствии приводит к ухудшению их санитарного состояния [44].

Промышленное сельское хозяйство является причиной нарушения почвенного покрова, истреблением естественной растительности, и, как следствие, подверженности их водной и ветровой эрозии [18]. Вместе с увеличивающимся стоком происходит вынос почвенных частиц, удобрений и пестицидов, при этом существенное значение представляет «возвратное поступление воды от систем орошения и мелиорируемых земель» [2].

Стоки с птицефабрик, животноводческих предприятий, территорий фермерских и садоводческих хозяйств являются наиболее опасными, так как вносят наибольший вклад в загрязнение.

На преобладающем большинстве сельскохозяйственных предприятий сбрасываемые сточные воды не получают надлежащего уровня очистки, а, напротив, осуществляется их сброс напрямую в водоемы.

В составе таких сточных вод зачастую встречаются вещества как органической, так и неорганической природы. Это могут быть твердые бытовые отходы, нефть и нефтепродукты, пестициды.

Различные способы разведения сельскохозяйственных животных и овощных культур, особенности почв в различных районах, технологии

производства - все эти особенности сельского хозяйства напрямую влияют на степень воздействия на водоемы [11].

Агарную деятельность человека в аспекте «диффузного источника» [22] биогенного загрязнения можно разделить на два типа:

- загрязнение текущего типа, сформированное в определенный промежуток работы сельскохозяйственной техники. Например, внесение удобрений под культуры, земледельческие мероприятия [44];

- загрязнение долговременного типа, образованное в результате накопления питательных веществ за длительный период времени. Для этого типа характерно истощение почвенного слоя, разрушение почвенного покрова, что требует дальнейших мероприятий по улучшению их состояния и приводит к запуску цикла биогенной нагрузки, оказываемой на водоемы [22].

Ленинградская область насчитывает 97 сельскохозяйственных предприятий, в наибольшем числе это предприятия, производящие молоко (в общей сложности производится 63,7 тыс. т. молока в год). Птицефабрики обеспечивают 224 млн голов в год. Предприятия по разведению крупного рогатого скота и свиней поставляют 157,7 и 172,6 тыс. голов соответственно. Данные цифры свидетельствуют о росте производства в сравнении с предыдущими годами (рис.10) [14].

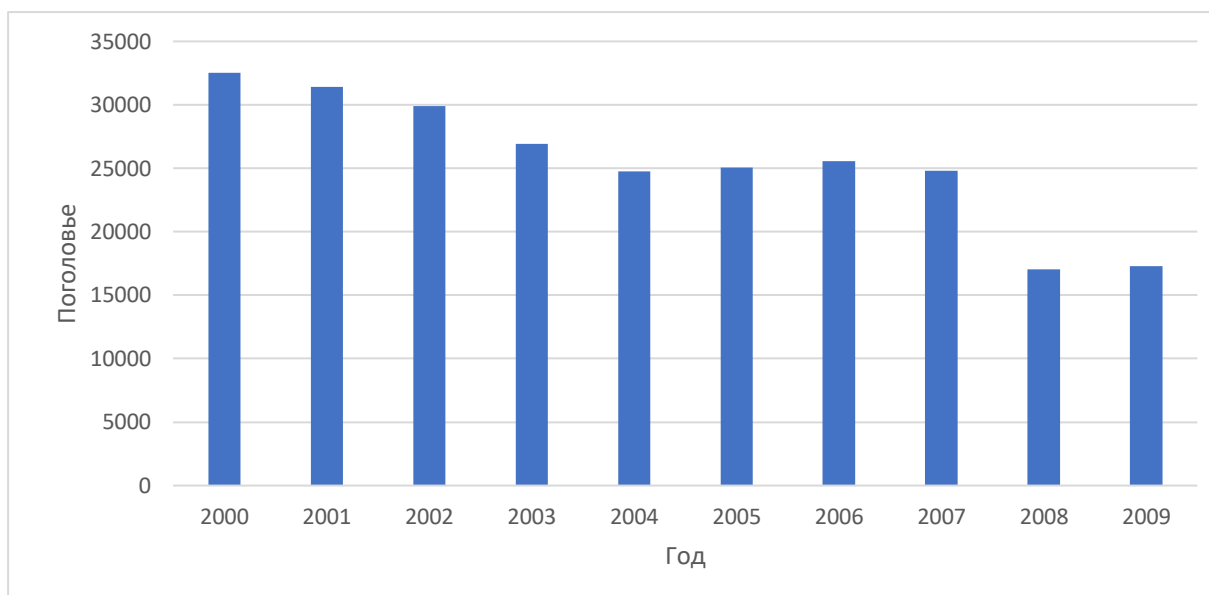


Рис. 10. Поголовье КСР в Ленинградской области по районам с 2000 по 2009 гг.

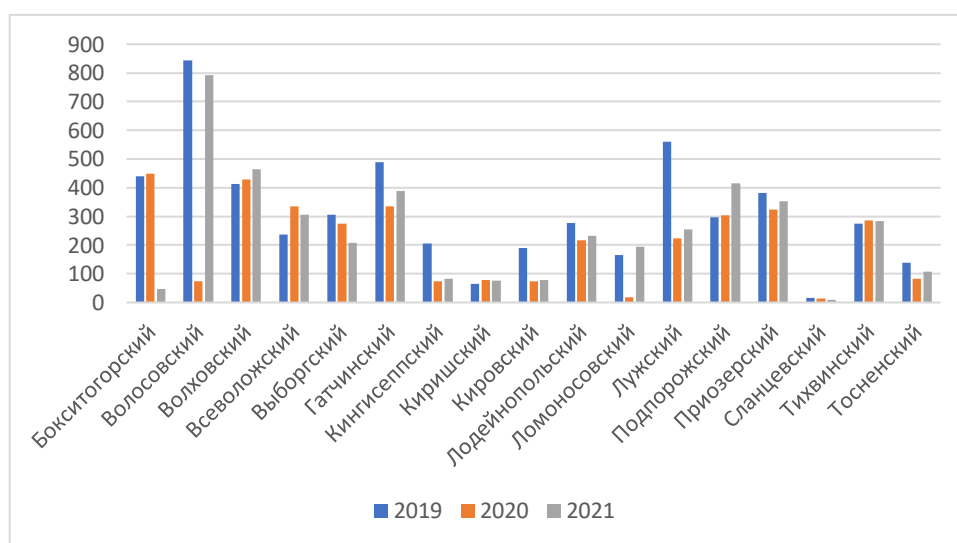


Рис. 11. Поголовье КСР в Ленинградской области по районам за 2019-2021 гг.

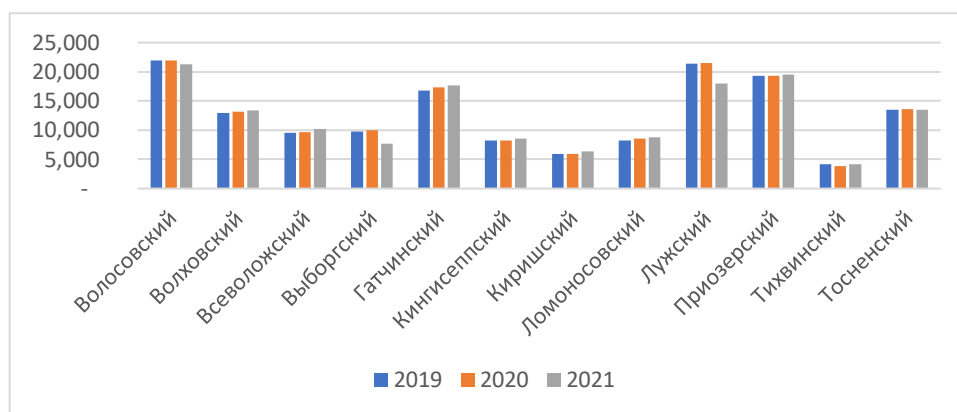


Рис. 12. поголовье свиней в Ленинградской области по районам в 2019-2021 гг.

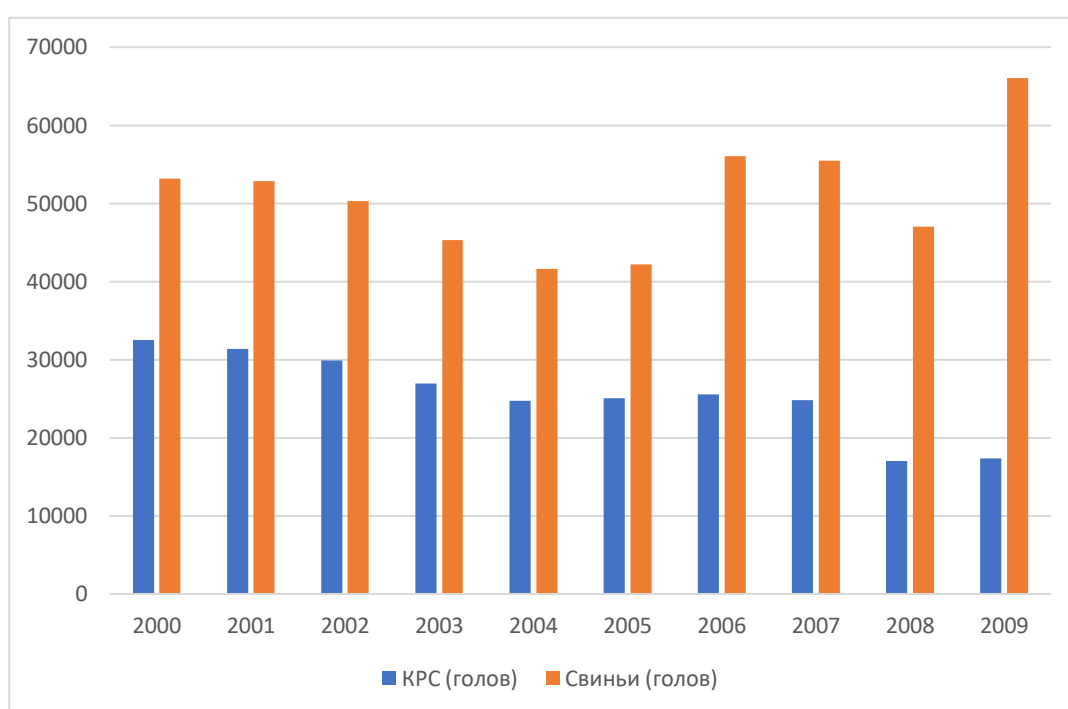


Рис. 13. поголовье свиней и КРС в Ленинградской области по районам в 2000-2009 гг.

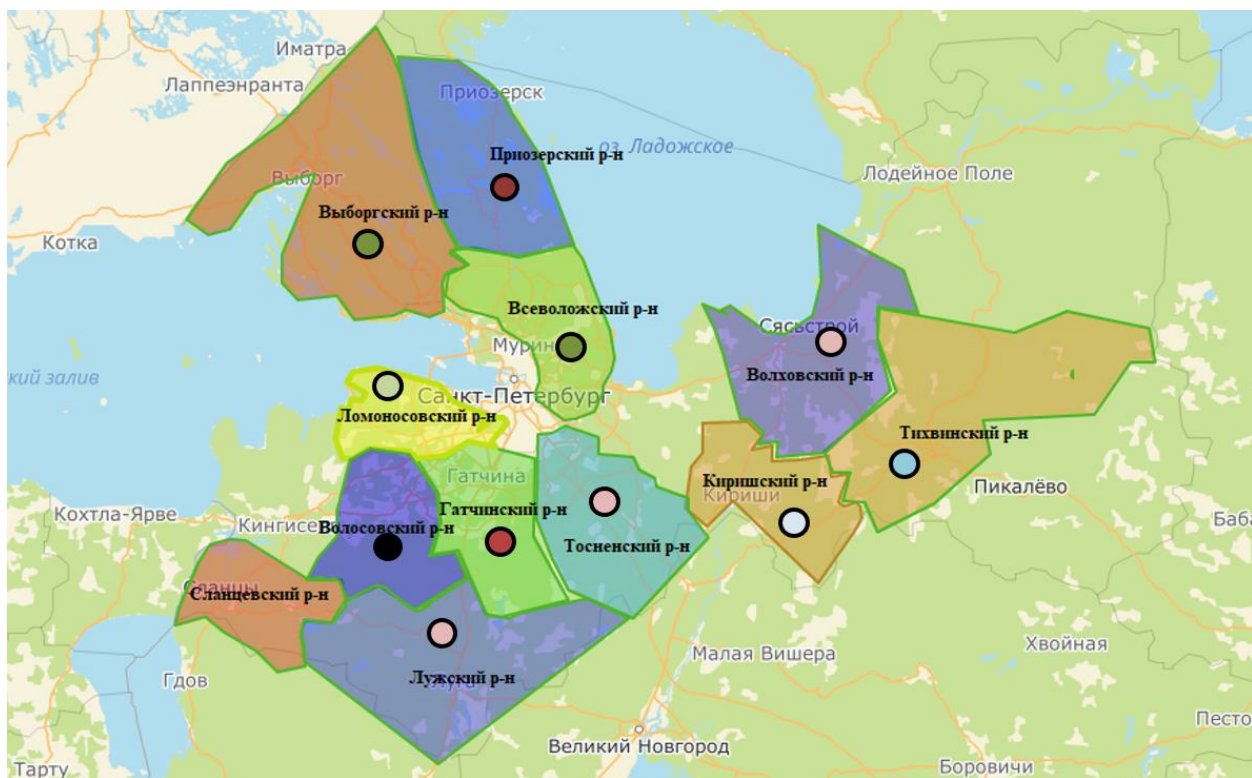


Рис. 14. Карта количества голов (КСР) по областям за 2021 г.



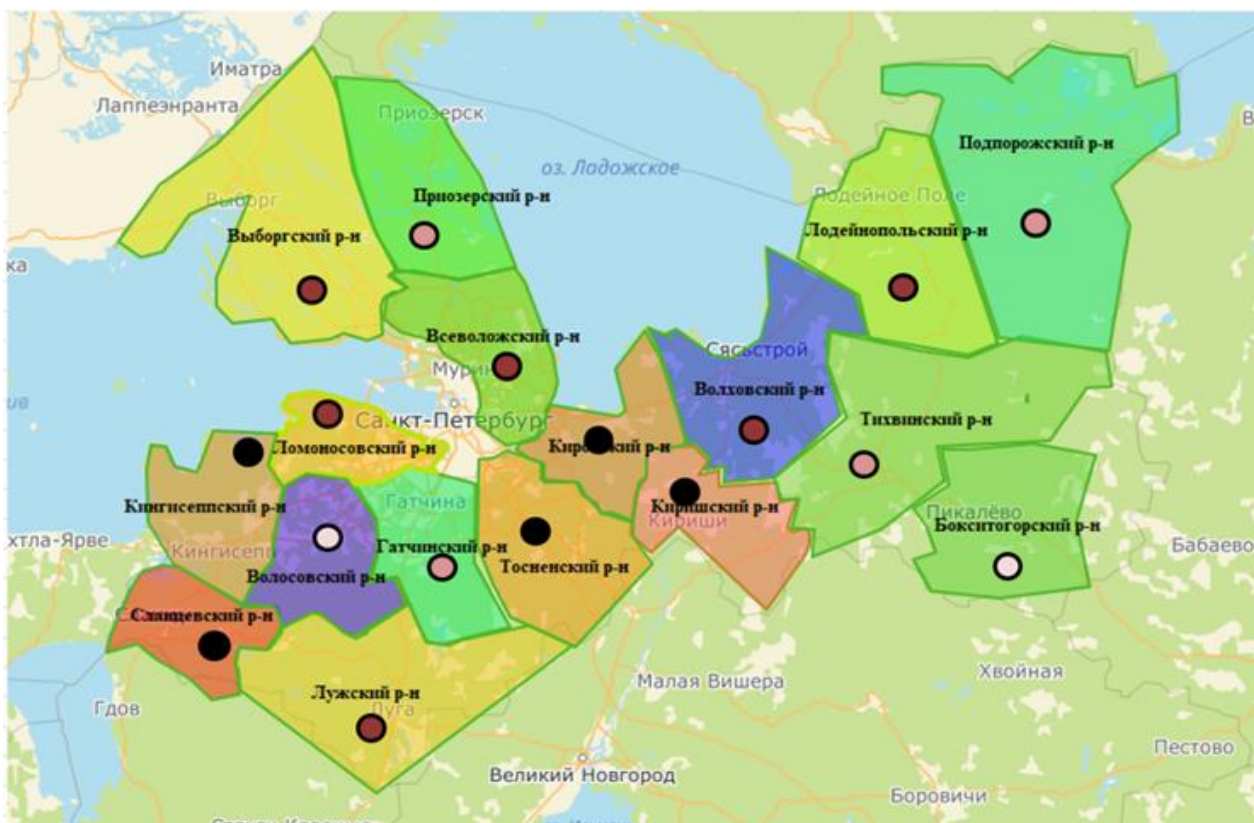
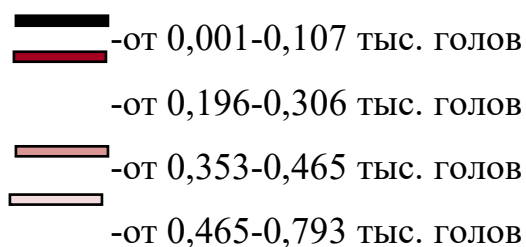


Рис. 15. Карта по количеству голов свиней по району Ленинградской области за 2021 год



Разведение птицы имеет наибольшую в Ленинградской области развитость. В основном данный вид деятельности выражается в производстве мяса птицы и яиц. В Ленинградской области находятся 3 птицефабрики. Все они заняты производством яиц, и только одна производит как мясо, так и яйца [21]:

- 1- АО «ПФ Синявинская» (198971 тыс. голов)
- 2- АО «ПФ Роскар» (168420 тыс. голов)
- 3- АО «Агрокомплекс Оредеж» (11667 тыс. голов)

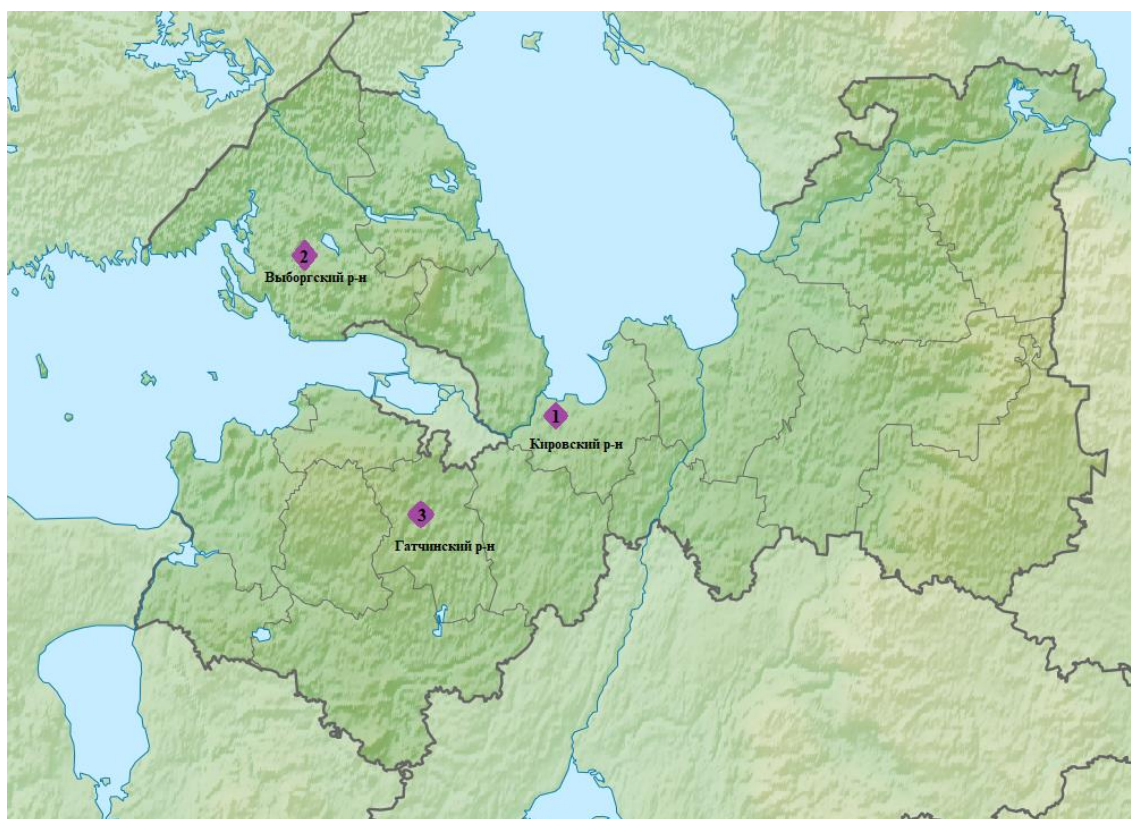


Рис.16. Карта поголовья птиц в ЛО на 2021 год

На рис. 16 указаны местонахождения птицефабрик Ленинградской области.

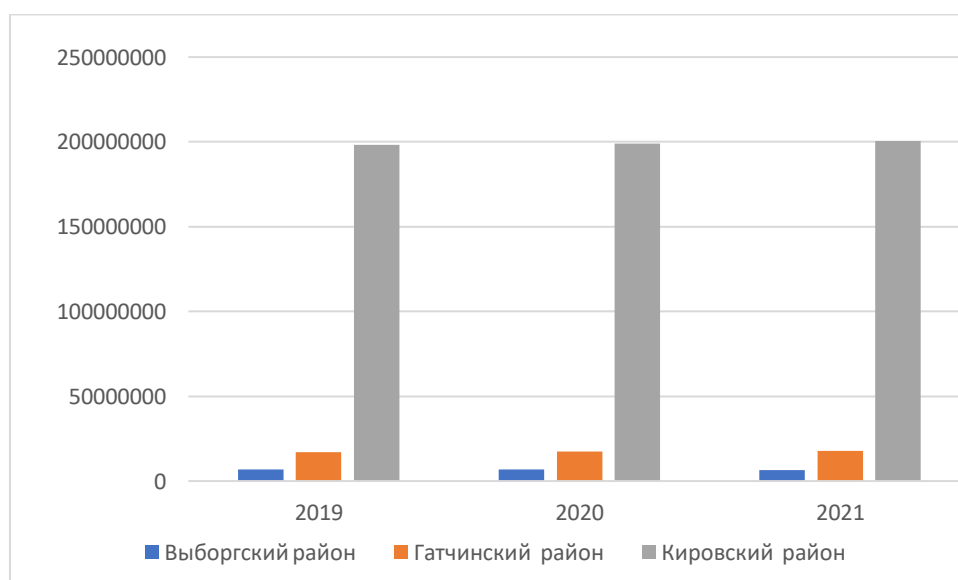


Рис. 17. поголовье птиц в Ленинградской области за период 2019-2021 гг.

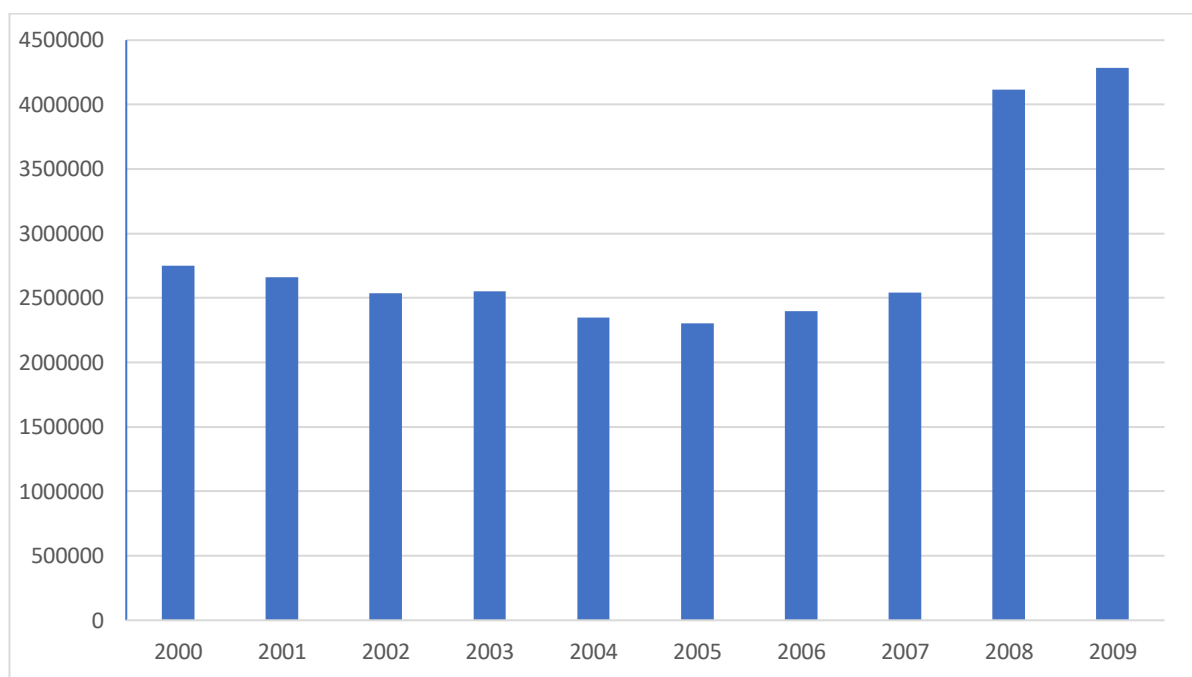


Рис. 18. поголовье птиц в Ленинградской области за период 2000-2007 гг. [4]

Посадки сельскохозяйственных культур занимают около 40 тыс. гектар. Среди них наибольшая площадь занята зерновыми. Также возделываются картофель и прочие овощные культуры.

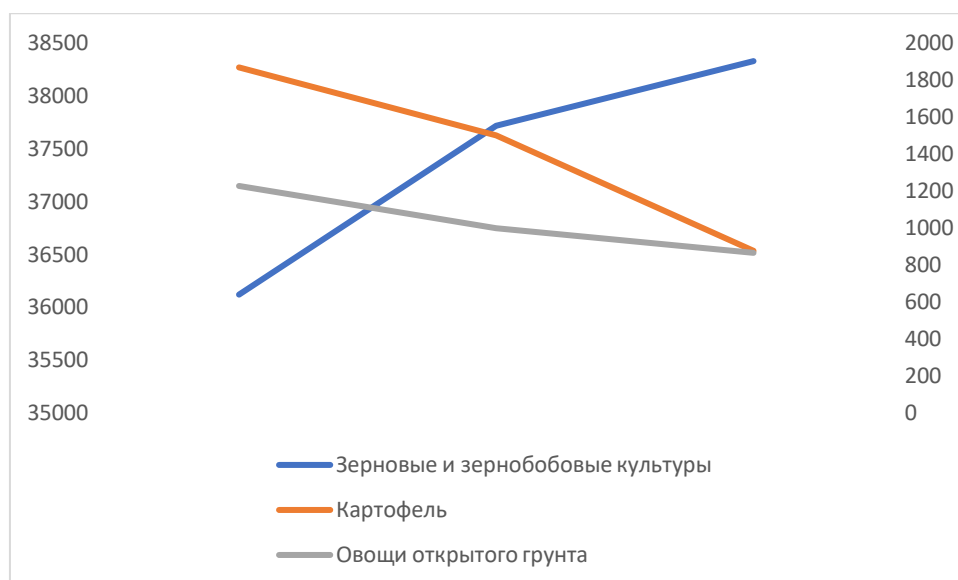


Рис. 19. Посевная площадь сельскохозяйственных культур Ленинградской области в период 2019-2021 гг.

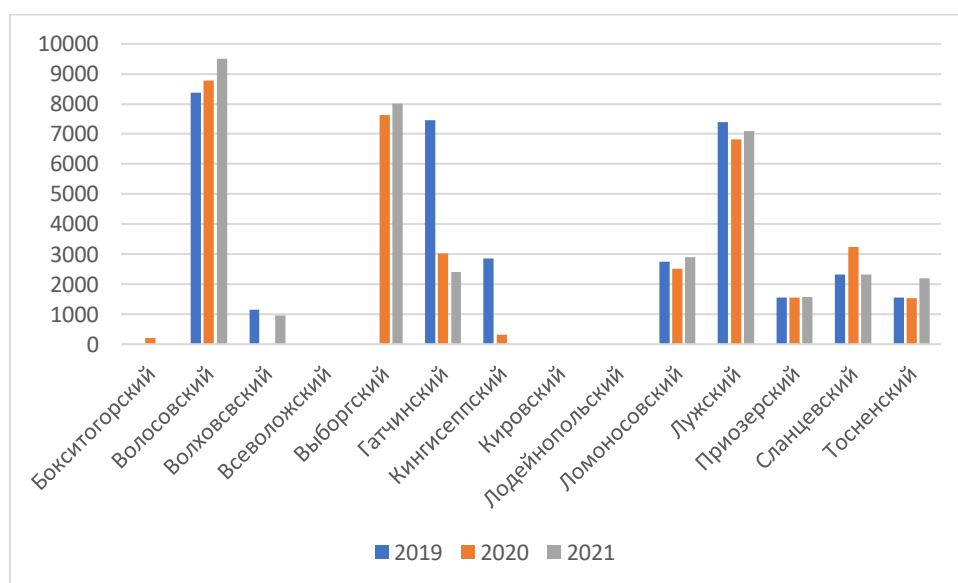


Рис. 20. Посевная площадь под зерновыми и зернобобовыми культурами в 2019-2021 гг.

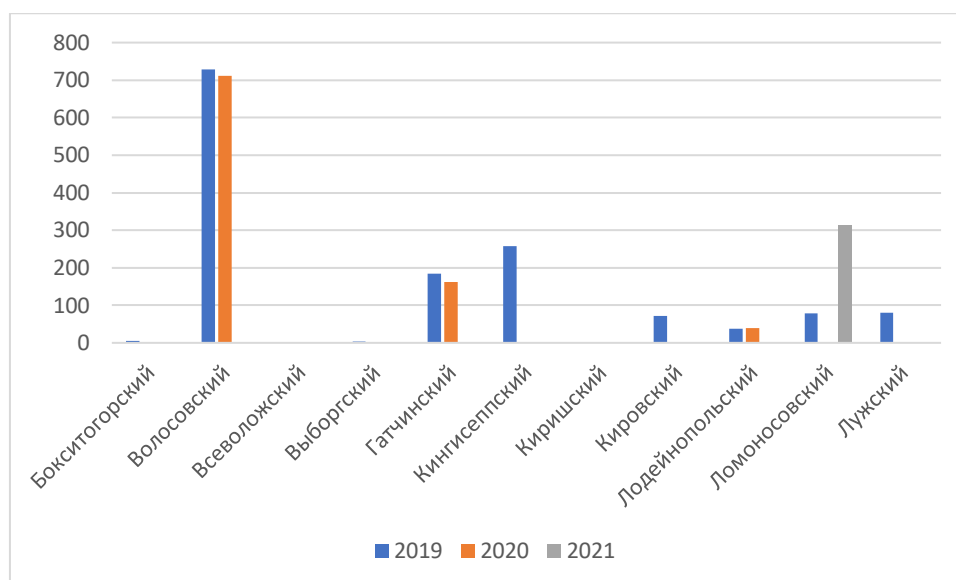


Рис. 21. Посевная площадь под картофелем на территории Ленинградской области в 2018-2020 гг.

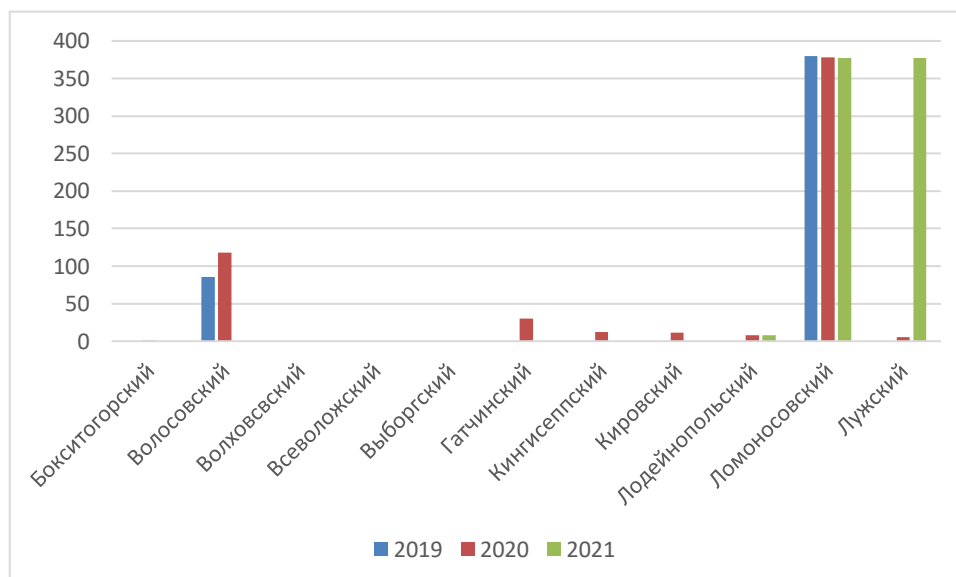


Рис. 22. Посевная площадь овощей открытого грунта на территории Ленинградской области в 2019-2021 гг.

Факт применения удобрений (минеральных и органических) при ведении сельского хозяйства - очень важный критерий для расчета нагрузки, получаемой от диффузных источников [48]. Так же важно принять во внимание типы используемых удобрений, концентрацию питательных элементов и технологии их применения. Для оценки нагрузки, необходимо

учитывать происхождение вносимых удобрений, содержание полезных элементов, а также технологии из внесения.

«При работе с органическими удобрениями большое значение для выноса питательных веществ имеет порядок соблюдения технологических регламентов. Образование и использование органических удобрений определяется путем нормативного расчета выхода навоза и помета при содержании сельскохозяйственных животных с учетом современных систем содержания и технологий навозоудаления» [46].

В 2021 году в Ленинградской области органическими удобрениями было обработано 42603 гектара, тем самым было внесено 1975201 тонн, из них: под зерновые культуры - 650896 тонн, под овощные - 42011, под кормовые культуры - 1178564, под однолетние и многолетние травы - 991496 тонн.

Минеральных удобрений было внесено (на 100% питательных веществ) – 81668 центнеров, из них зерновые культуры – 22339 ц; картофель – 2445 ц; овощные – 2737 ц; однолетние и многолетние травы – 39133 ц.

2.2.2 Сточные воды

К сточным относят такие типы вод, как переправляемые посредством водостоков, а также бесконтрольно попадающие в водные объекты, являющиеся при этом отходами промышленности, сельского хозяйства и человеческой жизнедеятельности. Также к ним относятся осадки, талые воды, попадающие в водосбор. Основной особенностью сточных вод является их загрязняющее воздействие на водные объекты, что приводит к их эвтрофированию [30].

Ленинградская область находится на втором месте рейтинга среди регионов федерального округа по показателю качества очищенности сточных вод [7].

В результате сброса канализационных отходов биогенная нагрузка на водоемы повышается, ввиду попадания в них органических веществ, а также биогенов, которые содержатся в сточных водах, не прошедших удовлетворительную степень очистки. Таким образом, эвтрофирование в данном случае можно назвать антропогенным явлением.

Под понятием эвтрофирование подразумевают дисбаланс в среде питательных веществ, имеющихся в водном объекте, который ведет к трофическим изменениям [16].

Со своей стороны, Россия несет обязательства по поддержанию экологического состояния Балтийского моря, приближенному к естественному (наравне с прочими странами-участниками ХЭЛКОМ).

Для данных целей Правительством РФ была утверждена обновлённая Хельсинкская Конвенция (Приказ № 1202 от 5 октября 1998 г.), принятая еще в 1992 году. Суть данного договора состоит в совместной охране естественного состояния морской среды Балтийского моря.

Задачей ХЕЛКОМ (Комиссия по защите морской среды Балтийского моря) является разработка рекомендаций, способствующих охране морской среды, а также контроль их выполнения.

В рамках принятия договорённостей с другими странами-участниками Хельсинкской Конвенции, Россия, в свою очередь, обязана выполнять рекомендации, изданные ХЕЛКОМ.

Вследствие этого объекты водоотведения с выбросом в бассейн Балтийского моря должны соответствовать как российским критериям качества сброса, так и предложенных ХЭЛКОМ.

Так, в рекомендованных организацией ХЕЛКОМ стандартах очистки сточных вод 28Е/5 от 15.11.2007 г. были прописаны такие показатели, как минимальное действие очистки, а также предельно допустимый уровень по следующим параметрам, допустимым для хозяйственно-бытовых сточных вод: БПК₅, Р_{общ}, N_{общ} [36]. Данные рекомендации зависимы от количества населения и время от времени обновляются с целью сокращения сброса

загрязнений, в том числе биогенными элементами. Особенно внушительны требования к технологии очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, получаемых от городов с населением 100 тыс. жителей и более [10]. Такие объемы необходимо привести к следующим нормам показателей, содержащихся в прошедших процедуру очистки сточных водах:

- «снижение БПК₅, минимум, на 80%; или до 15 мг/л;
- снижение общего фосфора, минимум, на 90%; или до 0,5 мг/л;
- снижение общего азота, минимум на 70-80%, или до 10 мг/л» [45].

Приблизительно 75 организаций, осуществляющих функцию водоотведения, находится в Ленинградской области. Среди них крупнейшим предприятием такого рода является ГУП «Водоканал Ленинградской области» [16].

В водостоки всей Ленинградской области, по последним данным, попадает порядка 5588 млн м³ сточных вод. Из них нормативно-очищенные сточные воды составляют 95%. В то же время, около 5% сточных вод сбрасывается и не подвергается должной очистке перед сбросом [7]. При этом объем сбрасываемых сточных вод от Ленинградской области составляет всего лишь около 10% от объёмов, не соответствующих стандартам качества сточных вод Северо-Западного федерального округа, что составляет 1,88% от объемов стоков всей страны [29].

Для населённых пунктов, численность которых менее 300 человек, а также в сельской местности, где отсутствует централизованная система водоотведения, рекомендация ХЕЛКОМ 28 Е/6 указывает на то, что очистка сточных вод должна быть локальной от каждого жилого дома, а также от малых предприятий.

Данная рекомендация предусматривает определенную величину допустимых сбросов в окружающую среду от поселков, частного сектора, малых предприятий [5].

«Требования по сбросам на душу населения могут не применяться в том случае, если локальная система очистки сточных вод позволяет очистить сточную воду до концентрации: БПК₅ – 20 мг/л; Р_{общ} – 5 мг/л; N_{общ} – 25 мг/л. Требования по сбросам на душу населения могут не применяться в том случае, если установлена и работает система локальной очистки сточных вод с использованием наилучшей существующей технологии (НСТ), которая позволяет очистить сточную воду до концентрации: БПК₅ – 40 мг/л; ХПК – 150 мг/л» [4].

Целесообразна модернизация и внедрение более совершенной системы очистки сточных вод в экологически неблагоприятных районах, для которых характерна высокая степень загрязнения водных объектов, а также имеется тенденция к ухудшению их состояния в результате попадания сточных вод [45].

Таким образом, сточные воды в тех районах, для которых характерны нарушения стандартов качества сточных вод, установленных рекомендациями и нормативными документами, нуждаются в улучшенной очистке.

2.2.2.1 Очистка хозяйственно – бытовых и общесплавных стоков Ленинградской области

Технологические схемы канализационных очистных сооружений (КОС) включают следующие этапы:

- механическая очистка стоков;
- биологическая очистка стоков;
- химическая очистка стоков;
- обезвоживание осадка;
- сжигание обезвоженного осадка.

Среди наиболее существенных технологических этапов, которые включает в себя процесс очистки сточных вод, выделяют следующие этапы:

- Механическая очистка. Данный этап представляет собой удаление из сточных вод, подвергающихся очистке, крупных фракций загрязнения, а также минеральных и органических соединений, опасных для окружающей среды и человека. Примером наиболее эффективных методов, применяемых в целях механической очистки сточных вод, является метод процеживания. Так же выделяют такие методы, как отстаивание и фильтрование сточных вод [9].

Устройствами механической очистки являются решетки, песколовки, первичные отстойники, иловые площадки, маслонефтеуловители, а также жировые ловушки.

- Биологическая очистка является следующим этапом после механической очистки сточных вод. Представляет собой очищение сточных вод от примесей и органических веществ. Суть метода - использование микроорганизмов, которые участвуют в процессе распада органических соединений, таких как азот и фосфор [23].

- Химическая очистка подразумевает применение реагентов (коагулянтов), с целью уменьшить концентрацию загрязняющих элементов и микроорганизмов.

- Обеззараживание. Данный процесс предполагает уничтожение бактерий, вирусов, грибков и прочих микроорганизмов, способствующих распространению инфекционных, паразитарных и иных видов заболеваний [42].

Разработанные University of Cape Town (Университет Кейптауна) схемы биологической очистки были применены на Юго-западных очистных сооружениях (ЮЗОС) и Комплексных очистных сооружениях г. Сестрорецка. Разработки по очистке сточных вод University of Johannesburg (Йоханнесбургского Университета) были введены на КОС г. Пушкин, пос. Репино, г. Петродворец.

Подобные технологии, за счет контроля объемов рециркуляции кислорода и подачи его на аэрацию, осуществляют гибкое управление системой биологической отчистки.

Таким образом, в результате изменения факторов, влияющих на процесс очистки стоков (т.е. концентрации поступающих сточных вод их температуры) появилась возможность подбирать способ очистки с целью получения желаемого качества очистки.

Методика химического осаждения фосфора, которая была введена практически на всех КОС, имеет своей целью снижение концентрации фосфора и приведение его к показателям, соответствующим рекомендациям ХЕЛКОМ, не превышающим 0,5 мг/л Р_{общ.} Данный метод подразумевает, что нерастворяющиеся соединения фосфатов, выходящие вместе с осадком из очистной системы, формируются при использовании реагента [45].

Данный способ позволяет достичь той концентрации фосфора, которая соответствует стандартам, озвученным ХЭЛКОМ.

Впервые очистка стока при помощи мембранных биореакторов была применена в 2020 году на КОС пос. Молодежное.

Данная система позволяет осуществлять поддержку стабильно высокого уровня концентрации активного ила, в том числе микроорганизмов, участвующих в биологическом очищении сточных вод. В свою очередь, данная технология является «страховкой» надлежащей работы очистных сооружений вне зависимости от перегрузок, с которыми приходится сталкиваться (температурный режим, концентрация и качество взвеси).

Данная технология предполагает использования функции мембран в качестве илоразделителя и проведение доочистки стоков перед этапом обеззараживания, минуя отстаивание взвеси. В результате площадь очистных сооружений становится меньше.

Таким образом, применение полуволоконно-листовых мембран способствует поддержанию высокого качества очищенных сточных вод.

Применение УФО при обеззараживании сточных вод было применено на КОС курортного района г. Санкт-Петербурга (г. Сестрорецк, пос. Репино) а также на ЮЗОС, КОС пос. Металлострой.

С целью соответствия критериям качества сточных вод, озвученных в рекомендациях ХЕЛКОМ, проводится работа по совершенствованию этапа биологической очистки на очистных сооружениях с применением механизмов глубокого удаления биогенов [45].

С целью утилизации и размещения осадков в окружающей среде, проводится их обработка, которая включает в себя улучшение свойств, очищение от микроорганизмов и загрязняющих веществ.

Мировой опыт обращения в сфере сточных вод говорит нам о том, что сжигание осадков, образованных в результате очистки сточных вод, является наиболее экологичным методом утилизации. В большинстве европейских и американских крупных мегаполисов применяют эту технологию.

С целью дальнейшей подготовки осадка (в количестве до 12 тыс.м³/сутки) для последующей утилизации применяют метод высокоскоростного горизонтального центрифугирования, при котором за счет сил гравитации отделяется жидкая фракция от твердой. Уровень влажности твердой фракции оценивается в пределах 71-78%, что является допустимым значением для последующей термической обработки.

Существует две разновидности очистных сооружений, предназначенных для очистки поверхностных сточных вод. Их принципиальные отличия состоят в особенности регулирования [44]:

- накопительные очистные сооружения осуществляют регулицию сточных вод по объему;
- очистные сооружения проточного типа имеют принцип регулирования сточных вод по расходу (усреднения состава при этом не происходит).

Очистные сооружения поверхностного стока (ОСПС) используются в целях очистки дождевой воды от фракций нефтепродуктов, которые попадают в поверхностный сток. Данные очистные сооружения выбирают за счет их эффективной производительности [44].

Схема ОСПС напрямую зависит от выбранной производительности, и состоит из следующих этапов переработки сточных вод:

- механическая очистка выполняет функцию удаления крупного мусора и нерастворимых примесей с помощью решетки, сита, песколовки, жироловки, отстойника. В зависимости от степени загрязнённости применяют такие элементы, как мембраны и септики, фильтры [47];

- аккумулярование стока - процесс регулирования объёма поступающих сточных вод на очистку и равномерного его распределения [47].

Так же завершающими этапами очистки поверхностных сточных вод являются процессы осветления, доочистки, обеззараживания.

- осветление проводится за счет физико-химических методов с целью осаждения и выведения коллоидных и взвешенных частиц [48].

- за счет проведения процесса доочистки при использовании песчаных фильтров удаляются взвешенные вещества, а за счет применения сорбционных фильтров - нефтепродукты.

- обеззараживание проходит с применением технологии ультрафиолетового облучения.

В Санкт-Петербурге функцию очистки поверхностного стока осуществляет ряд очистных сооружений. Такие ОСПС расположены на юге СПб (г. Колпино, Пулков-3, пос. Шушары), а также на севере города (Осиновая Роща, «Муринский квартал»).

С каждым годом количество ОСПС увеличивается, так, в 2020 году были приняты на эксплуатацию ОСПС «Санкт-Петербург Арена», а в 2021 году были открыты ОСПС «Чистое небо». Максимальная мощность данных очистных сооружений составляет до 1000 л/сек [10].

Как минимум, 75 предприятий, находящихся в Ленинградской области, осуществляют деятельность в отрасли оказания услуг водоотведения. Как пример наиболее крупных предприятий в данной сфере - ГУП "Леноблводоканал", Филиал ФГБУ «ЦЖКУ» МО России, ОАО "РЖД".

Глава 3. Методы, позволяющие производить диффузной нагрузки от распределенных источников.

3.1 Виды моделей биогенной нагрузки

С целью изучения нагрузки, которую получают водные объекты от внешней среды, в данной работе наиболее целесообразным явилось использование математического моделирования. В данном случае математическая модель представляет собой комплекс имеющихся научных знаний о принципах функционирования природных объектов и процессов, выраженный в виде математических формул [22].

Ввиду наличия естественных, а также антропогенных изменений в объектах природы возникла необходимость в создании математических моделей, позволяющих прогнозировать дальнейшее состояние природных объектов, таких, например, как водоемы. При этом такие модели могут описывать отдельные процессы, происходящие в объектах природы, а также прогнозировать функционирование целых систем. Подход, в основе которого лежало эмпирическое обобщение имеющихся знаний, был приоритетным на этапе появления математического моделирования. С развитием современных технологий и инструментов, которые существенно облегчили сбор, накопление и обработку научной информации, на первый план начало выходить создание концептуальных, а впоследствии детерминированных моделей, каковой можно считать один из компонентов такой модели, как система водосбор-водоем. Данная модель является объединяющей для описания процессов в водоемах и водосборах. Исходя из этого, все дальнейшие утверждения, касающиеся модели системы водосбор-водоем, можно применять к модели, описывающей формирование биогенной нагрузки на водные объекты [22].

Создание подобной модели подразумевает использование условностей. Так, в условиях естественной среды целесообразно выделять главенствующие факторы, и в меньшей степени уделять внимание вторичным факторам. Подобной модели должны быть присущи такие качества, как простота восприятия, и, в то же время, максимально близкое к реальности описание изучаемого объекта. На сегодняшний день технологии, обрабатывающие географическую информацию, и их развитая компьютеризированность, позволяют задействовать широкий спектр экспериментальных методов и создавать математические модели различной степени сложности.

В то же время, единой модели, применимой для любых вариантов, в данный момент не существует. В повседневности практическое применение математических моделей являет собой сочетание ранее испытанных моделей, которые используются для описания частных процессов в водосборах [22].

3.1.1 Детерминированные модели

Законы сохранения массы движущейся жидкости, а также растворенных и взвешенных примесей, записанные в виде дифференциальных уравнений, лежат в основе детерминированных моделей стока, выноса вещества с водосбора и формирования внешней нагрузки на водоемы. Возможность расчета характеристик изучаемых процессов в зависимости от пространственной и временной координат является одним из основных достоинств этих моделей. Поэтому в соответствии с математической основой такие модели являются моделями с распределёнными параметрами. Иногда параметризация детерминированных моделей связана с привлечением эмпирических и полуэмпирических соотношений между параметрами модели и характеристиками водосбора, таких как: «склоновый сток, подповерхностный сток по относительному водоупору, увлажнение почв зоны

аэрации и инфильтрация, почвенная эрозия, вынос растворенных примесей, распластованные волны и перенос примесей в русле реки» [22].

3.1.2 Концептуальные модели

«Концептуальные модели строятся в соответствии с существующей физической концепцией функционирования изучаемой системы и, таким образом, являются формализованным отображением имеющихся у авторов знаний о предмете исследования. В отличие от детерминированных моделей математическую основу концептуальной модели могут составлять уравнения, описывающие баланс вещества в некоторой однородной имитирующей емкости, полуэмпирические и эмпирические соотношения, связывающие входные данные и параметры рассматриваемой имитирующей емкости с рассчитываемыми характеристиками на выходе» [22].

«Часто изучаемая система представляется в виде условного неизвестного компонента, характеризуемого параметрами, значения которых получены в результате калибровки модели и не имеют очевидного физического смысла. Данные модели классифицируются как модели с сосредоточенными параметрами» [22].

«Аппроксимация водосбора или более крупной водной системы в виде совокупности имитирующих емкостей, имеющих различные характеристики, позволяет решать задачи, требующие учета неоднородности строения изучаемой системы и расчёта интересующих характеристик не только на выходе всей системы, но и в отдельных ее частях. В этом случае фактически можно говорить о создании модели с распределенными параметрами в виде совокупности взаимодействующих концептуальных моделей с сосредоточенными параметрами» [22].

«Концептуальной основой большинства моделей является закон сохранения массы (М) воды или примеси в выбранной имитирующей ёмкости:

- Формирование снежного покрова и снеготаяния;
- Увлажнение почв зоны аэрации;
- Формирование стока;
- Вынос примесей;
- Баланс воды и примеси в водоеме» [22]

3.2 Математическая модель формирования биогенной нагрузки на водосбор Ленинградской области

3.3

В качестве метода, призванного произвести подсчет биогенной нагрузки на водные объекты Ленинградской области, был выбран метод, основанный на расчете эмиссии экспортных коэффициентов.

PLC-Water объектами данной модели, согласно ХЕЛКОМ, являются контролируемые водосборы и неконтролируемые территории, для которых проводится расчет:

- «Суммарной биогенной нагрузки, сформированной точечными и рассредоточенными (диффузными) источниками на поверхность водосбора» [33];
- «Коэффициента удержания, определяющего долю удержания от суммарной нагрузки в зависимости от характеристик стока и гидравлической нагрузки» [34];
- «Удержания биогенного вещества водосбором и гидрографической сетью в зависимости от рассчитанных значений суммарной нагрузки на водосбор и коэффициента удержания» [33];
- «Природной (фоновой) биогенной нагрузки, сформированной за счет выноса с необрабатываемых земель и части выноса с обрабатываемых земель, которая происходит независимо от сельскохозяйственной деятельности» [14].

В исследовании необходимо учитывать непосредственные источники биогенной нагрузки на те водные объекты, для которых производится подсчет биогенной нагрузки. Данные водные объекты, в свою очередь, являются гарантом объективности выбранной математической модели расчета нагрузки. [14].

Составляющие данной модели выглядят следующим образом. Они включают в себя:

- Вклад биогенной нагрузки на водный объект от точечных, а также от рассредоточенных источников;
- Учет биогенной нагрузки, получаемой вследствие воздействия на водный объект сточных вод предприятий промышленности и выноса примесей с данного водосбора из-за деятельности аграрных предприятий;
- Фиксацию азота и фосфора водосбором и гидрографической сетью [14].

Конечный итог данной математической модели подразумевает количественную оценку внешней нагрузки на водоем или водосток и отдельных ее составляющих со стороны водосбора [14]. Стоит детально разобрать способы расчета биогенной нагрузки, а также компоненты, входящие в математическую модель. В том числе, параметрическое моделирование, имеющее несколько способов [14].

Общая биогенная нагрузка (L_{tot}), оказываемая на водосбор, включает в себя следующие составляющие [14]:

- «Нагрузка, сформированная точечными источниками (L_p);
- Рассредоточенная эмиссия химических веществ различными типами подстилающей поверхности (L_e);
- Нагрузка за счет внесения минеральных удобрений (L_{mf});
- Нагрузка, сформированная органическими удобрениями (L_{of});
- Вынос химических веществ с урожаем (L_c);
- Массообмен с атмосферой (L_a)» [14].

$$L_{\text{tot}} = L_p + L_e + L_{\text{mf}} + L_{\text{of}} - L_c \pm L_a. \quad (1.1)$$

Все члены уравнения (1.1) имеют размерность $[M/T]$, где M – размерность массы, а T – размерность времени [14].

Такие виды антропогенной деятельности, как промышленность, сельское хозяйство, функционирование жилых домов, являются типичным образцом точечных источников, способствующих загрязнению поверхностных вод водосборов. Подсчет значений данного загрязнения целесообразно производить при помощи следующих уравнений [14]:

$$L_p = N_p k_p k_t, \quad (1.2)$$

- Где: L_p – нагрузка, сформированная точечными источниками, M/T ;
 N_p – количество «нагрузкоформирующих единиц», то есть единиц производимой продукции (для промышленных предприятий), голов домашних животных и птицы (для ферм и птицефабрик), жителей (для муниципальных очистных сооружений);
 k_p – коэффициент эмиссии химического вещества нагрузкоформирующей единицей, MT^{-1} ;
 k_t – безразмерный коэффициент, характеризующий снижение концентрации химических веществ в сточных водах после очистки.

«Рассредоточенная нагрузка на водосбор, сформированная в результате эмиссии химических веществ с различных типов подстилающей поверхности (естественных и антропогенных) в стекающие дождевые и талые воды может рассчитываться по формуле» [14]:

$$L_e = \sum_i k_{ei} A_i, \quad (1.3)$$

рассредоточенная нагрузка на водосбор, М/Т;

где L_e

коэффициент эмиссии вещества с i -го типа подстилающей

k_{ei} поверхности, $ML^{-2}T^{-1}$,

площадь i -го типа подстилающей поверхности, LT ,

A_i

Величина k_{ei} является результатом практических исследований, на основании которых были сделаны выводы. Она обусловлена, в том числе, характеристиками подстилающей поверхности.

«Вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий происходит более интенсивно, чем с естественных ландшафтов; например, по сравнению с хвойным лесом фосфора выносятся в 2 – 10, а азота – в 1.5 – 5 раз больше» [14]. В таблице 1 перечислены возможные значения коэффициентов эмиссии k_{ei} общего фосфора и общего азота для разных подстилающих поверхностей рассматриваемого водосбора Ленинградской области [14].

Таблица 4. Коэффициенты эмиссии ($кг\ км^{-2}\ год^{-1}$) $P_{общ}$ и $N_{общ}$ в стоке различных типов подстилающей поверхности.

Подстилающая поверхность	Смешанная	Лес	Болото	Пахотные земли	Урбанизированная территория
$P_{общ}$	26	5	0.5	16	57
$N_{общ}$	300	250	350	1500	800

Таблица 5. Концентрации ($мг\ дм^{-3}$) $P_{общ}$ и $N_{общ}$ в почвенных водах и первичных звеньях гидрографической сети для различных типов подстилающей поверхности [28].

Подстилаящая поверхность	Смешанная	Лес	Болото	Пахотные земли	Урбанизированная Территория
$P_{\text{общ}}$	0.12	0.05	0.06	0.08	0.20
$N_{\text{общ}}$	1.4	0.7	0.7	3.1	2.3

«Если предположить, что весь образовавшийся на фермах и птицефабриках навоз и помет остается в пределах рассматриваемого водосбора, то приближенная оценка нагрузки в формуле (1.3) может быть выполнена следующим образом» [14]:

$$L_{\text{of}} = \sum_j k_{fj} N_j, \quad (1.4)$$

где L_{of} — нагрузка от образовавшегося на фермах и птицефабриках навоза и помета, MT^{-1}

k_{fj} — коэффициент эмиссии $P_{\text{общ}}$ или $N_{\text{общ}}$ одного домашнего животного j -го наименования, MT^{-1} ,

N_j — количество домашних животных (или птицы).

Значения эмиссии фосфора ($P_{\text{общ}}$), и эмиссии азота ($N_{\text{общ}}$) в настоящем исследовании выражены в коэффициенте (k_f), учитываются в кг год^{-1} , и используются при подсчете нагрузки от КРС, свиней, а также птицы.

В данном случае точечными источниками биогенной нагрузки являются очистные сооружения на сельскохозяйственных объектах [14].

Таблица 6. значения коэффициентов (в кг год^{-1}) $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ от различных видов сельскохозяйственных животных

Вид животного	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$
КРС	18,9	77,1
Свиньи	3,36	14,4
Птица	0,28	1,14

«Для количественной оценки выноса химических веществ за пределы водосбора с собранным урожаем используется следующая расчетная зависимость» [14]:

$$L_c = \sum_s K_s U_s A_s, \quad (1.6)$$

- где L_c – вынос химических веществ за пределы водосбора с собранным урожаем, MT^{-1} ,
 K_s – вынос химического вещества с растительной массой урожая s -вида сельскохозяйственной культуры, MM^{-1} ,
 U_s – урожайность s -вида сельскохозяйственной культуры, $ML^{-2}T^{-1}$,
 A_s – площадь, занятая s -видом сельскохозяйственной культуры, L^2 .

Таблица 7. Вынос биогенных веществ сельскохозяйственными культурами (K_s , $кг\ ц^{-1}$) для условий нечерноземной зоны России

Сельскохозяйственная культура	$N_{общ}$	P_{2O_5}
Озимая пшеница	3.40	0.90
Озимая рожь	2.45	1.20
Ячмень	2.60	1.00
Овес	2.80	1.30
Картофель ранний	0.50	0.15
Картофель поздний	0.60	0.20
Свекла кормовая	0.65	0.15
Турнепс	0.48	0.17
Однолетние травы на зеленый корм и силос	0.14	0.16
Многолетние травы на силос	0.37	0.15
Многолетние травы на сено	1.76	0.63
Клевер (сено)	2.00	0.60
Капуста белокочанная	0.34	0.13
Морковь столовая	0.32	0.16
Морковь кормовая	0.50	0.20
Свекла столовая	0.27	0.15
Брюква столовая	0.55	0.31

Брюква кормовая	0.35	0.10
Культурное пастбище (зеленый корм)	0.30	0.12
Естественные сенокосы	1.70	0.71

Таблица 8. Урожайность сельскохозяйственных культур (ц га⁻¹год⁻¹) в Ленинградской области

Культура	Урожайность сельскохозяйственных культур (ц га ⁻¹ год ⁻¹)
Зерновые	29.5
Картофель	140
Овощи открытого грунта	326

«Количественная оценка массообмена азота с атмосферой (L_a) должна учитывать атмосферные выпадения (L_{dep}) с твердыми и жидкими осадками (снегом и дождем), фиксацию азота из атмосферного воздуха биотой (L_{fix}), а также денитрификацию аммонийного азота и его улетучивание (L_{den})» [14]:

$$L_a = L_{dep} + L_{fix} - L_{den}. \quad (1.7)$$

По причине неоднородного ландшафта Ленинградской области, а также в различной степени развития сельского хозяйства, имеет место недостаток информации о характере биогенных веществ в водосборах. Так, мало сведений об улетучивании азота, а также имеются затруднения в подсчете биологической фиксации [14].

Изменения, происходящие на молекулярном уровне в тех соединениях азота, которые содержатся в водоемах и в приповерхностном слое почв рассматриваемого региона, в полной мере не могут быть зафиксированы при помощи существующих методов подсчета данного явления. Таким образом, скорость, с которой улетучивается азот, остается не до конца исследованной, (в том числе его фиксация разного рода культурами сельского хозяйства), что не благоприятствует объективным данным о балансе азота в водосборах Ленинградской области [14].

Вследствие вышеуказанных причин, при вычислениях была использована концепция, подразумевающая собой тезис о равенстве поступающего и улетучивающегося азота. В данном случае имеется ввиду азот, поступающий из атмосферы вместе с осадками, включая азотфиксацию, и улетучивание вследствие явления денитрификации. Соответствующее равенство было получено на основе современной модели, описывающей механизм выноса с водосборов биогенов [14]:

$$L_{\text{dep}} + L_{\text{fix}} = L_{\text{den}} \quad (1.8)$$

Глава 4. Расчет и анализ биогенной нагрузки на водосбор Ленинградской области.

Частный водосбор реки Невы занимает большую часть Ленинградской области, поэтому расчёт биогенной нагрузки от антропогенных источников был произведен отдельно по частному водосбору р. Невы и по Ленинградской области в целом.

Поскольку в работе оценивается вклад антропогенной деятельности, во внимание принималась нагрузка, образованная от земель сельскохозяйственного назначения, от сельскохозяйственных предприятий и урбанизированных территорий, в частности городов с центральным водоснабжением.

При расчете нагрузки, сформированной точечными источниками, расчет производился отдельно для городского населения и для сельскохозяйственных животных. При расчете для последних не применялся «безразмерный коэффициент, характеризующий снижение концентрации химических веществ в сточных водах после очистки» [14], так как на хозяйствах отсутствует система очистки сточных вод.

Таблица 9. Площади различных типов подстилающей поверхности (км²)
Исходные данные для расчета биогенной нагрузки на частный водосбор р.
Невы

Год	2019	2020	2021
Пахотные земли	117,33	127,9	129,18
Урбанизированные территории	4 343,54	4 343,54	4 343,54

Таблица 10. Площади посева выращиваемых культур (га) их урожайность (ц га⁻¹ год⁻¹) для расчета биогенной нагрузки на частный водосбор р. Невы

Выращиваемые культуры	Площадь (га) в 2021	Урожайность (ц га ⁻¹ год ⁻¹)
Зерновые	38 325	32
Картофель	876	228
Овощи открытого грунта	865	334

При проведении расчётов были получены следующие результаты:

Таблица 11. Исходные данные для расчета биогенной нагрузки на частный водосбор р. Невы (от истока до Санкт-Петербурга)

Год	2019	2020	2021
Площадь пашни (км ²)	117,33	129,25	127,07
КРС (голов)	88405	88 793	88 417
Свиньи (голов)	148 067	144 584	142 692
Птица (голов)	224 538 586	223 028 000	224 538 586
Количество внесенного Р с удобрениями (т)	293	300	312

Количество внесенного N с удобрениями (т)	694	730	730
Р общ от точечных ист. (т год ⁻¹)	611, 380	594, 335	613, 453
N общ от точ. ист. (т год ⁻¹)	2 134, 979	2 075, 455	2 142, 219

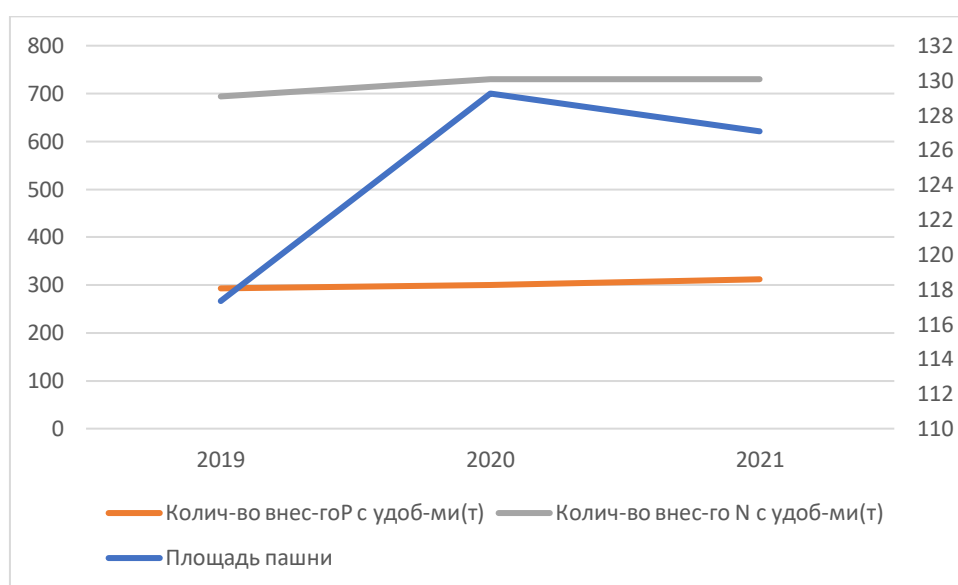


Рис. 22 График динамики роста сельскохозяйственных территорий и количества внесенных удобрений в Ленинградской области за период 2019-2021 гг.

Таблица 12. Основные компоненты биогенной нагрузки (т год⁻¹) на р. Нева с ее частного водосбора для условий 2021 г.

Вещество	Робщ	Нобщ
Нагрузка, сформированная точечными источниками (урбанизированных территорий)	613, 453	2 142, 219
Нагрузка, сформированная точечными источниками (КРС)	55 ,703	194,517

Нагрузка, сформированная точечными источниками (Свиньи)	89,896	313,922
Нагрузка, сформированная точечными источниками (Птицы)	14 145,912	49 398,489
Рассредоточенная нагрузка на водосбор	249,649	3 668,604
Нагрузка от образовавшегося на фермах и птицефабриках навоза и помета	2 648,457	6 502,331
Вынос химических веществ за пределы водосбора с собранным урожаем	218,53	1 411,386

Биогенная нагрузка на водосбор по содержанию азота в 2021 году составила 60 808,70 N_{общ} т год⁻¹ и 17 584,54 т Р_{общ} год⁻¹ по содержанию фосфора (для частного водосбора реки Невы).

Далее представлены исходные данные и расчет биогенной нагрузки Ленинградской области в целом:

Таблица 13. Площади различных типов подстилающей поверхности (км²) формирующих рассредоточенную биогенную нагрузку на территории Ленинградской области в 2019-2021 г.

Год	2019	2020	2021
Пахотные земли	392,11	402,13	400,6
Урбанизированные территории	59 000,00	59 000,00	59 000,00

Таблица 14. Площади посева выращиваемых культур (га) их урожайность (ц га⁻¹ год⁻¹) для расчета биогенной нагрузки от Ленинградской области

Выращиваемые культуры	Площадь (га)	Урожайность (ц га ⁻¹ год ⁻¹)
Зерновые	38325	32
Картофель	876	228
Овощи открытого грунта	865	334

Таблица 15. Исходные данные для расчета биогенной нагрузки Ленинградской области.

Год	2019	2020	2021
Площадь пашни (км ²)	392,11	402,13	400,66
КРС (голов)	160397	153585	157741
Свиньи (голов)	176488	181752	172666
Птица (голов)	222 031 000	223 028 000	224 538 586
Р общ с мин. удобр. (т год ⁻¹)	898,5	1586,2	1010,8
Н общ с мин. удобр. (т год ⁻¹)	8064,5	6181,4	7874
Р общ от точ. ист. (т год ⁻¹)	748,979	793,957	808,815
Н общ от точ. ист. (т год ⁻¹)	2 615,481	2 772,548	2 824,435

Таблица 16. Составляющие биогенной нагрузки водосборов Ленинградской области

Вещество	Р _{общ}	N _{общ}
Нагрузка, сформированная точечными источниками (урбанизированных территорий)	808,815	2 824,434
Нагрузка, сформированная точечными источниками (КРС)	99,376	347,030
Нагрузка, сформированная точечными источниками (Свиньи)	108,779	379,865
Нагрузка, сформированная точечными источниками (Птицы)	14 145,931	49 398,489
Рассредоточенная нагрузка на водосбор	3 369,410	4 780,990
Нагрузка от образовавшегося на фермах и птицефабриках навоза и помета	6 643,227	27 062,221
Вынос химических веществ за пределы водосбора с собранным урожаем	102,042	4 387,826

Результаты расчетов общей биогенной нагрузки на водосборы Ленинградской области в целом показали следующие значения:

Азот - 80 405,20 N общ т год⁻¹

Фосфор - 25 073,50 P общ т год⁻¹

4.1 Результаты расчетов уровня биогенной нагрузки, оказываемой на водосборы Ленинградской области от диффузных источников

Благодаря математическим расчетам стало возможным выделить с целью их описания компоненты, составляющие биогенную нагрузку на водоемы Ленинградской области. Данный результат относится к временному промежутку с 2019 по 2021 годы. Эмиссия экспортных коэффициентов – это метод, который явился методом выбора для данной задачи; данным путем был произведен подсчет уровня биогенной нагрузки от диффузных источников в регионе Ленинградской области [28].

Данные расчеты отображают только те показатели, которые были получены при вычислении уровня биогенной нагрузки, получаемой водоемами, находящимися в Ленинградской области, за счет работы животноводческих ферм и птицефабрик. При этом на данном этапе биогенная нагрузка, получаемая водосборами от города Санкт-Петербурга, имеющего высокий уровень населенности, не учитывалась в расчетах.

Представляется возможным сделать вывод о наличии связи между повышением уровня биогенной нагрузки, получаемой водосборами, и увеличением продукции птицефабрик в Ленинградской области. Данный вывод подтверждается путем анализа графиков, представленных на рисунках (22, 23, 24). Данные свидетельствуют также о постоянном увеличении биогенной нагрузки за три года, если брать за точку отсчета 2019 год. В то же время, составляющие биогенной нагрузки, согласно полученному результату, вполне могли разниться в тот или иной временной промежуток.

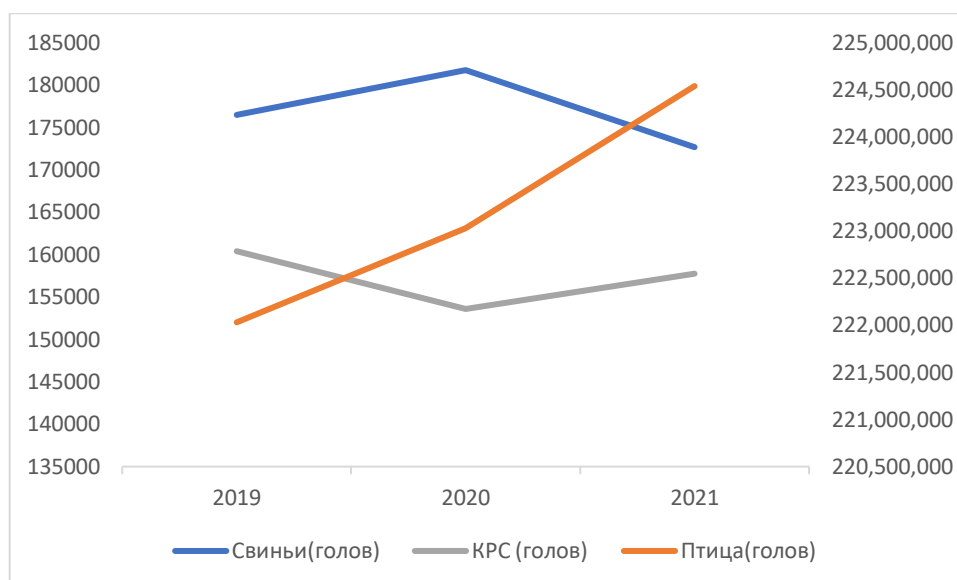


Рисунок 22. Динамика численности КРС, свиней и птиц 2019-2021 г.

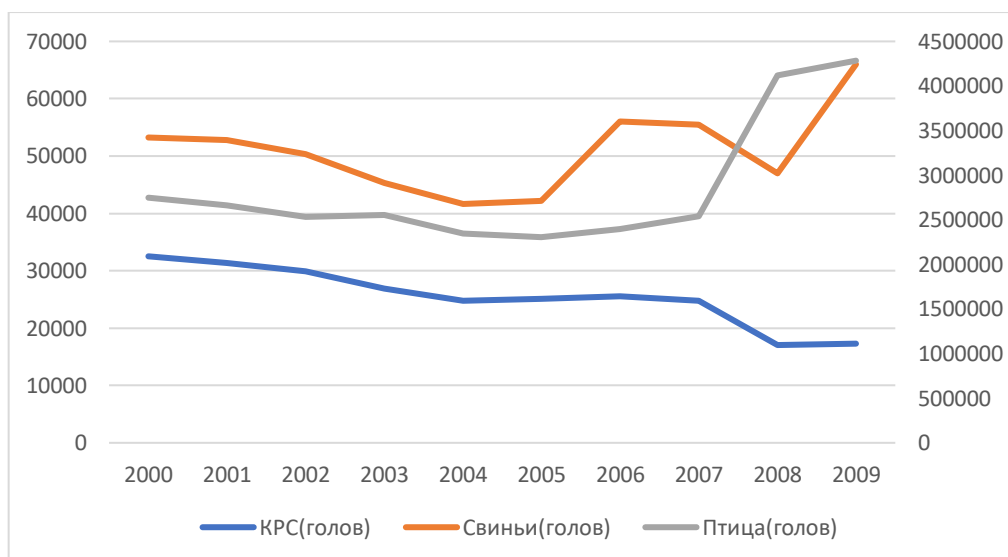


Рисунок 23. Динамика численности КРС, свиней и птиц 2000-2009 г.

Вследствие сбора урожая также происходит вынос химических веществ. Таким образом, биогенная нагрузка на водосборы в целом незначительно уменьшается. Метод эмиссии экспортных коэффициентов позволяет учитывать данное обстоятельство. Так, уровень поступления фосфора ($P_{\text{общ}}$) снижен на 0,01%, а азота ($N_{\text{общ}}$) – на 0,02%. Прочие компоненты, являющиеся побочными продуктами человеческой жизнедеятельности, входят в состав веществ, оказывающих биогенную нагрузку, получаемую водосборами Ленинградской области.

Основные компоненты биогенной нагрузки на водосборы Ленинградской области, которыми являются фосфор и азот, составили 25 073,5 т $P_{\text{общ}} \text{ год}^{-1}$ и 80 405,20 т $N_{\text{общ}} \text{ год}^{-1}$ соответственно. Расчеты показали, что 70% фосфора и 75% азота от всей биогенной нагрузки на область приходится на водосбор реки Невы, где находится большое количество фермерских хозяйств, сельхозпредприятий, а также множество высокоурбанизированных территорий. В 2021 году для реки Невы она составила 17 584,54 т $P_{\text{общ}} \text{ год}^{-1}$ и 60 808,7 т $N_{\text{общ}} \text{ год}^{-1}$.

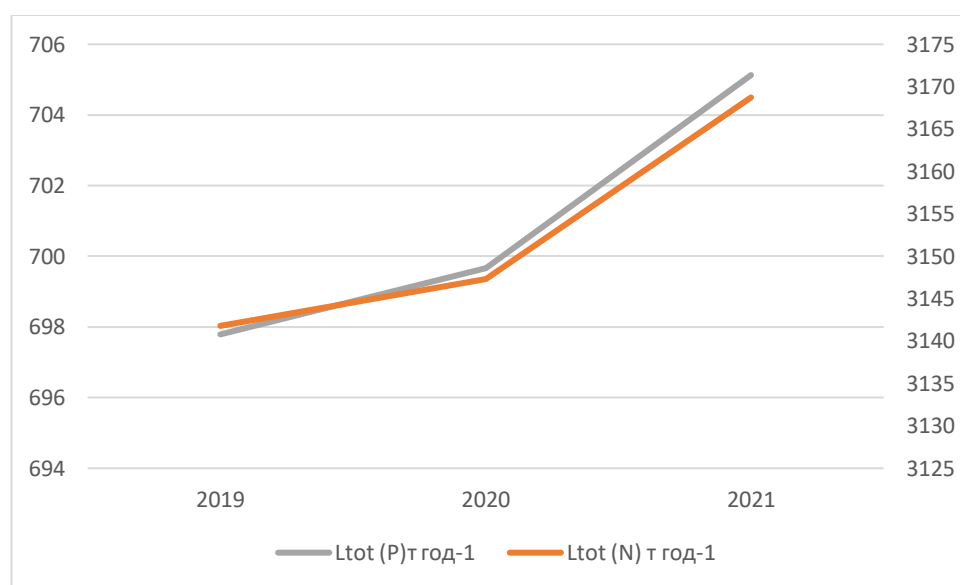


Рис. 24. Биогенная нагрузка, получаемая от диффузных (распределенных) источников за 2019-2021 гг. (Ленинградская область)

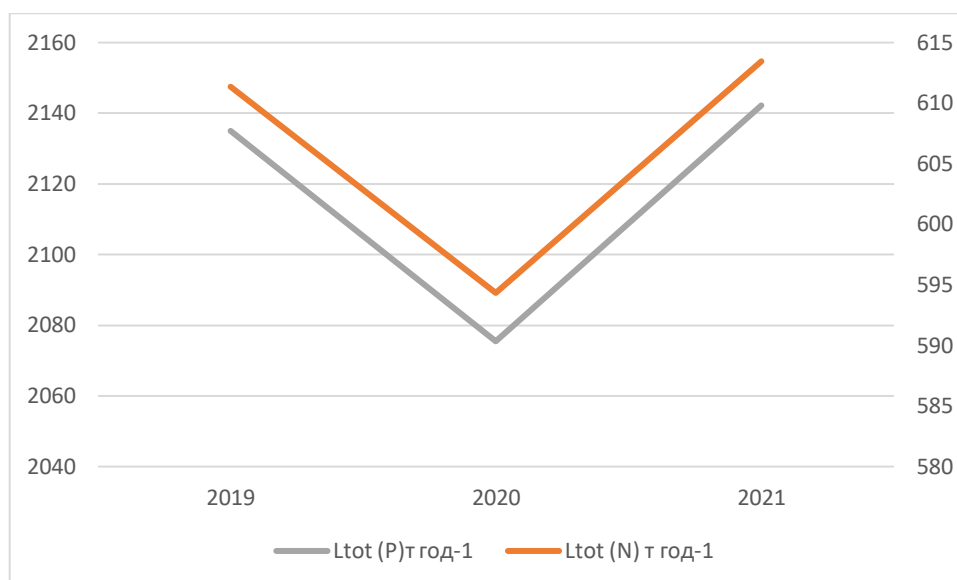


Рис. 24 Биогенная нагрузка, получаемая от диффузных (распределенных) источников за 2019-2021 гг. (частный водосбор реки Невы)

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о взаимосвязи поголовья КРС, свиней и количества птицы, разводимой в регионе, и повышении за счет этого биогенной нагрузки на водосборы Ленинградской области (на основании сравнения данных 2000-2009 гг. и данных за 2019-2021 гг.).

Заключение.

Целью данной дипломной работы явился подсчет уровня биогенной нагрузки от диффузных (распределенных) источников, оказывающих эвтрофицирующее воздействие на водоемы, находящиеся в Ленинградской области, в том числе произведен учет загрязнений, относящихся к антропогенным источникам.

Для достижения поставленной цели было дано описание Ленинградской области, а также прилегающих к ней территорий, включающее в себя физические, географические и топографические особенности данной местности. В их числе находятся водосборы наиболее крупных рек (Нева, Луга, Охта), города и прочие населенные пункты.

Анализ научной литературы в контексте биогенной нагрузки позволил выделить особенности явления эвтрофикации, а, касательно непосредственной темы данной работы, были получены актуальные данные, отражающие принцип поступления биогенных веществ в Финский залив. Для подсчета биогенной нагрузки была использована математическая модель.

Среди ряда источников стоит отметить заключения ХЭЛКОМ, из которых следует, что наибольшему поступлению азота в Финский залив способствуют грузо- и пассажироперевозки посредством судов, ходящих по Балтийскому морю; второе место по этому показателю занимает сельскохозяйственная деятельность. В свою очередь, ХЭЛКОМ отмечает, что поступление фосфора в Финский залив имеет тенденцию к снижению (с 2014 года оно составило 26%). Также было отмечено снижение нагрузки азотом (12%). Данный результат свидетельствует о положительной динамике вследствие эффективного сотрудничества стран-участниц ХЭЛКОМ в течение последних лет.

В Ленинградской области, напротив, сельское хозяйство занимает первое место по уровню биогенной нагрузки на водосборы, которые

расположены на ее территории. Птицефермы в этом плане наиболее активны, также вносит вклад разведение иных животных. Увеличение данного вида производства имеет тенденцию к повышению, что следует из сравнения текущих данных с показателями 2000-2007 гг. [28].

Водостоки и методы очистки отводимых вод также были учтены в данной работе.

Также в ходе обзора источников биогенной нагрузки был рассмотрен вклад промышленности, аграрных предприятий, садоводства; территорий, наиболее заселенных людьми. Точечную нагрузку сельскохозяйственных предприятий составляет, в частности, помет, а также навоз и прочие отходы сельскохозяйственной деятельности в основном таких животных, как свиньи и крупный рогатый скот.

Для Ленинградской области, таким образом, рекомендации ХЭЛКОМ представляются особо актуальными (в отличие от Финского залива), поскольку уровень биогенной нагрузки, поступающей от сельского хозяйства, пока лишь повышается.

Таким образом, в ходе теоретического обзора и с помощью математических расчетов была выполнена количественная оценка, отражающая биогенную нагрузку, оказываемую диффузными, т.е. распределенными источниками на водоемы Ленинградской области.

Список использованной литературы

1. Алимов А.Ф., Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы.[Текст]: учебное пособие для вузов / А.Ф. Алимов, С. М. Голубко - СПб.: КМК, 2008г. - 235с.
2. Алимов А.Ф., Элементы теории функционирования водных экосистем.[Текст]: учебное пособие для вузов / А.Ф. Алимов, М.Б. Иванова - СПб.: Наука, 2000. - 147 с.
3. Банников А. Г. Основы экологии и охрана окружающей среды [Текст]: учебное пособие для вузов / А. Г. Банников, А. А Вакулин, А. К. Рустамов - М. : Колос, 1996. - 303 с.
4. Бегак М. В., Наилучшие доступные технологии и комплексные экологические разрешения.[Текст]: Учебное пособие / М. В. Бегак - М.: 2010
5. Буренина Т.И. Промышленная экология. Методические указания к лабораторным работам.[Текст]: учебное пособие для вузов / Т.И. Буренина Л.Н. Григорьев Л.М. Исянов А.В. Левин - СПб: ВШТЭ, 2003. – 39 с.
6. Википедия [Электронный ресурс] / Режим доступа <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1456927>
7. Вода России [Электронный ресурс] / Научно-исследовательская энциклопедия. Режим доступа: <https://water-ef.ru/> – Загл. с экрана.
8. Вода России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.ly/3F5WlvB/>. - Загл. с экрана.
9. Григорьева Е.В., Экология городской среды.[Текст]: учебное пособие для вузов / Е.В. Григорьева, К.С. Саевич, А.К. Челноков, Л.П. Ющенко - М.: Медисонт, 2007 - 480 с.
10. ГУП Леноблводоканал [Электронный ресурс] / Система очистки сточных вод. Режим доступа:

- http://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/tehnologii_ochistki/. - Загл. с экрана.
11. Данилов-Данильян В. И. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования [Текст]: учебное пособие для вузов / В. И. Данилов-Данильян, И. Л. Хранович - М.: Научный мир, 2010. - 229 с.
 12. Данилов-Данильян В.И. Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Данилов-Данильян, М.Ч. Залиханов, К. С Лосев -М.: МНЭПУ, 2001-332 с.
 13. Другов Ю. С., Родин А. А. Пробоподготовка в Экологическом Анализе [Текст]: Практическое Руководство / Ю. С Другов, А. А. Родин -М.: Анатолия, 2021 -755с.
 14. Ершова А.А. Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Нева в восточную часть финского залива [Текст] : дис. канд. наук./ Ершова А.А.- СПб.,2013 - 120 с.
 15. Земляной В.В. Водоснабжение. [Текст]: учебное пособие для вузов / В.В. Земляной, Б.В. Леонов, Л.В. Кучерова, А.А. Надежкина, П.И. Шевченко -М.: ДВФУ 2015 -144 с.
 16. Зилов Е. А. Гидробиология и водная экология: учеб. пособие для вузов/ Е. А. Зилов. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2007. – 138 с.
 17. Информационный сайт о реках России [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://vsereki.ru/atlanticheskij-ocean/bassejn-baltijskogo-morya/bassejn-ladozhskogo-ozera/svir/oyat/>. – Загл. с экрана.
 18. Карпачевский М. Л., Основы устойчивого лесопользования [Текст]: учеб. пособие для вузов / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая, А. Ю. Ярошенко -М.: Анатолия, 2009. — 143 с.
 19. Колесников Е. В., Промышленная экология [Текст]: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. Ю. Колесников. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 551 с.

20. Комитет по природным ресурсам ленинградской области [Электронный ресурс] / Информационно-аналитический сборник. Состояние окружающей среды в Ленинградской области / Информационно-аналитический сборник – Режим доступа <https://nature.lenobl.ru/ru/deiatelnost/ohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy/>. – Загл. с экрана.
21. Комитет по агропромышленному и рыбохозяйственному комплексу Ленинградской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://agroprom.lenobl.ru/ru/o-komitete/napravleniya-deyatelnosti/zhivotnovodstvo/pticevodstvo/>. – Загл. с экрана.
22. Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования : учеб. пособие для вузов / С. А. Кондратьев - СПб.: Наука, 2007. -252 с.
23. Кузьмич В.А. Промышленная экология. [Текст]: учебное пособие для вузов / В.А. Кузьмич - М.: Высшая школа, 2019 - 328 с.
24. Материалы V всероссийского симпозиума с международным участием//Библ. Обзорение –2012 – Кн. 1/2. – с. 164-168. – Содерж.: Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах./ Ефимова Л.Е. – с. 164-168.
25. Медведева М. А., Сорокина И. А. Флора долины реки Сясь в пределах нижнего и среднего течения (Ленинградская обл., Волховский и Тихвинский р-ны) / М. А. Медведева, И. А. Сорокина // Вестник СПбГУ. – 2005. – № 2. – С. 71-73.
26. Минин В. Б. Комментарии к новому плану действий ХЕЛКОМ по защите Балтийского моря / В. Б. Минин // АгроЭкоИнженерия. – 2020 - № 3(104). - С. 108-122.
27. Михайлов В.Н. Гидрология [Текст]: учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов - М.; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 752 с.

28. Морье (река) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.ly/3gxl41S>. – Загл. с экрана.
29. Научно популярная энциклопедия Вода России [Электронный ресурс]: Научно популярная энциклопедия – Режим доступа: http://www.water-rf.ru/Регионы_россии/2529/Ленинградская_область/. – Загл. с экрана.
30. Научно популярная энциклопедия Вода России [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.water-rf.ru/Регионы_россии/2515/Сточные_воды/. – Загл. с экрана.
31. Невско-ладожского бассейнового водного управления федерального агентства водных ресурсов. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Волхов. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. – СКИВО [Текст]: принят приказ НЛБВУ № 82 от 27.06.2014 - СПб.: НЛБВУ, 2019.
32. Невско-Ладожского бассейнового водного управления федерального агентства водных ресурсов. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луги. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна – СКИВО [Текст]: принят приказ НЛБВУ № 82 от 27.06.2014 - СПб.: НЛБВУ, 2019.
33. Невско-Ладожского бассейнового водного управления федерального агентства водных ресурсов. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нарвы книга 1. Общая характеристика речного бассейна – СКИВО [Текст]: принят приказ НЛБВУ № 82 от 27.06.2014 - СПб.: НЛБВУ, 2019.
34. Невско-Ладожского бассейнового водного управления федерального агентства водных ресурсов. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна – СКИВО [Текст]: принят приказ НЛБВУ № 82 от 27.06.2014 - СПб.: НЛБВУ, 2020.
35. Пестряков В. К./Почвы ленинградской области: в 1 ч.: Почвы ленинградской области / Пестряков В. К - Л.: Лениздат, 1973. – 21 с. (5)

- 36.План действий Хелком по Балтийскому морю [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://helcom.fi/media/publications/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf/>. – Загл. с экрана.
- 37.План управления водными ресурсами бассейна реки Нарвы и Чудского озера. Проект ЕС/ ТАСИС «Управление водными ресурсами бассейна Чудского озера»; – Псков, ПГПИ, 2006 – 286 с.
- 38.Резчиков Е. А. Экология [Текст]: учебное пособие для вузов / Е. А. Резчиков, О. Н. Заломнова - М.:МГИУ, 2021 - 104 с.
- 39.Река Аволга [Электронный ресурс]: Электронная энциклопедия/ Государственный водный реестр: Авлога (Вуолен-йоки) - Режим доступа <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/78/>. – Загл. с экрана.
- 40.Река Свирь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cruiseinform.ru/places/svir/riversvir/>. – Загл. с экрана
- 41.Река Сясь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8F%D1%81%D1%8C>. – Загл. с экрана.
- 42.Рехтин А.Б., Проектирование сооружений для очистки сточных вод [Текст]: учебное пособие для вузов / А.Б. Рехтин, Е.Б. Курочкин, Б.А. Лашкинский - Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. - 314 с.
- 43.Самусь О. Р., Овсянников В. М., Кондратьев А. С. Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики [Текст]: учебное пособие для вузов / О. Р. Самусь, В. М. Овсянников, А. С. Кондратьев - Пятигорск : СКФУ, 2014- 13 с.
- 44.Свод правил экологически безопасной сельскохозяйственной практики в условиях Ленинградской области России. Часть 1 Содержание крупного рогатого скота и кормопроизводство. Промышленное птицеводство [Текст] : – СПб.-Хельсинки, 2007 – 68 с.

45. Сравнение норм очистки Россия - Хелком [Электронный ресурс] – Режим доступа: resetilovs.lv/image/File...Normi_Rossija_Helkom.pdf. – Загл. с экрана.
46. Терехов А. В, Обломкова Н. С, Шмакова М.В. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на Дудергофские озера / А. В. Терехов, Н.С. Обломкова, М. В. Шмакова // Ученые записки РГГМУ. – 2019. № 54 – С. 58-66.
47. Технология очистки сточных вод [Электронный ресурс] : учебное пособие : самост. учеб. электрон. изд. / А. П. Карманов, И. Н. Полина ; Сыкт. лесн. ин-т. — Электрон. дан. — Сыктывкар : СЛИ, 2015. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/>. – Загл. с экрана
48. Якунина И. В., Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. [Текст]: Учебное пособие для вузов / И. В. Якунина - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2009 - 188 с.
49. Baltic Sea Environment Proceedings No. 153 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP153.pdf>/. – Загл. с экрана.
50. [Review] [Text] / HELCOM // Helsinki - 2015 - Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea (PLC-Water)