Атлантическое отделение Федерального бюджетного учреждения науки
Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

На правах рукописи

Домнин Дмитрий Александрович

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук
Борис Валентинович Чубаренко

Калининград – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4

ГЛАВА 1. ИНДИКАТОРНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ..... 13

1.1. Понятие индикатора и специфика индикаторного подхода..... 13

1.2. Применение индикаторных систем..... 16

1.3. Обобщение рассмотренных индикаторных систем..... 31

ГЛАВА 2. СИСТЕМА ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ РЕК КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ..... 36

2.1. Управление водосборными бассейнами..... 36

2.1. Трансграничные водосборы Юго-Восточной Балтики..... 39

2.2 Методика оценки площадей водосборов..... 44

2.3 Взаимное расположение муниципальных образований и водосборных бассейнов Калининградской области..... 46

ГЛАВА 3. ИНДИКАТОРЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 55

3.1. Система индикаторов для геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области..... 55

3.2. Геоинформационная система обработки пространственных данных и вычисления индикаторов 60

3.3. Группа индикаторов для оценки антропогенной нагрузки на водосборные бассейны..... 63

3.4. Группа индикаторов для оценки способности территории к самоочищению 74

3.5. Группа индикаторов для оценки транзитной способности водосборных бассейнов 88

ГЛАВА 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 101

4.1. Отбор и подготовка данных 101

4.2. Районирование водосборных бассейнов по индексам 110

4.3. Верификация результатов анализа индикаторной оценки 114

4.2. Районирование водосборных бассейнов на основании кластерного анализа..... 116

ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 124

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Для Балтийского моря наиболее серьезной и трудноразрешимой проблемой является попадание в морскую среду загрязняющих веществ и увеличение эвтрофикации, что существенным образом влияет на биоразнообразие и на возможность устойчивого использования морских ресурсов. Явное подтверждение этому – цветение водорослей, безжизненное состояние морского дна, а также истощение рыбных запасов. Если ещё совсем недавно море само справлялось с органическим загрязнением, то сейчас эти проблемы требуют немедленных широкомасштабных действий для прекращения дальнейшего разрушения окружающей среды Балтийского моря и предотвращения необратимого бедствия. Главной причиной эвтрофикации Балтийского моря являются чрезмерный сток азота и фосфора от наземных источников, в пределах водосборного бассейна стран региона, поступающие через реки или как прямые водные сбросы (75% азота и 95% фосфора) (План действий, 2008). А для Калининградской области, которая является частью водосборного бассейна юго-восточного сектора Балтийского моря, основными угрозами, преследующими водные объекты, значатся тотальное загрязнение эврофикантами, токсичными веществами и нефтепродуктами (Схема…, 2004).

В 2007 г. был принят План действий ХЕЛКОМ (HELCOM BSAP, 2007) по защите окружающей среды Балтийского моря, предусматривающий в качестве решения проблемы эвтрофикации вод Балтийского моря (State and Evolution of the Baltic Sea, 2008) снижение биогенной нагрузки со стороны окружающих его стран. Согласно рекомендованным ХЕЛКОМ квотам (HELCOM Copenhagen..., 2013) Калининградской области необходимо снижение к 2021 году биогенной нагрузки с её территории на 50% по фосфору и на 25% по азоту от существующего уровня (HELCOM Copenhagen..., 2013). В случае ввода очистных сооружений в основных населенных пунктах области этот план будет обеспечен всего на 50-70% (Горбунова и др., 2015), а значит, требуется снижение биогенной нагрузки и на самой водосборной территории. Учитывая разрозненность в расположении малых поселений и объектов сельскохозяйственной инфраструктуры, выбор терри-

торий для применения соответствующих мер не может быть сделан без бассейнового подхода (Водный кодекс, 2006), т.е. без сравнительной оценки условий и роли водосборов рек области в формировании нагрузки по биогенным элементам на Балтийское море, чему и посвящена настоящая работа.

В предшествующих работах по оценке геоэкологической ситуации в Калининградской области (Шибаева, 1997, Белов, 2011, Нагорнова, 2012, Кесорецких, 2015) и отдельных её районах (Шаплыгина, 2010) не затрагивался вопрос о сравнении вкладов поверхностных водосборов[1] рек области в формирование суммарной биогенной нагрузки на Балтийское море и районировании с этой точки зрения ее территории.

Цель исследования – геоэкологическая оценка современного состояния и районирование поверхностных водосборных бассейнов Калининградской области на основе системы индикаторов антропогенного воздействия и способности территории к самоочищению.

Задачи исследования:

1. Проанализировать структуру частных водосборов рек в пределах Калининградской области и подготовить принципиальную схему принадлежности частей поверхностных водосборных бассейнов (суб-бассейнов) соответствующим административным единицам Калининградской области, сформировать на этой основе геоинформационную систему для работы с исходными и интерпретируемые данными.

2. Разработать систему индикаторов для геоэкологической оценки состояния частных водосборов рек Калининградской области на основе отечественного и зарубежного опыта, согласующуюся с данными официальной статистики России регионального уровня.

3. Оценить современное геоэкологическое состояние частных водосборов рек Калининградской области и провести геоэкологическое районирование её территории на основе разработанной системы индикаторов.

Диссертация выполнена в соответствии с п. 1.17 **паспорта специальности** 25.00.36 «Геоэкология» (Науки о Земле), в ней дана геоэкологическая оценка тер-

[1] Термины *водосбор, водосборный бассейн, водосборная территория* используются в работе как синонимы.

риторий с применением методов геоэкологического картирования и статистического анализа пространственно-распределённых данных.

Объект исследования – система поверхностных водосборных бассейнов рек Калининградской области.

Предмет исследования – закономерности пространственной дифференциации современного геоэкологического состояния поверхностных водосборных бассейнов Калининградской области.

Теоретической и методологической базой работы стали результаты разработок российских и иностранных исследователей. Были учтены проблемы водопользования и подходы водного управления, рассмотренные в работах В.И. Данилов-Данильяна, И.Л. Храновича (2009, 2010), Л.М. Корытного (2001, 2006, 2010), В.И. Косова, В.Н. Иванова (1995),). Проведён анализ различных систем индикаторов Г.Г. Гогоберидзе (2005, 2008), А.П. Есиной (2004), Э.Н. Клевко (2006), Е.Г. Кропиновой (2005), Н.И. Лаптева (2005), Г.Е. Мекуша (2004), А.А. Музалевского (2010), A. Lescrauwaet, J. Mees, C. Glibert (2006), A. Manninen (2002), Gilbert (2008), разработанных в соответствии с принципами устойчивого развития А.Д. Урсула (2000). С целью изучения процессов, происходящих в водосборных бассейнах, были проанализированы научные работы В.Н. Михайлова с соавт. (1991, 2007), А.М. Никанорова, В.П. Емельяновой (2005), посвященные общим гидрологическим аспектам, а также С. В. Александрова, Ю.А. Горбуновой (2010), С.И. Зотова (2001), С.А. Кондратьева (2003, 2007), где уделено внимание вопросам моделирования состояния водных геосистем. Из работ Н.Л. Великанова, Е.Д. Проскурнина (2003), Л.Л. Марковой и др. (1960, 2005), Б.В. Чубаренко, Ф.Е. Алексеева (2005), М.Я. Колосенцевой (2005), С.А. Уманского (2005), описывающих использование водных ресурсов в Калининградской области, получена информация о проблемах речных систем исследуемого региона. Методики географического районирования и использования бальной оценки В.В. Дмитриева (1999-2001), К.Н. Дьяконова с соавт. (1996), С.П. Евдокимова (2001), А.Г. Исаченко (1991), В.З. Макарова с соавт. (2002), В.И. Прокаева (1983), А.Е. Фединой (1981), А.Н. Чумаченко (1997, 2001) легли в основу классификации и объединения частных водосборов области в районы. Кроме того, при оценке геоэкологического состояния водосборных бассейнов и отдельных территорий Калининградской области

были учтены исследования в работах М.Н. Шибаевой (1997), Т.В. Шаплыгиной (2010), Н.С. Белова (2011), Н.Н. Нагороновой (2011, 2012), И.И. Кесорецких (2015).

Методология, методы и инструменты исследования. Посредством геоинформационного картирования были выделены водосборы рек и их части, соответствующие административным единицам Калининградской области. Сформирована база пространственных данных, включающая исходную физико-географическую и социо-экономическую информацию (2001-2015) и удельные (на единицу площади) значения индикаторов, характеризующих антропогенное воздействие, способности территории к самоочищению и транзиту биогенных элементов. Проведены расчёты соответствующих агрегированных индексов, на основании которых выполнено районирование территории, при этом применён кластерный анализ. Выполнена верификация по результатам расчетов на численных моделях HYPE (гидрологическое моделирование) и FyrisNP (моделирование биогенного стока).

В исследовании применялись методы: картографический, сравнительно-географический, математико-статистический, гидрологического моделирования, геоэкологического районирования. Использовались специализированные программные средства ESRI ArcGIS 10, Statistica 7.1.

Научная новизна:

1. Разработана авторская методика интегральной оценки вклада частных водосборов рек Калининградской области в биогенную нагрузку на прибрежную зону Балтийского моря на основе данных официальной статистики и учёта трёх составляющих − антропогенной деятельности, способности водосборов к самоочищению и транзиту биогенных элементов.

2. Впервые проведено геоэкологическое районирование территории Калининградской области с учётом вкладов частных водосборов рек в биогенную нагрузку на прибрежную зону Балтийского моря:

- выявлена разница между частными водосборами Вислинского залива, Куршского залива и собственно Балтийского моря по удельной антропогенной нагрузке, способности к самоочищению и транзиту биогенных элементов;

- в пределах территории Калининградской области выделены 5 районов по степени благополучности с точки зрения биогенной нагрузки на Балтийское море и указаны, какие из них могут перейти в категорию благополучных и при каких условиях.

На защиту выносятся:

1. Методика интегральной оценки вклада частных водосборов рек Калининградской области в нагрузку по биогенным элементам на прибрежную зону Балтийского моря, основанная на использовании предложенной автором системы индикаторов и данных официальной статистики.

2. Схема бассейново-административного деления Калининградской области, иллюстрирующая структуру взаимного пересечения водосборов и административно-территориальных единиц.

3. Геоинформационная система, содержащая исходные данные для частных водосборов рек Калининградской области на основе информации 2001-2015 гг. и результаты применения предложенной индикаторной системы.

4. Результаты геоэкологического районирования Калининградской области по агрегированным индексам степени антропогенного воздействия, способностей водосборов к самоочищению и к транзиту биогенных элементов:

- среди частных водосборов Вислинского и Куршского заливов и собственно Балтийского моря наибольшая удельная антропогенная нагрузка и наилучшая транзитная способность характерна для водосбора Вислинского залива, частный водосбор Куршского залива характеризуется минимальной нагрузкой и максимальной способностью к самоочищению, а для частного водосбора рек, напрямую впадающих в Балтийское море, характерны наиболее сбалансированные значения всех оценочных индексов;

- на территории Калининградской области объективно выделяются 5 районов: неблагополучный (1.2% территории Калининградской области), характеризующийся существенным антропогенным воздействием, слабой способностью к самоочищению и транзиту, требующий незамедлительного снижения нагрузки; благополучный (18%), подвергающийся слабой антропогенной нагрузке; три переходных района (~81%), для которых интегральное состояние по характеристикам антропогенной нагрузки и способности к самоочищению находятся на сред-

нем уровне для рассматриваемой территории, и которые в случае снижения антропогенной нагрузки переходят в категорию благополучных.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Предложенная система индикаторов для интегральной оценки соотношения вкладов частных водосборов рек в биогенную нагрузку на прибрежную зону Балтийского моря может быть использована при формировании схем территориального развития отдельных муниципалитетов и Калининградской области в целом.

Полученные результаты распространялись на региональных совещаниях и конференциях (в Калининградской области), посвященных вопросам природопользования, природоохраны и управления в области водных ресурсов в виде печатных изданий (Домнин, Чубаренко, 2007, Состояние..., 2009, Domnin, et al., 2015).

Анализ систем индикаторов состояния и развития прибрежной зоны, картосхемы бассейново-административного деления, результаты районирование Калининградской области внедрены при выполнении НИР «Разработка предложений по направлениям развития морских побережий России, обеспечивающих сохранение, реабилитацию и устойчивое использование их ресурсов, и пилотная апробация этих предложений на примере Калининградской области» (2009-2011, по заказу Минэкономразвития России, контракт № 1903-17-09, исп. − Российский государственный гидрометеорологический университет), НИР «Научное обеспечение мероприятий по формированию системы управления морским побережьем Калининградской области, улучшению его состояния и защите от негативного природного и антропогенного воздействия» (2012-2013, по заказу Минэкономразвития России, контракт № 1905-17-12, исп. − Институт океанологи им. П.П. Ширшова Российской академии наук), в текущей деятельности общественной организации «Экология и бизнес» (Санкт-Петербург) при формулировке рекомендаций по реализации «Плана действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю», при участии АО ИО РАН[2] в международных проектах «Индикаторы устойчивого развития для комплексного управления прибрежной зоной в Юго-Восточной Бал-

[2] - Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Калининград

тике (SDI-4-SEB, 2006/131-758)» и «Российский компонент стратегии развития Еврорегиона «Балтика» (Seagull RC, INTERREG IIIB)».

Личный вклад автора.

Результаты диссертационной работы получены и использованы в рамках ФЦП «Мировой океан» темы «Комплексное изучение динамики прибрежных систем, их роли в каскадном процессе транспорта и трансформации вещества и энергии», международного проекта Seagull RC – Russian components of the development strategy for European Baltic, международного проекта SDI-4-SEB (Индикаторы устойчивого развития для Юго-Восточной Балтики), НИР «Разработка предложений по направлениям развития морских побережий России, обеспечивающих сохранение, реабилитацию и устойчивое использование их ресурсов, и пилотная апробация этих предложений на примере Калининградской области».

Автор выполнял подготовку исходной информации, формирование базы пространственных данных, необходимые расчеты, графические построения, картографирование, осуществлял обобщение и анализ результатов. Все научные и прикладные результаты, изложенные в работе, получены автором лично.

Фактический материал. Данные территориального органа Федеральной службы статистики по Калининградской области, полученные по запросу автора, фондовые материалы АО ИО РАН, картографический материал, подготовленный автором путём компьютерной обработки открытых литературных источников и данных дистанционного зондирования (GLCF, SRTM).

Достоверность результатов проведенных исследований обеспечена полнотой исходной информации, сформированной базой пространственных данных, расчётами имитационных моделей, картографированием, использованием разнообразных методов обработки и визуализации полученных результатов, анализом российских и зарубежных работ по теме исследования, апробацией основных выводов на российских и международных семинарах и конференциях.

Апробация работы.

Основные результаты исследования по теме диссертации докладывались на 12-й и 14-й международной конференции ИнтерКАРТО-ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт», Калининград, 2006 г., Саратов, 2008 г.; на международном семинаре «Водное хозяйство в сельских на-

селенных пунктах, система бассейнового управления водными ресурсами», Калининград, 2006; на международной конференции «Мониторинг водосборного бассейна Куршской лагуны. Проблемы и перспективы трансграничного сотрудничества», Светлогорск, 2006; на 5-и семинарах международного проекта Tacis “Sustainable Development Indicators for ICZM in the South-Eastern Baltic SDI-4-SEB”, Kaliningrad, Nida (Lithuania), Gdansk (Poland), 2007; на IV международной конференции «История отечественной океанологии», Калининград, 2007; на международной научно-практической конференции «Эколого-правовые проблемы сотрудничества стран Балтийского региона», Калининград, 2007; на конференции “Sustainable Development Indicators for ICZM in the South-Eastern Baltic”, Palanga, Lithuania, 2007; на международной конференции «Природные и природно-техногенные риски береговой зоны морей», Одесса, Украина, 2008; на Международной конференции «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики», Калининград, 2008; на семинаре в Правительстве Калининградской области «Информационные основы комплексного управления прибрежной зоной трансграничного региона», Калининград, 2009; на Summer School on Physical Oceanography of the Baltic Sea, Tvärminne, Finland, 2009; на VIII Общероссийском Форуме «Стратегическое планирование в регионах и городах России», Санкт-Петербург, 2009, на XXIII Международной береговой конференции «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности», Санкт-Петербург, 2010, на Всероссийской научной конференции «Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования», Калининград, 2011; на расширенных семинарах кафедр комплексного управления прибрежной зоной и прикладной экологии РГГМУ, СПб, 2010, 2011, 2012 гг.

По теме диссертации опубликовано 24 работы, включая 5 в изданиях, рекомендованных ВАК, 7 в коллективных монографиях, 8 работ, выпущено на иностранном языке.

Структура и объём диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 142 страницах, включает 61

рисунок, 17 таблиц. Список использованных материалов включает 172 источника, в том числе 46 на иностранных языках.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н. Б.В. Чубаренко за поддержку идей, советы и конструктивную критику, а также д.э.н. Г.Г. Гогоберидзе, д.г.-м.н. Е.В.Краснову, д.ф.-м.н. В.А. Гриценко, кроме того, коллективу лаборатории прибрежных систем АО ИО РАН и коллегам из Российского государственного гидрометеорологического университета (г.Санкт-Петербург), Института прибрежных исследований и планирования (г. Клайпеда, Литва) и Морского института (г. Гданьск, Польша). Отдельное спасибо родным и близким за придание уверенности в написании работы.

ГЛАВА 1. ИНДИКАТОРНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. Понятие индикатора и специфика индикаторного подхода

Многообразие видов человеческой деятельности обусловливает многообразный спектр методов, которые основаны на тесном взаимодействии теоретической базы и практического опыта (Уайтхед, 1990). Для пространственно-территориального анализа ситуации в пределах водосборных территорий (как и в большинстве географических исследований) применяются различные методы и подходы: комплексные и сравнительные описания, картографирование, математические методы и методы статистического анализа, эксперимент, моделирование, районирование. Все указанные методы применяются как индивидуально, так и совместно, что позволяет наиболее полно провести научное исследование (Современные методы, 1996). В современной науке существует подход, объединяющий практически весь комплекс методов – индикаторная оценка территорий, которая служит «основой генерации новой информации для систем принятия решений» (Музалевский, 2010).

Индикаторный подход для научных исследований, заключающийся в комплексном анализе выборочных параметров, применяется во многих странах Европы и в России. Отобранные индикаторы в наилучшей степени характеризуют развитие территории с разных сторон природного состояния и человеческой деятельности (Гогоберидзе, 2005, Lescrauwaet and etc, 2006, Морская доктрина, 2007, Лаптев, 2005, Мекуш, 2006, Кропинова 2005, Повестка Дня).

Использование индикаторов для получения информации об объекте или явлении позволяет комплексно представлять результаты других методов научных исследований, таких как измерение, наблюдение, эксперимент, моделирование. По сути, в исследовании, проведённом посредством индикаторного подхода, закладывается комплексное обобщение информации для того, чтобы понять каково состояние объекта или явления в настоящий момент, как оно развивается и что

требуется предпринять в дальнейшем, чтобы получить максимальный эффект развития.

Индикаторный подход основан на первичных данных (параметрах), их интерпретация между собой позволяет выделить какие-либо процессы и явления в виде индикаторов, а обобщение индикаторов по заданной тематике ложиться в основу индексов (Рисунок 1.1).

Рисунок 1.1 – Систематизация параметров, индикаторов и индексов в индикаторном подходе.

В предложенной схеме, при работе с количественными параметрами, информация может быть представлена в виде индикаторов, а её обобщение – в виде индексов.

Параметр – это величина, характеризующая какое-либо свойство системы, явления или процесса, а число, характеризующее эту величину, является его значением. Значения, в свою очередь, служат для различения элементов некоторого множества между собой (Параметр, 1975).

Индикатор – это доступная наблюдению и/или измерению характеристика изучаемого объекта, позволяющая судить о других его характеристиках, недоступных непосредственному исследованию (Индикатор, 1972). Индикатор позволяет отображать изменения параметров какого-либо процесса или явления в наиболее удобной для восприятия человеком форме (Электронные системы, 1966).

Под **индексом** понимается безразмерное значение совокупности величин, отражающей состояние некоторой системы, характеризующей какой-либо процесс или явление (возможно во времени или в пространстве) (Отношение, 1974).

Так как невозможно охватить природную, экономическую и социальную сферы с помощью одного индикатора, то разрабатываются и вводятся различные их системы. Набор индикаторов в системе зависит от целей анализа и требований к результатам этого анализа, а также от географического охвата (региона, страны в целом, отдельной административной единицы). Состояние выбранной территории оценивается с помощью параметров (Карлин и др., 2013, Спиркин, 1972).

В большинстве проанализированных работ индикаторы, в первую очередь, используются для характеристики социально-экономического состояния территорий, а затем для природной составляющей.

В работе (Гогоберидзе, 2005) Гогоберидзе Г.Г. предлагает трактовать индикатор, как количественную или качественную величину, полученную исходя из одного или нескольких параметров, описывающих данное явление или предмет исследования. Каждый индикатор может быть охарактеризован одним или несколькими показателями, отражающими пространственно-временную ситуацию, свойственную самому индикатору. Для комплексной характеристики различных сфер деятельности индикаторы могут быть объединены в группы. Кроме того, для заданных целей анализа конкретной ситуации необходимо отбирать отдельные индикаторы (или их параметры) из различных групп (Гогоберидзе, 2006, 2008).

В России в 1996 году указом Президента РФ (Указ о концепции перехода, 1996) была утверждена Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию (Концепция перехода, 1996). В концепции нет самого понятия «индикатор», но есть термин «целевые ориентиры», выраженные в показателях. Они характеризуют качество жизни, уровень экономического развития и экологического благополучия, что весьма схоже с используемым термином «индикатор», а «показатели» – это его «параметры».

В работе (Лаптев, 2005) Н.И. Лаптев с помощью индикаторов оценивается уровень развития для разных территориальных охватов: от муниципального образования до страны. Кроме того, прогнозируется их будущее экономическое, социальное, экологическое, демографическое состояние, а также делаются выводы о степени устойчивого развития. При этом, отмечается, что для объективных оценок использовать обычные экономические индикаторы недостаточно, а необхо-

димо их сопоставление с загрязнением окружающей среды, истощаемостью природных ресурсов (Лаптев, 2005).

Количественная и качественная оценка условий городской среды, проведенная Э.Н. Клевко (Клевко, 2006), основывается на системе индикаторов развития населённых мест, выявляющей проблемы и локальные различия, а также учитывающей возможность их применения для управленческих решений, активизирующих социально-экономическое развитие (Клевко, 2006).

В исследовании (Есина, 2004) А.П. Есиной, охватывающего весь Северо-западный регион России, под индикаторами понимаются «экономические показатели, с использованием которых можно провести анализ статистической информации и построить прогноз перспективного развития. Это позволит разработать критерии практического решения проблем промышленного сектора с учётом экономического развития на дальнейшую перспективу» (Есина, 2004).

При разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов России, предложена система индикаторов и их параметров, характеризующих основные природные факторы, которые влияют на состояние водных ресурсов, их наличие и доступность использования. Кроме того, данная система призвана «оценить вероятность наступления природных явлений, которые могут вызывать наводнения, засухи и другие негативные воздействия на водные объекты» (Методические..., 2007, Водный кодекс, 2006).

Далее рассмотрены подходы к формированию систем индикаторов, разработанных и применённых на различных административных уровнях, разных сфер социально-экономической деятельности и природной составляющей (включая анализ состояния водосборных территорий).

1.2. Применение индикаторных систем

Индикаторы Мирового развития

В рассмотренной системе индикаторов приводится обобщение данных различных показателей. Международный банк реконструкции и развития (World

Bank) представил более 850 индикаторов – *World Development Indicators* (2008 World Development Indicators, 2008), объединённых в шесть групп: обзор мировых показателей (World View), население (People), окружающая природная среда (Environmental), экономика (Economy), государства и рынки (States and Markets), а также мировые связи (Global Links) (Рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Группы индикаторов Мирового развития (2008 World Development Indicators, 2008).

Раздел описывающий состояние водных ресурсов сводится к анализу водопотребления различными секторами экономики и количеству поступающих в воду загрязнителей.

Индикаторы благополучия населения

Набор индикаторов определяется задачами, которые поставлены перед авторами. П. Госселин с соавторами (Gosselin, 1993) предложил индикаторы, которые отражают благополучие населения и устойчивое развитие общества. Система применена для Канады. Разработка системы опирается на такие критерии как, научная основа, пригодность данных, повторяемость явления, географический охват, административное выполнение задач, согласованность и синтез данных. В системе выделено 4 группы (Рисунок 1.3).

Рисунок 1.3 – Индикаторы благополучия населения (Gosselin, 1993)

В представленной системе основное внимание уделяется социальной сфере, а её индикаторы характеризуют здоровье нации. Окружающей природной среде уделяется внимание с точки зрения её влияния на здоровье населения. Индикаторы состояния водных объектов отсутствуют.

Индикаторы окружающей природной среды и устойчивого развития

Индикаторы описывают основные проблемы окружающей среды, экономики и социальной сферы отдельных территориальных единиц. Эта система предложена Национальным Круглым столом по вопросам окружающей среды и экономики (National Round Table on Environment and Economy – NRTEE) для территории Канады (Environment… Indicators, 2003). Особенность системы в том, что все индикаторы не объединены в группы, а являются самостоятельными, и выделены, как важные проблемы, которые следует решать преждевременно. Выделено 6 индикаторов (Рисунок 1.4).

Индикатор ***качества воздуха*** является наиболее важным, т.к. ухудшение его качества в наибольшей степени влияет на население. Индикатор выражен в количестве содержания озона в воздухе

Индикатор ***качества пресных вод*** отражает их состояние для различных типов использования. Данный индикатор особенно важен для территорий, где используются воды со слабой очисткой

Индикатор ***распространения парниковых газов*** характеризует содержание в воздухе углекислого газа, метана, оксида азота и др. химических соединений. Важен с позиции быстрого изменения климата

Индикатор ***покрытия земной поверхности лесами*** опирается на мониторинг изменения очертаний лесов, выявленных с использованием данных дистанционного зондирования

Индикатор ***распространения затопляемых земель*** является важным как с позиции экономики, так и с точки зрения проживания людей

Индикатор ***человеческого капитала*** является показателем количества людей трудоспособного возраста с высшим и профессиональным образованием

Рисунок 1.4 – Индикаторы окружающей природной среды и устойчивого развития (Environment… Indicators, 2003)

Индикаторы рассмотренной системы являются универсальными для любой территории, но не специфическими для той страны или её части, к которой они могут быть применены. Результаты анализа индикаторов предназначены для управленческих организаций, осуществляющих деятельность на государственном или межгосударственном уровне.

Индикаторы для устойчивого сельского хозяйства

В индикаторной системе, основанной на концепции устойчивого экологического развития и направленной на проблемы сельского хозяйства Австралии (Sustainable Development Indicators, 1997), было определено 5 ключевых индикаторов, включающих 21 параметр. В данной работе рассмотрены такие индикаторы как:

- система долгосрочных оборотов денежных сред;

- водные и земельные ресурсы системе сельскохозяйственного производства;
- местное самоуправление;
- внешнее воздействие на окружающую среду;
- региональное социально-экономическое воздействие, связанное с сельским хозяйством.

Водные ресурсы в данной системе индикаторов отмечены с точки зрения объёмов сброса сточных вод, а также с позиции их органического загрязнения вносимыми удобрениями.

Индикаторы для сохранения лесов и грамотного управления лесным хозяйством

Для сохранения лесов и грамотного управления лесным хозяйством специалистами из различных стран (Австралии, Канады, Китая, Чили, Японии, Кореи, Мексики, Новой Зеландии, России и США) был разработан перечень, состоящий из 67 индикаторов (Criteria, 2001), направленных на сохранение лесов. Эти индикаторы вошли в такие группы:

- сохранение биологического разнообразия;
- поддержание продуктивной способности лесных экосистем;
- поддержание здоровья и жизнеспособности лесных экосистем;
- сохранение и поддержание почвенных и водных ресурсов;
- поддержание внесения лесами углеродных соединений в глобальный цикл;
- поддержание и оздоровление долгосрочных социально-экономических эффектов;
- законодательная, институционная и экономическая сеть для лесоохраны и управления.

Несмотря на специфику подхода, индикаторы этой системы возможно использовать для других экосистем.

Системы индикаторов программы Local Agenda 21

В 2000 году, в рамках реализации программы Local Agenda 21 (Местная Повестка дня 21), была предложена индикаторная система (Manninen, 2002), направ-

ленная на характеристику ситуации, сложившейся в столице Финляндии – г. Хельсинки, её близлежащих территориях и в акватории Финского залива. Всего по программе Agenda 21 отобрано 83 индикатора, структурированных в 5 групп (Рисунок 1.5).

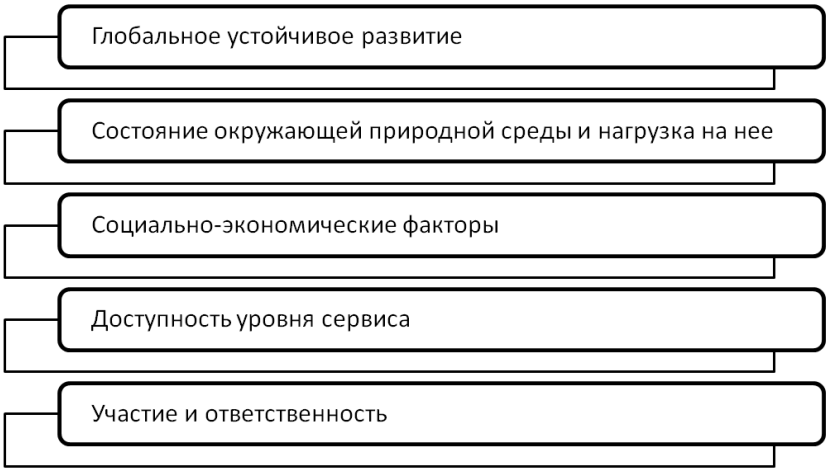

Рисунок 1.5 – Группы индикаторов программы Local Agenda 21 (Manninen, 2002)

Индикаторы для Хельсинки охватывают многие сферы социально-экономической деятельности и потребления природных ресурсов. Однако, в рассмотренном наборе индикаторов нет специфики при оценке данной административной единицы.

Индикаторы устойчивого развития стран Скандинавии

Система индикаторов скандинавских всех стран Дании, Исландии, Норвегии, Финляндии и Швеции (Nordic Council, Focus on Sustainable Development, 2006) разработана группой при Совете министров Скандинавских стран. Индикаторы охватывают, главным образом, экономическую и социальную сферы, а в природной составляющей рассмотрены повышение температуры и эмиссия парниковых газов.

Индикаторы европейской комиссии по данным

В 2002 г. европейской комиссией по данным был предложен индикаторный подход (SAIL, Lescrauwaet, 2006), который позволял провести анализ состояния различных сторон экономики, общества и природы для целей комплексного

управления прибрежной зоной. На основании разработанной системы индикаторов в 2004-2008 гг. были выполнены международные проекты по оценке состояния прибрежной зоны посредством индикаторного подхода. Главное внимание было уделено комплексному анализу состояния прибрежных зон с использованием инструмента количественной оценки для иллюстрации перспектив их развития.

В рамках проекта SAIL (Schéma d'Aménagement Intégré du Littoral, План интегрированного планирования прибрежной зоны) всесторонне рассмотрено побережье южной части Северного моря в странах: Англии, Бельгии, Нидерландах, Франции (SAIL, Lescrauwaet et al., 2006).

Проект DEDUCE (Développement durable des Côtes Européennes, Длительное развитие европейских побережий), включал прибрежные регионы Бельгии, Испании, Италии, Мальты, Латвии, Польши, Франции (DEDUCE).

Для Юго-Восточной Балтики была проведена индикаторная оценка в проекте SDI-4-SEB (Sustainable development indicators for South East Baltic, Индикаторы устойчивого развития Юго-Восточной Балтики). В работе был выполнен анализ состояния территорий и акваторий национальных единиц Клайпедского округа Литвы, Калининградской области России и Поморского воеводства Польши (State..., 2008, Состояние, 2008, Домнин, Чубаренко, 2008).

В итоге, было отобрано 27 индикаторов, сформированных по 7 целевым направления комплексного управления прибрежной зоной (Рисунок 1.6).

I. Контроль над дальнейшим устойчивым развитием неразвитых частей побережья

- 6 индикаторов, 6 параметров

II. Охрана, улучшение и процветание природного и культурного многообразия

- 5 индикаторов, 7 параметров

III. Содействие и поддержка динамичного развития экономики прибрежных территорий

- 4 индикатора, 7 параметров

IV. Обеспечение незагрязненного состояния пляжей и прибрежных вод;

- 4 индикатора, 5 параметров

V. Предотвращение социальной изолированности и становление социальных связей в сообществе

- 3 индикатора, 5 параметров

VI. Грамотное использование природных ресурсов

- 2 индикатора, 5 параметров

VII. Осознанное управление прибрежными зонами в условиях изменения климата и обеспечение защиты побережья

- 3 индикатора, 6 параметров

Рисунок 1.6 – Индикаторы европейской комиссии по данным (SAIL, Lescrauwaet, 2006, State..., 2008, DEDUCE)

Все индикаторы охватывают 3 направления (Indicators Guidelines, 2007):

- *экономическое*, включающее морской транспорт, порты, прибрежный туризм, рыболовство, энергетику и производственную деятельность;

- *социальную сферу*, включающую миграцию и занятость населения;

- *окружающую природную среду* с использованием водных ресурсов, почв, морского пространства, эрозией морского побережья, затоплением, изменением климата, замусориванием, биологическим разнообразием.

Особенностью системы является то, что она ориентирована на сравнение параметров, характеризующих территорию в прибрежной и внутренней частях, с целью комплексного управления прибрежной зоной.

Индикаторы для оценки российской прибрежной зоны

Основываясь на Морской доктрине Российской Федерации, на период до 2020 г. (Морская доктрина, 2001), в работе Г.Г. Гогоберидзе (Гогоберидзе, 2006) представлена региональная система индикаторов прибрежной зоны, для которой разработана общая тематическая структура, а наполняемость этой структуры конкретными индикаторами зависит от географических, климатических, социально-экономических и иных особенностей каждого конкретного района. Однако принципы построения системы универсальны для любых регионов Российской Федерации. В систему рекомендовано включить 4 группы индикаторов: физико-географические, экономико-географические, политико-географические и военно-географические индикаторы. Предметная классификация индикаторов представлена на Рисунке 1.7.

Рисунок 1.7 – Система классификации, предложенная положениями Морской Доктрины Российской Федерации (Гогоберидзе, 2006).

При выборе индикаторов в данную систему необходимо учитывать возможность использования их в решении управленческих поставленных задач, то есть индикаторы должны быть понятны не только специалистам в данной области, но и широким слоям населения.

Система индикаторов для оценки проблем развития экосистем береговой зоны

Обобщая правила отбора и обоснования индикаторов с позиции «западного подхода» применительно к береговой зоне, А.А. Музелевский (Музалевкий, 2010) отмечает, что «в настоящее время используется пять основных групп показателей устойчивого развития: народонаселение; производство, потребление и технологии; природные ресурсы; динамика экосистем; единство и взаимосвязь ввозных и наземных экосистем».

По мнению автора, группы показателей соответствуют основным проблемам развития береговой зоны. Найденный в ходе решения какой-либо конкретной задачи показатель будет иметь практическую значимость лишь тогда, когда им смогут воспользоваться системы управления. Поэтому полученная информация должна быть представлена в понятной форме, допускающей однозначную интерпретацию. В данном подходе индикаторы призваны показать экологическое состояние и развитие береговых и прибрежных экосистем, а также уровень антропогенного воздействия на береговую зону. Автор отмечает, что во многих индикаторных системах отсутствует чёткая формулировка цели введения индикаторов, обоснованность и полнота параметров предложенных индикаторов, не проработан вопрос с единицами измерения и выбором шкал (Музалевкий, 2010).

Для целей оценки проблем развития экосистем береговой зоны автор предлагает сгруппировать индикаторы по категориям: вода, земля, атмосфера, отходы, другие природные ресурсы. И проводить индикаторную оценку следует по принципам воздействия человека на окружающую среду, состояния каждого из компонентов, а также отклика экосистем на произведенное на них воздействие (Музалевкий, 2010). Особый акцент предлагается делать на абсолютные значения параметров индикаторов и их сравнения с предельно-допустимыми концентрациями, с

целью выделения зон экологического риска и уровня экологической безопасности.

Система индикаторов для оценки состояния водных объектов

Для проведения оценки текущего состояния водных объектов, а также анализа антропогенной нагрузки и социально-экономических аспектов для комплексного использования и охраны водных объектов предлагается 40 базовых индикаторов, объединённых в информационные блоки (Методические..., 2007, Приказ..., 2007) (Рисунок 1.8).

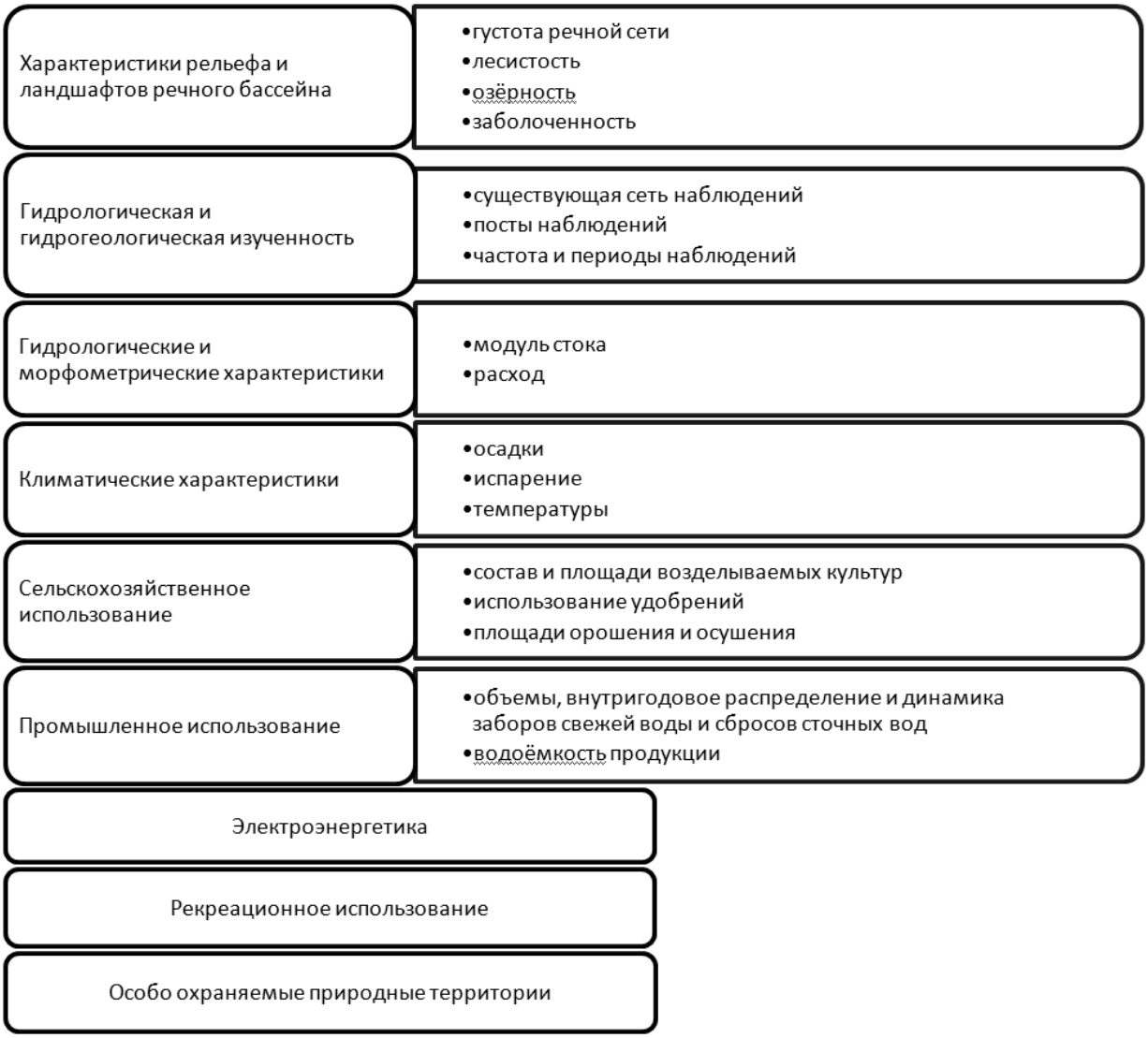

Рисунок 1.8 – Система индикаторов для оценки состояния водных объектов (Методические..., 2007).

Система индикаторов для оценки экологического состояния акватории Балтийского моря HELCOM

Хельсинская комиссия (HELCOM), будучи координационным центром экологической безопасности Балтийского моря, проводит оценку источников и поступления биогенных и опасных веществ и их воздействия на экосистемы в Балтийском море. В результате этой работы был сформирован набор из 34 индикаторов экологического состояния акватории (HELCOM, 2011), сгруппированных в пять направлений: гидрофизические условия акватории; поступление загрязняющих биогенных веществ; изменение биомассы фитопланктона; поступление и переотложение тяжелых металлов, хлоридов, нефтепродуктов; изменение популяций промысловых видов рыб.

С использованием данной системой проводить анализ состояния водосборов Балтийского моря не предполагается.

Система индикаторов водосборной системы штата Мэриленд (США)

Американские власти и учёные одни из первых комплексно подошли к проблеме анализа территории с использованием индикаторного подхода.

Департаментами окружающей среды и природных ресурсов американского штата Мериленд в рамках программы развития была разработана индикаторная система (Maryland), где для каждого водосборного бассейна штата был проведён анализ по 25 индикаторам, объединенным в 5 тематических групп.

1. Индикаторы состояния водных систем характеризуют состояние биотической составляющей (рыб, водной растительности, околоводных ареалов лесов, эвтрофикацию) в водных и околоводных объектах.
2. Индикаторы биологического разнообразия характеризуют состояние нетронутости природных ландшафтов и опасность для водных видов.
3. Гидрологические индикаторы отражают условия поверхностных и подземных вод.
4. Индикаторы наземной системы состоят из показателей залесённости территории и плотности её населения.
5. Индикаторы качества воды показывают пространственное распределение диффузных и точечных источников загрязнения вод, эрозию почв.

Большая часть индикаторов (13 из 25) данной системы ориентирована на отражение состояния биологической продуктивности и среды обитания живых организмов. Следует отметить, что после завершения проекта оценка водосборных территорий не завершилась, а была продолжена в локальных проектах, посвященных отдельным водосборам. Анализ по водосборным бассейнам сделан только в пределах границ штата Мэриленд.

Система индикаторов водосборного бассейна р. Миссисипи (США)

Комитет по охране Нижней Миссисипи (Lower Mississippi River Conservation Committee) основываясь на задачах необходимой систематизации информации о водных объектах, разработал методику расчёта и представления комплексных индикаторов водосборов (Watershed Indicators).

Набор индикаторов водосборного бассейна крупнейшей реки Соединенных Штатов – р. Миссисипи – отражает информацию о качественном состоянии водных ресурсов. В них собран ряд показателей, которые указывают на положительные и отрицательные стороны деятельности человека в отношении самих водных объектов и прибрежных территорий. Анализ территории произведен для 77 частных водосборов реки, расположенных в шести штатах.

Система состоит из двух групп индикаторов: социально-экономических (3 индикатора) и индикаторов качества вод (7 индикаторов). Социально-экономические характеризуют численность населения, уровень бедности и годовой доход населения. Информация представлена на уровне административных округов всего водосборного бассейна. Индикаторы же качества вод проанализированы по частным водосборам реки Миссисипи (Watershed Indicators).

1. Индикатор качества вод оценивает состояние ресурса в целом, и его уязвимость со стороны антропогенного фактора.
2. Индикатор количества загрязнителей качества вод характеризует количество наблюдений, в которых были отмечены превышения ПДК.
3. Индикатор превышения ПДК токсическими загрязнителями: медью, хромом, никелем и цинком.
4. Индикатор поврежденных водных объектов показывает пространственное расположение загрязненных вод, но без количественных характеристик.

5. Индикатор ограничения потребления рыбных ресурсов показывает те суббассейны, в которых существует загрязнение.
6. Индикатор потенциального стока продуктов сельскохозяйственных загрязнителей учитывает количество соединений азота, взвешенных частиц и пестицидов, поступающих с сельскохозяйственных полей.
7. Индикатор, характеризующий угрозу исчезновения водных и водно-болотных видов животных и растений.

Особенностью данного набора индикаторов является то, что все параметры имеют либо относительную размерность (выраженную в процентах), либо вообще не имеют размерности и территории различаются на качественном уровне.

Система индикаторов для Кемеровской области

Для решения вопросов устойчивого развития Кемеровской области, в 2004 г. были разработаны соответствующие индикаторы (Мекуш, 2004). В ходе работы отобрано более 80 индикаторов, перегруппированных в соответствии с тремя подходами: «ключевые/базовые индикаторы», «проблемы – индикаторы», «тема – подтема – индикаторы» (Таблицы 1.1-1.3).

Таблица 1.1 – Поход «ключевые/базовые индикаторы» (Мекуш, 2004)

Индикатор	1996	2000	2001	2002	2003
Темпы роста ВРП к . (в %)	90,7	106,9	104,6	103,7	106,8
Сброс загрязненных сточных вод, млн. $м^3$	795	787	778	759	н/д

Таблица 1.2 – Подход «проблемы – индикаторы» (Мекуш, 2004)

Проблема	Индикатор
Экономический рост	Душевой доход Инвестиции в основной капитал Истинные сбережения

Таблица 1.3 – Подход «тема – подтема – индикаторы» (Мекуш, 2004)

Тема	Подтема	Индикатор
Вода	Качество воды	Годовой забор подземных и поверхностных вод Объем последовательно используемой воды

По мнению авторов, использование индикаторов на региональном уровне поможет выполнить измерения, мониторинг, оценку и анализ темпов и эффективности развития а, в некоторых случаях, позволит направить общую политику в русло, обеспечивающее его устойчивость развития.

Система индикаторов для Калининградской области

Е.Г. Кропинова, учитывая сбор статистических данных по Калининградской области, определила набор индикаторов (Кропинова, 2005), объединив их в три группы: социальные, экономические и экологические (Рисунок 1.9).

Рисунок 1.9 – Индикаторы для Калининградской области (Кропинова, 2005).

Представленная индикаторная система имеет место лишь на уровне структуры, а описания отдельных индикаторов и дальнейшего расчёта по ним не проводилось.

Система индикаторов для Томской области

Индикаторная система, разработанная для Томской области (Лаптев, 2005), состоит из 3 групп индикаторов: ключевых, дополнительных и специфических. Ключевые индикаторы отражают наиболее острые экономические и экологические проблемы региона, а также дают возможность провести сравнение отдельных территорий между собой. С помощью дополнительных индикаторов характеризуется степень развития региона и сравниваются отдельные его части. Специфические же индикаторы показывают особо острые проблемы территории.

1.3. Обобщение рассмотренных индикаторных систем

Из всех рассмотренных индикаторных подходов выделяются основные направления: социальная сфера, природная среда, экономика, управление, финансовая система, рекреация и туризм, оборона (Таблица 1.4). Направленность получения и анализа информации зависит от целей формирования индикаторной системы. Все направления охватывает система индикаторов Мирового развития. К наиболее природоориентированным следует отнести системы индикаторов окружающей природной среды и устойчивого развития для Канады, индикаторы для оценки проблем развития экосистем береговой зоны, индикаторы для оценки состояния водных объектов в России и США (с их помощью возможен анализ состояния различных компонентов природной среды). В подавляющем же большинстве, системы являются комплексными и описывают основные направления: социальную сферу, природную среду и экономическую деятельность.

Говоря о современном состоянии индикаторных систем, следует отметить, что практически все они (за исключением индикаторов Мирового развития) носят характер временного исполнения и характеризуют состояние исследуемой области в какой-либо ограниченный период времени. После окончания выполнения проекта или программы обновление информации в системе индикаторов не происходит.

Таблица 1.4 – Рассмотренные системы и группы индикаторов (серые ячейки – наличие индикаторов, относящихся к соответствующей группе, заштрихованные ячейки – системы, имеющие индикаторы, ориентированные на описание водосборных бассейнов).

Системы индикаторов	Социальная сфера	Природная среда	Экономика	Управление	Финансовая система	Оборона
Индикаторы Мирового развития (WDI, 2008)						
Индикаторы благополучия населения Канады (Gosselin, 1993)						
Индикаторы окружающей природной среды и устойчивого развития для Канады (Environment, 2003)						
Индикаторы для устойчивого сельского хозяйства (Sustainable Development, 1997)						
Индикаторы для устойчивого управления лесами Австралии (Progress, 1997)						
Индикаторы программы Local Agenda 21 для Хельсинки (Manninen, 2002)						
Индикаторы для Скандинавских стран (Focus on…, 2006)						
Индикаторы европейской комиссии по данным для проектов SAIL (Lescrauwaet, 2006), DEDUCE (Indicators Guidelines, 2007), SDI-4-SEB (State of the Coast, 2008)						
Индикаторы для оценки российской прибрежной зоны (Гогоберидзе, 2006)						
Индикаторы для оценки проблем развития экосистем береговой зоны (Музалевский, 2010)						
Индикаторы для оценки экологического состояния акватории Балтийского моря (HELCOM, 2011)						
Индикаторы водосборной системы штата Мэриленд (Maryland)						
Индикаторы водосборного бассейна р. Миссисипи (Watershed Indicators)						
Индикаторы для Кемеровской области (Мекуш, 2004)						
Индикаторы для Томской области (Лаптев, 2005)						
Индикаторы для Калининградской области (Кропинова, 2005)						
Индикаторы для оценки состояния водных объектов (Методич. указания, 2007)						

Все рассмотренные понятия «индикатора» сводятся к тому, что это способ представления количественных или качественных величин при помощи одного

или нескольких показателей, характеризующих различные стороны экономической, социальной или природной сфер, а также текущее состояние и динамику развития определяющих их процессов и явлений.

Индикаторные системы могут быть использованы для оценки состояния различных по охвату территорий и разных по направлениям анализа.

По охвату территории:

- *общемировые* охватывают территории всех стран Земного шара;

- *государственные* охватывают территорию страны в целом;

- *региональные* охватывают территории нескольких государств или их частей, образующих отдельный регион;

- *местные* разработаны для анализа территории муниципального образования или природного объекта.

По направлениям анализа существуют комплексные и отраслевые наборы индикаторов. В комплексные наборы входят индикаторы, характеризующие различные аспекты социально-экономической деятельности и природного состояния. Отраслевые наборы характеризуются большим использованием специальных индикаторов.

Количество индикаторов в каждой из рассмотренных систем отличается. Системы можно разделить на большие (включают более 30 индикаторов), средние (10-30 индикаторов) и малые (до 10 индикаторов). Наибольшим количеством (850 индикаторов) обладает система индикаторов Мирового развития, а самое малое количество индикаторов – шесть – включает система индикаторов окружающей природной среды и устойчивого развития для Канады.

Особенностью различных индикаторных подходов является период обновления информации в них. Подавляющее большинство индикаторных систем показывают определенный временной срез (моментальные), по окончании работы, в которой была разработана система, насыщение её данными прекращается. К продолжающимся системам индикаторов следует отнести индикаторы Мирового развития (информация по ним обновляется ежегодно), индикаторы водосборной системы Мэриленд (работа с индикаторами продолжена в локальных проектах для отдельных водосборов), а также индикаторы экологического состояния акватории Балтийского моря.

К системам индикаторов, применимым для водосборных бассейнов, следует отнести: индикаторы для оценки состояния водных объектов, индикаторы водосборной системы штата Мэриленд, водосборного бассейна р. Миссисипи, а также индикаторы окружающей природной среды и устойчивого развития для Канады и индикаторы устойчивого развития сельского хозяйства.

Специализированных индикаторных систем, характеризующих конкретные водосборные территории в России, в исследовании найдено не было.

Основные выводы главы 1

Речные водосборные бассейны как природно-территориальные комплексы, играют особую роль в структуре биосферы и служат основополагающими объектами комплексных исследований суши (Корытный, 2001, 2006, 2010, Земцов, 2001, Шварцев, 1995, Уайт, 1994, Newson, 1998, Auger, 1999, Khan, 1999, The Fraser Basin, 1997).

В работе выполнен обзор 19 различных систем индикаторов (Гогоберидзе, 2008, Кропинова, 2005, Лаптев, 2005, Мекуш, 2004, Методические указания, 2007, Музалевский, 2010, Environment, 2003, Focus on…, 2006, Gosselin, 1993, HELCOM, 2011, Indicators Guidelines, 2007, Lescrauwaet, 2006, Manninen, 2002, Maryland, Progress, 1997, State of the Coast, 2008, Sustainable Development, 1997, Watershed Indicators, WDI, 2008). Выявлено, что хотя количество используемых индикаторов различно и их набор определяется целями использования индикаторной системы, в рамках любой системы индикаторы подбираются так, чтобы охарактеризовать три основные сферы: природную, социальную и экономическую. Рассмотренные системы индикаторов подразделяются по охвату территории (общемировые, государственные, региональные, местные), по направлениям анализа (комплексны и отраслевые), по количеству включённых индикаторов (до 10, 10-30, 31-850), по частоте обновления информации (ретроспективные, моментальные, продолжающиеся).

Только в трёх (Россия, США) из рассмотренных 19 систем индикаторов используется деление территории на водосборы. Непосредственное применение методик (Maryland, Watershed Indicators) для Калининградской области невозможно по причинам несопоставимости по параметрами официальной статистики. По-

скольку прямое применение российской методики (Методические указания, 2007), состоящей из 40 индикаторов и нацеленной на оценку состояния самой территории водосбора, невозможно, т.к. в работе стоит другая задача – оценить влияния водосбора на приёмный водоём, девять индикаторов этой системы были отобраны для включения в предложенную в диссертационной работе индикаторную систему: *«Заболоченность», «Озёрность», «Густота речной сети», «Модуль стока», «Лесистость», «Использование удобрений», «Водопотребление», «Сброс сточных вод», «ООПТ»*. Из систем индикаторов для устойчивого сельского хозяйства (Sustainable Development, 1997) и оценки водосборов (Maryland, Progress, 1997) были отобраны индикаторы *«Внесение ... удобрений»* и *«Нагрузка биогенных веществ...»* соответственно. Индикаторы: *«Доля застроенных земель», «Площадь природных ... биотопов»* были отобраны из системы индикаторов европейской комиссии по данным (State of the Coast, 2008). Методики расчётов каждого из перечисленных индикаторов были адаптированы (глава 3) для водосборных бассейнов Калининградской области.

Отобранные индикаторы позволяют прямым или косвенным образом произвести оценку степени антропогенного воздействия на водосборные системы с точки зрения биогенной нагрузки, а также её удержания внутри водосборных бассейнов и выноса с их территорий.

ГЛАВА 2. СИСТЕМА ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Управление водосборными бассейнами

Речной водосборный бассейн представляет собой сложную динамическую водно-балансовую систему, которая преобразует атмосферные осадки в другие элементы водного баланса (Булавко, 1971). Согласно Л.М. Корытному, «речной бассейн, как особая пространственная единица биосферы, наиболее перспективен для многоаспектного изучения природы и экономики и для управления окружающей средой» (Корытный, 2001). Согласно геоэкологическим подходам, «влияние на любой из компонентов, прежде всего на биотические и почвенные, водосборной территории может вызвать как временные катастрофические явления, так и необратимые структурные изменения всей бассейново-речной системы» (Горшков,1982, 2001, Сочава, 1970, Титов, 1961).

Л.М. Корытный причисляет речные бассейны «как к природным комплексам, играющим особую геоэкологическую роль в структуре биосферы, так и к специфическим экономическим структурам, где концентрируются население и промышленность (Корытный, 2001). Это ставит исследования геоэкологических процессов в водосборных бассейнах в качестве основополагающих комплексных исследований суши» (Корытный, 2001). В связи с тесным взаимодействием природной и антропогенной составляющей И.А. Карлович отмечает, что «геоэкологический аспект изучения водосборных систем заключается в исследовании техногенного загрязнения речных вод» (Карлович, 2005).

Антропогенное воздействие, как в море, так и в пределах всей его водосборной площади, способствует быстрому увеличению нагрузки на наземные и морские геоэкосистемы (План действий, 2008). Обширное использование и всесторонняя зависимость от качественных водных ресурсов во многом определяют политические и экономические проблемы, для которых в настоящий момент отсутствуют научно-обоснованные решения (Данилов-Данильян, Хранович, 2010).

В связи с вышеизложенным, имеется насущная необходимость регулирования человеческой деятельностью в пределах водосборных территорий на уровне всех административных ступеней (Clark, 1996). Исторически сложилось так, что управление осуществляется двумя путями – через государственные институты территориального управления и через организации по управлению деятельностью в пределах водосборных бассейнов. На сегодняшний день для объединения этих ветвей делаются попытки для отдельных территорий, но этот процесс ещё не закончен и требует общих научно-обоснованных путей решения (Mitchell and Shrubsole, 1994, Timothy B, 2002).

Управление водосборными территориями, по мнению российских (Корытный, 2001, Земцов, 2001, Шварцев, 1995) и зарубежных (Уайт, 1990, Newson, 1998, Auger, 1999, Khan, 1999, The Fraser Basin, 1997, Lundin and et., 2000) авторов, может считаться наиболее перспективной системой контролирования и управления региональной ресурсосберегающей и природоохранной политики.

В Соединенных Штатах Америки комплексное управление водными ресурсами начало свое развитие ещё в 20-30-х гг. XX столетия (Уайт, 1990) и включало планирование судоходства, контроль наводнений, орошение и выработку электроэнергии. Сейчас же в этой стране бассейновый подход рассматривается как «координирующая структура для управления природопользованием, которая фокусирует усилия в направлении наиболее приоритетных проблем в пределах гидрологически определенных географических областей» (Земцов, 2001).

Для Великобритании управление водосборными территориями вылилось в полный государственный контроль как над прямой (водозабор или сброс) водной деятельностью, так и над косвенным использованием территории в бассейне (сельское хозяйство или добыча полезных ископаемых) (Newson, 1998), путем создания по всей территории бассейновых округов.

Во Франции, современное сбалансированное управление водными ресурсами (Корытный, 2001, Шварцев, 1995) направлено на сохранение водных экосистем и ландшафтов, защиту от загрязнения и восстановления качества поверхностных, подземных и морских территориальных вод, придание ценности водных ресурсов.

Во многих провинциях Канады (Auger, 1999, Khan, 1999) управление природопользованием основано именно на бассейновом подходе, основной целью которого является не только улучшение состояния окружающей среды, но и решение вопросов планирования социально-экономической сферы. Кроме того, под устойчивым развитием бассейнов понимается достижение баланса между социумом, экономикой и окружающей природной средой, позволяющего удовлетворять потребности не только настоящего, но и будущего поколений (Урсул, 2000, The Fraser Basin, 1997).

Основной функцией водного менеджмента Европейского Союза является обеспечение надлежащего количества воды соответствующего качества для различных пользователей без нанесения ущерба окружающей среде. Безопасная система водоснабжения должна обеспечить воду различным пользователям, отвести использованную воду для предотвращения антисанитарных условий, произвести очистку отведенной воды, а также удалить излишнюю воду для предотвращения затоплений территорий (Lundin et al., 2000).

В Российской Федерации основной единицей управления в области использования и охраны водных объектов являются бассейновые округа (Водный кодекс, 2006), которые состоят из речных бассейнов и связанных с ними подземными водными объектами и морями. Всего, согласно Водному кодексу, в России выделено 20 бассейновых округов, образованных в границах крупнейших водосборах рек, озёр или морей. Управление бассейновыми округами осуществляется бассейновыми Советами, которые призваны обеспечить рациональное использование и охрану водных объектов посредствам разработки рекомендаций в области использования и охраны водных объектов в границах бассейнового округа.

Управление водосборными бассейнами является «комплексной системой интеграции в межотраслевой, межуровневой и организационной плоскостях». Подобно другим комплексным системам управления природной средой, для её реализации «требуется наличие политической воли, институциональной основы, знаний и концепции в пути её достижения посредством координации, кооперации и коммуникации» (Комплексное управление, 2005). Должно быть реализовано «взаимодействие между человеческой деятельностью, общественными потребно-

стями, природными ресурсами и антропогенными воздействиями на окружающую природную среду» (Денисов, 2002, 2010).

Таким образом, во многих развитых странах речной водосборный бассейн используется в качестве основной территориальной единицы, позволяющей осуществлять природоохранные мероприятия, направленные на использование, сохранение и восстановление водных ресурсов.

2.2 Трансграничные водосборы Юго-Восточной Балтики

Калининградская область, являясь эксклавной территорией России, находится внутри пространства Европейского Союза. Она, наряду с соседними Клайпедским округом Литвы, Поморским и Варминско-Мазурским воеводствами Польши, относится к суб-региону Юго-Восточной Балтики[3] (ЮВБ). Водосбор этого суб-региона включает бассейны рек Куршского и Калининградского/Вислинского заливов (самой большой и третьей по величине прибрежных лагун Балтики, соответственно), бассейн реки Вислы и водотоков, непосредственно впадающих в Гданьский залив (Chubarenko et al., 2017) (Рисунок 2.1).

[3] Юго-Восточная Балтика – это, согласно районированию Всемирной метеорологической организации, часть Балтийского моря в пределах прямоугольного района от г. Слупска (Польша) до г. Лиепая (Латвия).

Рисунок 2.1 – Крупнейшие речные водосборные системы Юго-Восточной Балтики (Домнин, Чубаренко, 2012)

Три основных водосбора Юго-Восточной Балтики – реки Вислы (площадь 198.5 тыс. км^2), Калининградского/Вислинского (площадью 23.2 тыс. км^2) и Куршского (площадью 105 тыс. км^2) заливов, дополняются водосборами рек, впадающих непосредственно в Гданьский залив (Рисунок 2.2). Водосборный бассейн реки Вислы почти полностью находится на территории Польши, и только 6% и 6.5% его площади принадлежат Украине и Беларуси, соответственно (Evaluation, 2005).

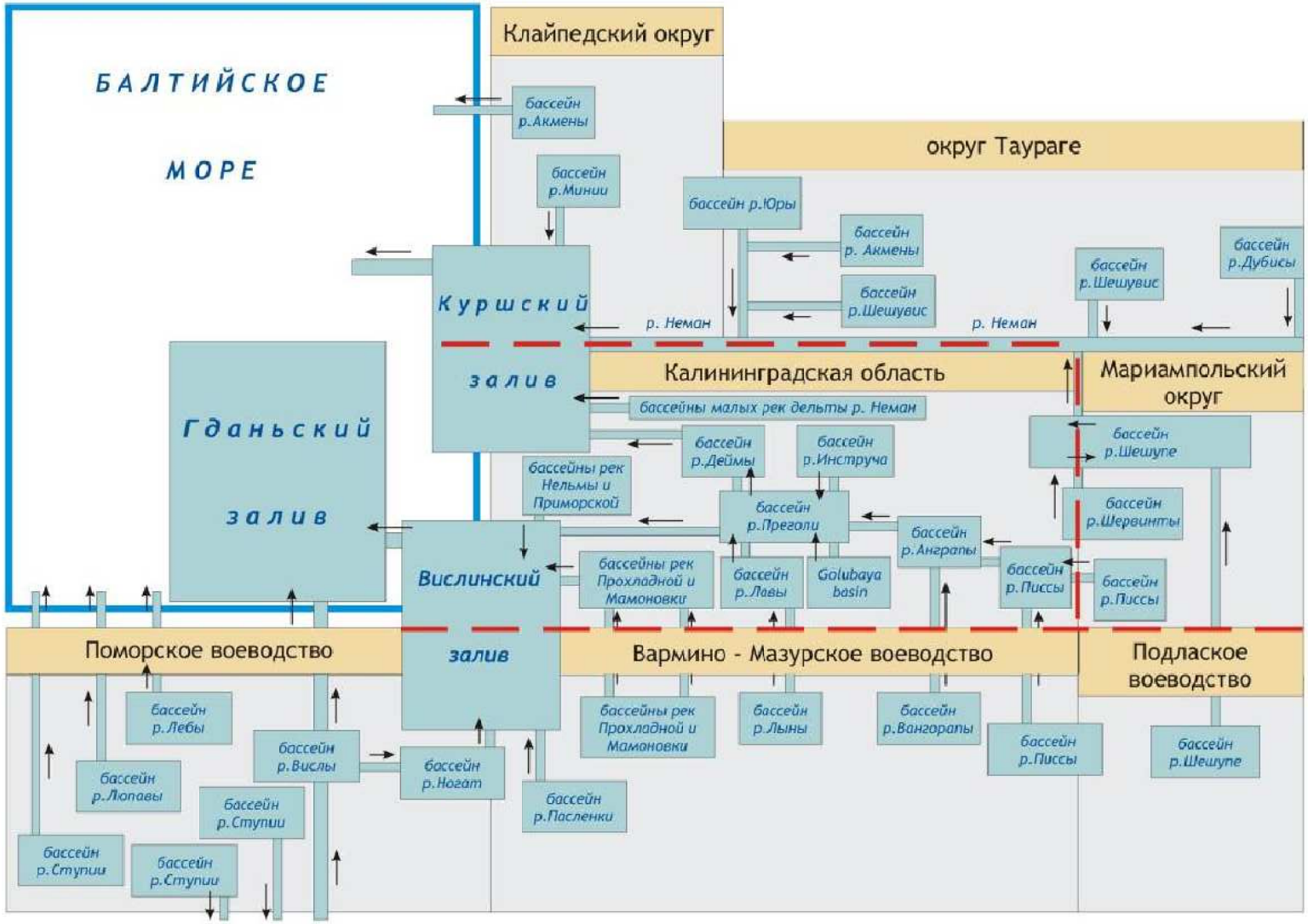

Рисунок 2.2 – Схема водосборных бассейнов Юго-Восточной Балтики.

Главной рекой в водосборе Куршского залива является р. Неман, она же одна из крупнейших рек Балтийского бассейна (Гидрометеорол. условия, 1985). Верхняя часть водосбора Немана, где она берёт свое начало, расположена в Белоруссии (45% площади), на территории Литвы находится практически вся нижняя его часть (49%), за исключением части бассейна реки Шешупе. Она – последний южный приток Немана, который берёт свое начало в Польше, захватывает часть Калининградской области и впадает в Неман в 80 км выше устья. Площадь водосбора Куршского залива, приходящаяся на долю Калининградской области, составляет 4% от всей водосборной площади залива, а на территорию Польши приходится только 2%. Водосборная территория реки Неман имеет характерную грушевидную форму, которая типична для бассейнов крупных и средних рек. Район дельты реки Неман, с гидрологической точки зрения, может быть разделён на районы большой и малой дельты. Большая дельта расположена на территории Калининградской области (Маркова, Нечай, 1960).

В настоящий момент основной рекой, питающей Калининградский/Вислинский залив, является река Преголя, которая образуется при слиянии рек Инструч (правая составляющая) и Анграпы (левая составляющая). Главным истоком является река Анграпа вместе со своим притоком – рекой Писсой (Гидрометеорологич. режим, 1979). Водосбор р. Преголи (13.7 тыс. км^2 (Домнин, Чубаренко, 2007)) покрывает почти всю Калининградскую область. Верхняя часть бассейна реки Преголи находится в Польше, где берут своё начало фактически все основные её притоки. В итоге, 61% полной водосборной площади Вислинского залива находится на территории Польши, остальная часть (39%) – в Калининградской области (за исключением 70 км^2 в районе Виштынецкого озера, принадлежащих Литве). Преголя течёт с востока на запад, пересекает практически всю территорию Калининградской области и находится под воздействием различных видов антропогенной нагрузки, в результате которой изменена её гидрографическая сеть и гидрохимический режим (Гидрометеорологич. режим, 1979).

От реки Преголи (за 50 км до ее падения в Калининградский/Вислинский залив) отделяется рукав – река Дейма. Дейма является рукотворным каналом, сооруженным по руслу некогда небольшой речки. Через этот рукав примерно 34% стока бассейна реки Преголи направляется в Куршский залив. Более того, во вре-

мя экстремальных нагонов при постоянных западных ветрах в Куршский залив может поступать вода из нижнего течения реки Преголи и Калининградского/Вислинского залива. Это приводит к подъёму уровня воды в реке настолько, что происходит подтопление близлежащих территорий (Гидрометеоролог. режим, 1971, Маркова, 1960).

Трансграничность речного бассейна всегда таит в себе потенциальные «конфликты» в области водопользования, ведёт к ограничениям деятельности и необходимости учёта интересов соседей по водосборному бассейну (Корытный, 2010).

На территории Калининградской области сформированы части двух трансграничных водосборов Куршского и Калининградского/Вислинского заливов (занимают 34% и 64% от площади Калининградской области, соответственно), а также частные водосборы малых рек, непосредственно впадающих в Балтийское море (2% от площади области).

Реки Калининградской области относятся к категории малых рек (Гидрология, 2007), которые представляют собой трансграничные водотоки, что существенным образом усложняет управление водными ресурсами (Корытный, 2010), гарантированное водопользование (Данилов-Данильян, 2009), выработку стратегий адаптации к климатическим изменениям (Обязов, 2010). Любые технические и организационные меры (Наврузов, 2008) должны учитывать интересы соседей по водосборной территории (Чубаренко, Алексеев, 2005, Чубаренко, Домнин, 2006).

Поскольку вся информация, требуемая для оценки антропогенного воздействия на водосборные системы, доступна главным образом, на уровне муниципальных образований, особое внимание уделено «внутренней» трансграничности – наличию в пределах бассейна одной реки нескольких административно-территориальных единиц (Чубаренко, Домнин, 2006). В главе обсуждается пространственная взаимосвязь между частными водосборами рек и административно-территориальными единицами Калининградской области и сопредельных с ней территорий Литвы и Польши. Кроме того, представлены оценки величин площа-

дей всех суб-бассейнов[4], лежащих пределах Калининградской области, представлены схемы их связи в пределах гидрографической сети.

2.3. Методика оценки площадей водосборов

Представленные в литературе данные о площадях водосборов рек Калининградской области разняться на 10-15% (Гидрологич. ежегод., 1959, Гидрометеорол. услов., 1985, Зотов, 2001, Колосенцева, 2005, Маркова, 1999). В настоящей работе для единообразного определения взаимопересечений территорий водосборных бассейнов и административно-территориальных единиц использовались инструменты геоинформационного анализа (MapInfo, ArcGIS). Исходные данные о государственных границах и границах административных единиц Калининградской области и сопредельных районов определялись по общегеографической карте Калининградской области масштаба 1:200 000 (Калин. обл., 2014) и по общегеографическим картам территорий Польши и Литвы (Lietuva, 1999, Мара, 2005).

Границы водоразделов и площади основных речных водосборных бассейнов были получены в результате обработки данных цифровой модели рельефа (ЦМР) специализированным программным приложением для выделения морфометрических показателей бассейнов TauDEM (TauDEM, 2015). Использованная в работе ЦМР для Юго-Восточной Балтики (SRTM, 2015) включала данные спутниковой радарной топографической съемки, со значения высот рельефа в узлах регулярной сетки с шагом ячейки 90 метров и высотным разрешением в один метр.

Из-за ограниченного вертикального разрешения цифровой модели рельефа применённая методика даёт погрешность при определении линий водотоков и границ водосборов в районах с малыми амплитудами высот. Для уточнения границ водосборов и построения гидрографической сети на этих участках бассейнов были использованы данные общегеографических карт (Калин. обл., 2014, Lietuva, 1999, Мара, 2005) и космические снимки LandSAT 7 ETM (GLCF, 2015).

---

[4] Далее под суб-бассейнами понимаются отдельные части водосборов, лежащие в пределах одной административно-территориальной единицы.

Расхождение в оценках размеров водосборных площадей бассейнов Куршского и Вислинского заливов иллюстрирует Таблица 5. Для отдельных водосборов среднее расхождение между значениями площадей бассейнов составляет порядка 3%. Однако существуют водосборы, где разница величин площадей в опубликованных источниках и площадей, полученных по электронным картам, составляет 11% (бассейн реки Анграпы) и 25% (бассейн реки Деймы). Расхождения связаны с погрешностью в определении границ бассейнов и методикой определения их площадей. Если расчёт площадей посредством инструментов ГИС осуществляется существенно точнее, чем с использованием палеток или планиметра (прибора для измерения площадей на картах или планах), то применённый в работе принцип выделения границ водораздела посредине между истоками соседних водотоков, принадлежащих разным бассейнам, может вносить значительную погрешность.

Погрешность при таком построении составляет порядка 1/5 от среднего расстояния между истоками, т.е. зависит от масштаба исходного материала. Для карты масштаба 1 : 200 000 средняя амплитуда варьирования линии водораздела составляет 0.23 км, на карте масштаба 1 : 400 000 – 0.5 км, на карте масштаба 1 : 700 000 – 1 км. Эти данные получены в результате визуального и метрического анализа каждого используемого картографического источника. Тестовые примеры построения с помощью ГИС водосборов с такими вариациями линии расположения их границ показали, что, величины получаемых средствами ГИС площадей водосборных бассейнов могут варьировать в пределах от ±2% до ±8% в зависимости от размера бассейна.

В работе для расчётов приняты цифры о площадях административных единиц и речных водосборных бассейнах, полученные с электронных карт (Таблица 2.1): общая водосборная площадь бассейна Калининградского/Вислинского залива составляет 23.2 тыс. км^2, в Калининградской области 8.6 тыс. км^2, в Польше – 14.4 тыс. км^2, в Литве около 80 км^2. Водосборная площадь Куршского залива 105 тыс. км^2, из них в Калининградской области 4 тыс. км^2, в Литве – 46.7 тыс. км^2, в Беларуси – 47.2 тыс. км^2, в Польше – 1.9 тыс. км^2 (Домнин, Чубаренко, 2006).

Таблица 2.1 – Площади водосборов главных рек Куршского и Калининградского/Вислинского заливов.

Название главной реки или принимающего водоёма водосборного бассейна	Площадь водосборного бассейна (км^2)	
	Электронные карты	Литературные источники
Куршский залив	100500	100400 (Гидромет. условия, 1985) 100000 (Майнерт, 2005)
Вислинский залив	23500	23900 (Гидромет. условия, 1985)
Река Неман (включ. притоки)	99200	98200 (Гидромет. условия, 1985; Маркова, 1999; Зотов, 2001), 91800* (Гидрологический ежегодник, 1959)
Река Шешупе	5950	6120 (Маркова, 1999)
Река Дейма	400	400 (Гидромет. условия, 1985)
Река Преголя (включ. притоки)	13700	15100 (Гидромет. условия, 1985), 13600 (Маркова, 1999; Зотов, 2001; Великанов, 2003)
Река Лава	7100	7130 (Маркова, 1999; Зотов, 2001)
Река Анграпа	1600	2460** (Гидрологический ежегодник, 1959), 3960 (Маркова, 1999; Зотов, 2001)
Река Инструч	1250	1250 (Маркова, 1999; Зотов, 2001)
Река Писса	1350	1440 (Зотов, 2001)
Река Голубая	560	560 (Зотов, 2001)
Река Прохладная	1140	1170 (Гидромет. условия, 1985; Маркова, 1999)
Река Мамоновка	340	310 (Гидромет. условия, 1985; Колосенцева, 2005)

* - данные о площади бассейна в гидрологическом створе в 59 км от устья

** - данные о площади бассейна в гидрологическом створе в 30 км от устья

2.4 Взаимное расположение муниципальных образований и водосборных бассейнов Калининградской области

Речные бассейны в Юго-Восточной Балтике делятся не только государственными границами, но и границами между отдельными муниципалитетами внутри национальных единиц (Домнин, Чубаренко, 2007, Chubarenko, Domnin, 2008b,). В работах (Домнин, Чубаренко, 2006, Domnin, Chubarenko, 2008) проанализировано взаиморасположение территорий речных бассейнов и административных образований. При этом, для каждой из основных трансграничных рек опреде-

лены административные единицы, которые полностью или частично находятся на территории её бассейна (Рисунок 2.3), и, наоборот, для каждой административно-территориальной единицы выявлено, части каких водосборных бассейнов составляют её территорию (Рисунок 2.4). Данные о площадях административных суб-бассейнов в пределах водосборов основных рек Калининградской области представлены в Таблице 2.2.

Рисунок 2.3 – Административная структура внутри водосборного бассейна (суб-бассейны рек Голубой и Анграпы) (Домнин, Чубаренко, 2007,)

Рисунок 2.4 – Речные суб-бассейны внутри административного района (Нестеровский район Калининградской области) (Домнин, Чубаренко, 2007).

Таблица 2.2 – Сводные данные о площадях административных образований Калининградской области в пределах речных бассейнов (Домнин, Чубаренко, 2012).

	LV	SH	PR	AN	PS	IN	PH	NN	NM	GL	DM	MM	TL	NL	PM	CL	VL	BS	S	Q
БГ			20				790					60					140		**1010**	**4**
БЛ															40		60	10	**110**	**3**
ГВ	60		570								90					70			**790**	**4**
ГР			380				70									370	70		**890**	**4**
ГС				130	240	250				20									**640**	**4**
ЗЛ			70											210	70	180	60	210	**800**	**6**
КЛ			170														30		**200**	**2**
КР		700				510													**1210**	**2**
ЛД							10										20		**30**	**2**
ММ												70					30		**100**	**2**
НМ		50				200		210					230						**690**	**4**
НС		290		40	700	30													**1060**	**4**
ОЗ	120			430	20					280									**850**	**4**
ПН																		10	**10**	**1**
ПЛ			90					290	20		320					110			**830**	**5**
ПР	1070		80				100												**1250**	**3**
СВ														5			75		**80**	**2**
СГ																		30	**30**	**1**
СЛ			10					520	830										**1360**	**3**
СВ									30				10						**40**	**2**
ЧР	60		460	100	30	260		110		260			20						**1300**	**8**
ЯН																		10	**10**	**1**
S	**1310**	**1040**	**1850**	**700**	**990**	**1250**	**970**	**1130**	**880**	**560**	**410**	**130**	**260**	**215**	**110**	**730**	**485**	**270**	**13290**	
QM	**4**	**3**	**9**	**4**	**4**	**5**	**4**	**4**	**3**	**3**	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**	**4**	**8**	**5**		**71**

Буквами в таблице 2.2 обозначены речные бассейны: LV - р.Лавы, SH - р.Шешупе, PR - р.Преголи, AN - р.Анграпы, PS - р.Писсы, IN - р.Инструч, PH - р.Прохладной, NN - р.Немонин, NM - дельты р.Неман, GL - р.Голубой, DM - р.Деймы, MM - р.Мамоновки, TL - р.Тыльжы, NL - р.Нельмы, PM - р.Приморской, CL - бассейнов мелких водотоков водосбора Куршского залива, VL - бассейнов мелких водотоков водосбора Вислинского залива, BS - бассейны мелких водотоков, впадающих в Балтийское море; административные единицы

Калининградской области: БГ - Багратионовский район, БЛ - Балтийский район, ГВ - Гвардейский район, ГР - Гурьевский район, ГС - Гусевский район, ЗЛ - Зеленоградский район, КЛ - г. Калининград, КР - Краснознаменский район, ЛД - Ладушкинский городской округ, ММ - Мамоновский городской округ, НМ - Неманский район, НС - Нестеровский район, ОЗ - Озерский район, ПН - г. Пионерский, ПЛ - Полесский район, ПР - Правдинский район, СВ - Светловский район, СГ - Светлогорский район, СЛ - Славский район, СВ - г. Советск, ЧР - Черняховский район, ЯН - Янтарный городской округ; S - Общая площадь, км^2, QB - Количество речных бассейнов, QM - Количество муниципалитетов

Расположение частных речных бассейнов в водосборах рек Куршского, Калининградского/Вислинского заливов и рек, напрямую впадающих в Балтийское море, и административных единиц пределах Калининградской области представлены на Рисунке 2.5. Для всей рассматриваемой территории, в подавляющем большинстве случаев, характерно несовпадение административных и бассейновых границ

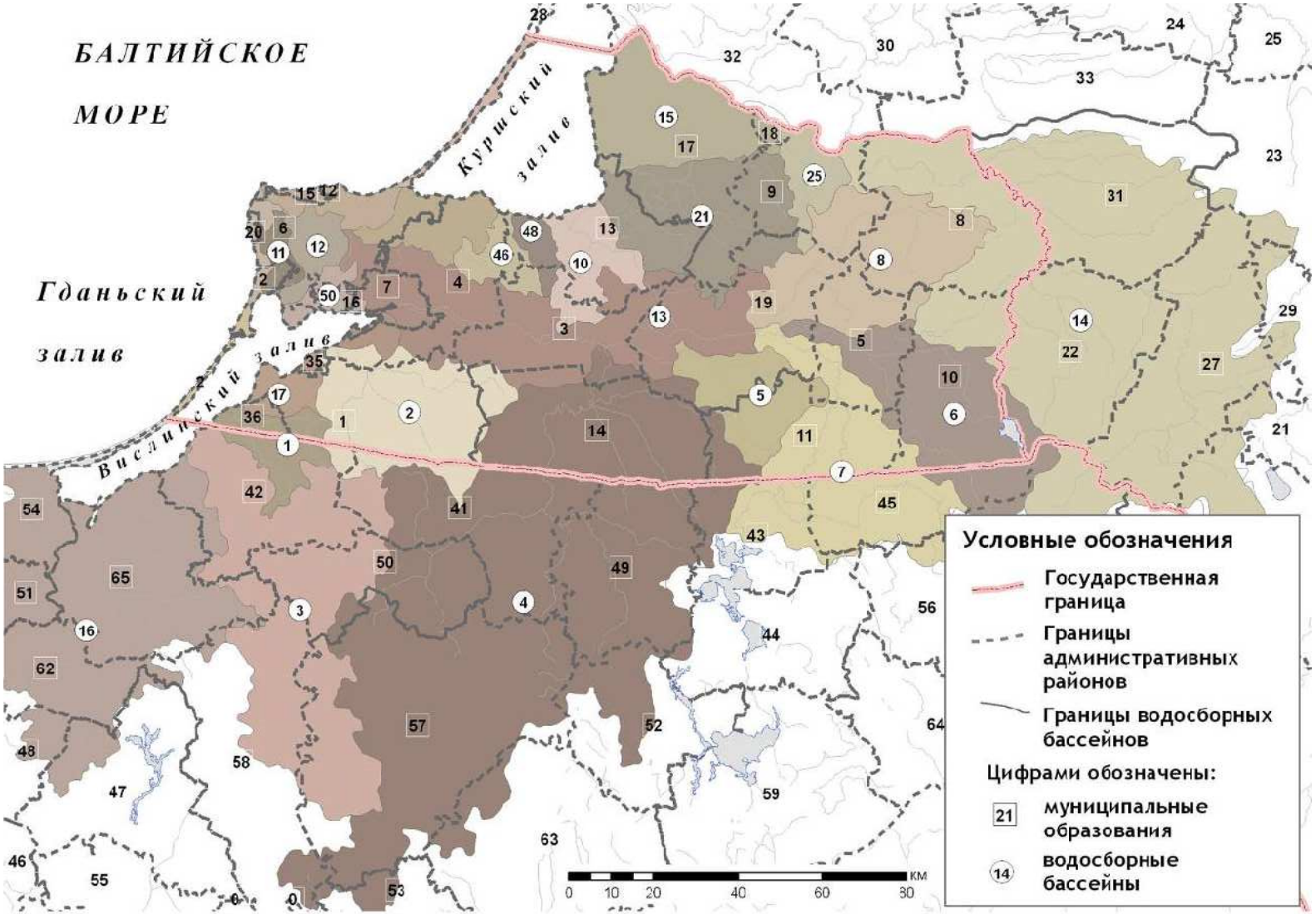

Рисунок 2.5 – Расположение частных речных бассейнов в водосборах рек Куршского, Калининградского/Вислинского заливов и рек, напрямую впадающих в Балтийское море, и административных единиц пределах Калининградской области

Цифрами на рисунке 2.5 обозначены:

Россия (Калининградская область): 1-Багратионовский район, 2-Балтийский район, 3-Гвардейский район, 4-Гурьевский район, 5-Гусевский район, 6-Зеленоградский район, 7-г.Калининград, 8-Краснознаменский район, 9-Неманский район, 10-Нестеровский район, 11-Озерский район, 12-г.Пионерский, 13-Полесский район, 14-Правдинский район, 15-Светлогорский район, 16-Светловский район, 17-Славский район, 18-г.Советск, 19-Черняховский район, 20-Янтарный округ, 35-Ладушкинский округ, 36-Мамоновский округ.

Литва: 21-Алитусский район, 22-Вилкавишкский район, 23-Каунасский район, 24-Расейнский район, 25-Кедайняйский район, 26-Лаздияйский район, 27-Мариямпольский район, 28-г. Неринга, 29-Пренайский район, 30-Таурагский район, 31-Шакяйский район, 32-Шилутский район, 33-Юрбаркский район.

Польша: 41-Бартошицкий повят, 42-Браневский повят, 43-Венгожевский повят, 44-Гижицкий повят, 45-Голдапский повят, 46-Грудзендзкий повят, 47-Илавский повят, 48-Квидзынский повят, 49-Кентшинский повят, 50-Лидзбаркский повят, 51-Мальборский повят, 52-Мронговский повят, 53-Нидзицкий повят, 54-Новодворский повят, 55-Новомястский повят, 56-Олецкий повят, 57-Ольштынский повят, 58-Острудский повят, 59-Пишский повят, 60-Сейненский повят, 61-Сувалкский повят, 62-Штумский повят, 63-Щитненский повят, 64-Элкский повят, 65-Эльблонгский повят.

Водосборные бассейны рек: 1-Мамоновки, 2-Прохладной, 3-Пасленки, 4-Лавы, 5-Голубой, 6-Писсы, 7-Анграпы, 8-Инструча, 10-Деймы, 11-Приморской, 12-Нельмы, 13-Преголи, 14-Шешупе, 15-дельты р. Немана, 16-Ногата, 25-Тыльжи.

Лишь частично государственные границы между Калининградской областью (России) и Литвой проведены по малым участкам русел рек Шешупе и Немана. Так, граница между Славским и Неманским районами Калининградской области и Шелутским районом проходит по руслу нижнего течения реки Неман. Краснознаменский район Калининградской области уникален, т.к. с трех сторон он ограничен трансграничными водотоками: с севера по руслу реки Неман он

граничит с Юрбаркским районом, с востока – по руслу реки Шешупе граничит с Шакяйским районом, а на юго-востоке вдоль нижнего течения реки Шервинты (левого притока реки Шешупе) он имеет границу с Вилкавишкиским районом. Река Шервинта также разделяет северо-восточную часть Нестеровского района Калининградской области и Вилкавишкиский район республики Литвы (Рисунок 2.6).

Схема на рисунке 2.6 иллюстрирует расположение частей административных единиц (четырёхугольные блоки, цифрации в блоках обозначены площади частей муниципалитетов) внутри водосборных бассейнов (границы обозначены пунктирными линиями) в пределах Калининградской области. Цифрами в кругах соответствующего цвета обозначены водосборные бассейны рек. Стрелки показывают направление стока воды с частей административных единиц (Домнин, Чубаренко, 2015).

Внутри Калининградской области существуют участки рек, по которым проведены границы между районами. Имеется граница между Полесским и Славским районами, проведенная по Головкинскому каналу; часть границы между Полесским и Гвардейским районами проведена по реке Дейма. Между Зеленоградским районом и Балтийским городским округом административная граница проведена по нижнему течению реки Приморской; часть границы между Багратионовским и Гурьевским районами проведены по реке Прохладной.

Рек, по руслам которых проведена государственная граница между Россией (в пределах Калининградской области) и Польшей, нет.

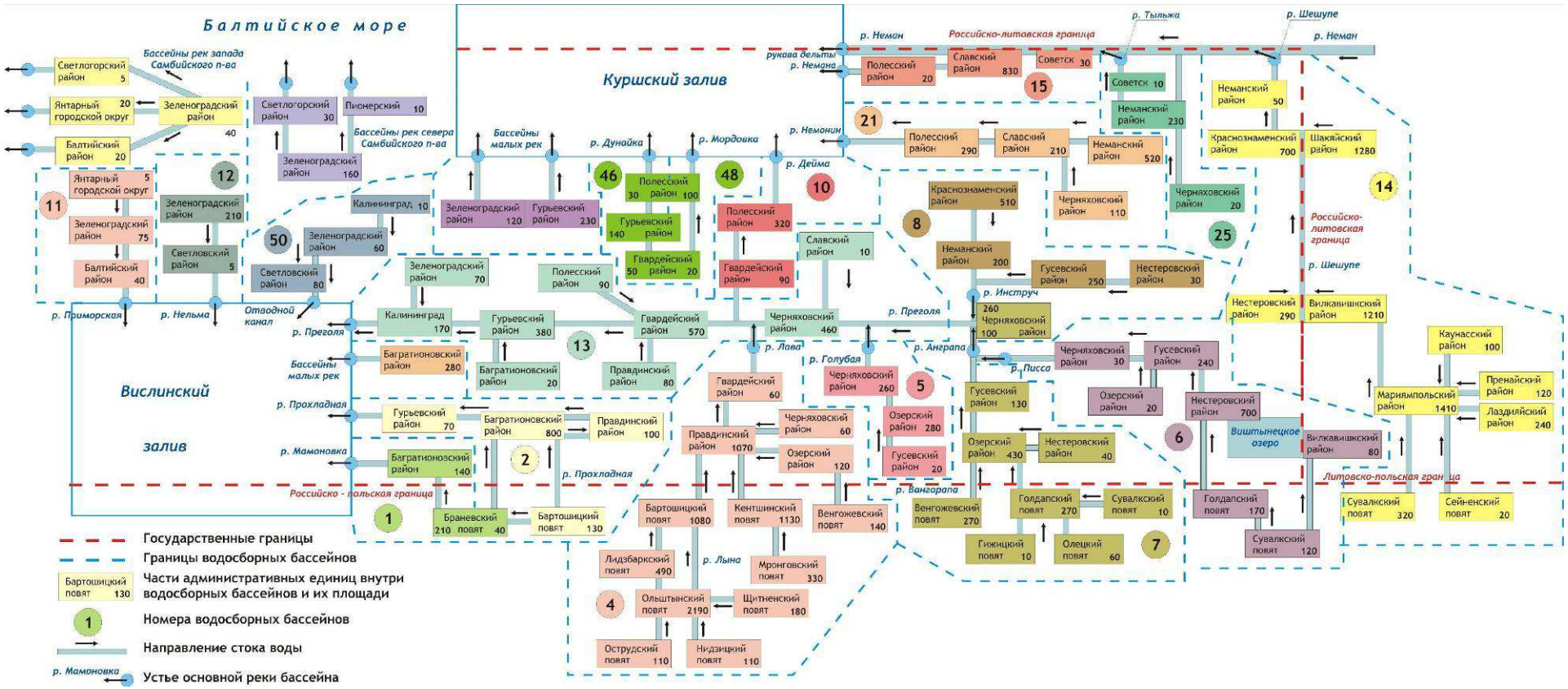

Рисунок 2.6 – Схема расположения частей административных единиц внутри водосборных бассейнов в пределах Калининградской области, цифрации в блоках обозначены площади частей муниципалитетов. Цифрами в кругах соответствующего цвета обозначены водосборные бассейны рек: 1-Мамоновки, 2-Прохладной, 3-Пасленки, 4-Лавы, 5-Голубой, 6-Писсы, 7-Анграпы, 8-Инструча, 10-Деймы, 11-Приморской, 12-Нельмы, 13-Преголи, 14-Шешупе, 15-дельты р. Немана, 16-Ногата, 25-Тыльжи, 46-Дунайки, 48-Мордовки, 50-Калининградского отводного канала (Domnin, et al., 2015)

Основные выводы главы 2

Территория Калининградской области принадлежит двум международным (или трансграничным) речным бассейнам. Часть речного стока приходит на её территорию с сопредельных государств (Польши и Литвы). Вместе с формирующейся в области частью, весь речной сток попадает в Калининградский/Вислинский залив напрямую, а в Куршский залив – как напрямую, так и через территорию Литвы. Поэтому фактически ни одна задача управления водными ресурсами в Юго-Восточной Балтике не может быть решена без учёта трансграничности водосборных территорий.

Анализ показал, что представленные в литературе данные о площадях водосборов Калининградской области разняться между собой на 10-15%. Поэтому, для единообразной оценки границы водосборных бассейнов и административных единиц были выделены с использованием инструментов ГИС на основе спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и уточнены по данным общегеографических карт.

Общее количество административных образований Калининградской области, Литвы и Польши в пределах трансграничных речных бассейнов, пересекающих Калининградскую область, равно 101. При этом ни одна из границ между административными образованиями не была проведена строго в соответствии с бассейновым принципом. Любой из речных бассейнов, находящихся в Калининградской области, принадлежит не менее чем к 2 административным образованиям, а максимальное число административных единиц в границах одного речного бассейна может доходить до 14. В то же время, любая административная единица Калининградской области включает от 3 до 8 частей разных речных бассейнов. Трансграничными являются не только водосборные территории, но и озеро Виштынецкое (между Россией и Литвой), а также Калининградский/Вислинский (между Россией и Польшей) и Куршский (между Россией и Литвой) заливы.

Такая пёстрая структура в пространственном расположении речных бассейнов и административных образований создает дополнительные трудности в управлении качеством вод речных систем.

Полученное бассейново-административное деление является самостоятельным результатом, а также используется далее в работе при индикаторной оценке как основа методики перерасчёта данных государственного статистического анализа, выполняемого только для муниципальных образований, на суб-бассейны.

ГЛАВА 3. ИНДИКАТОРЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящей главе сформулирована система индикаторов; описан ГИС проект на базе ArcGIS, содержащий исходные данные и результаты расчёта индикаторов; для каждого индикатора детально представлен порядок расчета количественных параметров, входящих в него, необходимая для этого информация, построены карты-схемы и даны комментарии пространственной изменчивости величины индикатора в пределах Калининградской области (на основе пространственного деления ее территории на основные водосборы), проанализировано соотношение величин индикатора для основных групп рек водосборов Калининградского/Вислинского и Куршского заливов и водосбора рек, впадающих непосредственно в Балтийское море.

3.1. Система индикаторов для геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области

Формирование системы индикаторов (Chubarenko, Domnin, 2008a) для геоэкологической оценки состояния водосборных территорий основано на совокупном использовании параметров, описывающих три основных процесса, определяющих транспорт биогенных элементов поверхностными водотоками по территории по направлению к Балтийскому морю – воздействие на территорию антропогенной нагрузки, способность территории к самоочищению и удержанию биогенных элементов (изъятие из транспорта), а также способность водосборной системы переносить растворённые и взвешенные в воде вещества и передавать их вниз по водосборному каскаду (Рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема формирования системы индикаторов для геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области.

Как выяснилось в главе 1, для геоэкологической оценки состояния водосборных территорий Калининградской области (с точки зрения биогенной нагрузки и транспорта биогенов) невозможно полное копирование ни одной из проанализированных индикаторных методик. Поэтому в работе предложено собрать систему индикаторов для описания антропогенного воздействия на территорию, её способности к самоочищению и транзитных свойств речных бассейнов, заимствовав отдельные индикаторы, уже апробированные в других индикаторных системах, и дополнив их необходимыми для целей работы дополнительными индикаторами.

Таким образом, предлагается использовать систему индикаторов, состоящую из 15 индикаторов, объединенных в 3 группы – по числу агрегированных индексов, которые будут использованы в дальнейшем (Таблица 3.1).

В таблице все индикаторы сгруппированы не по сферам деятельности (природная среда, экономика, социум), как это принято в большинстве индикаторных систем, а структурированы по индексам: антропогенной нагрузки, способности территории к самоочищению и её транзитной способности.

Группа/Индекс 1: Антропогенная нагрузка. В данную группу подобраны индикаторы, которые характеризуют процессы человеческой деятельности, прямо и опосредованно влияющие на качество вод.

Группа/Индекс 2: Способность территории к самоочищению. Несмотря на постоянный антропогенный прессинг, ландшафты способны к сохранению и восстановлению сбалансированного состояния и самоочищению (Охрана природы, 1987, Виноградов, 1998). В группе собраны индикаторы, показывающие наличие и пространственную дифференциацию компонентов геосистемы способствующих процессам самоочищения и удержания биогенов.

Группа/Индекс 3: Транзитная способность территории. Основной целью данного индекса является рассмотрение водосбора с позиции возможного выноса с территории загрязняющих веществ посредством речной сети.

Таблица 3.1 – Система индикаторов для геоэкологической оценки состояния территории водосборных бассейнов Калининградской области.

Индекс	**Индикатор**	**Букв. обозначение**
Антропогенная нагрузка	1.1 Доля застроенных земель	BU
	1.2 Нагрузка биогенных веществ в результате естественной жизнедеятельности населения	PPNP
	1.3 Нагрузка биогенных веществ в результате деятельности животноводства	PANP
	1.4 Внесение минеральных и органических удобрений	ORG
	1.5 Сброс неочищенных сточных вод	WD
Способность территории к самоочищению	2.1 Площадь природных и частично-природных биотопов	Nbio
	2.2 Особо охраняемые природные территории	PA
	2.3 Лесистость	FOR
	2.4 Заболоченность	BOG
	2.5 Озёрность	LAC
	2.6 Способность к самоочищению в зависимости от дренирующих свойств почв	AsS
Транзитная способность территории	3.1 Время добегания вод	TL
	3.2 Проницаемость (время прохождения вещества через суббассейн)	FW
	3.3 Модуль стока	FM
	3.4 Густота речной сети	DD

Любой водосборный бассейн является динамической системой с определённым набором характеристик (землеустройство, морфометрия, гидрографическая сеть и другие), которые отражают антропогенную нагрузку, способность территории к самоочищению, возможность транзита загрязняющих веществ.

На территории Калининградской области в главе 2 выделены частные водосборы рек, в пределах которых характеристики антропогенного влияния могут

быть оценены на основе государственной статистики (статистика водопотребления и водоотведения, сброса загрязняющих веществ, распределение населения и т.п.), возможен учёт типов использования земель и гидрологические характеристики, необходимые для оценки транзита вод в поверхностных водотоках (Рисунок 3.2). Определение исходных данных для вычисления параметров, из которых состоят индикаторы, проводилось по статистическим, картографическим и производным от них данным, полученных для таких отдельных суб-бассейнов Калининградской области.

Рисунок 3.2 – Схема деления водосборного бассейна административными единицами и их взаимосвязи через сток поверхностных вод.

Параметры и индикаторы рассчитывались для основных водосборов рек Калининградской области (Рисунок 3.3, Таблица 3.2). Как для отдельного бассейна, так и для каждого водосбора входящая в индикатор информация была пересчитана на единицу площади всего водосбора, т.е. приведена к виду, позволяющему сравнение водосборов между собой.

Для каждого индикатора было выполнено сравнение значений параметров для территорий трех групп водосборов - водосборов Куршского залива, Калининградского/Вислинского залива и водосбора рек, непосредственно впадающих в Балтийское море.

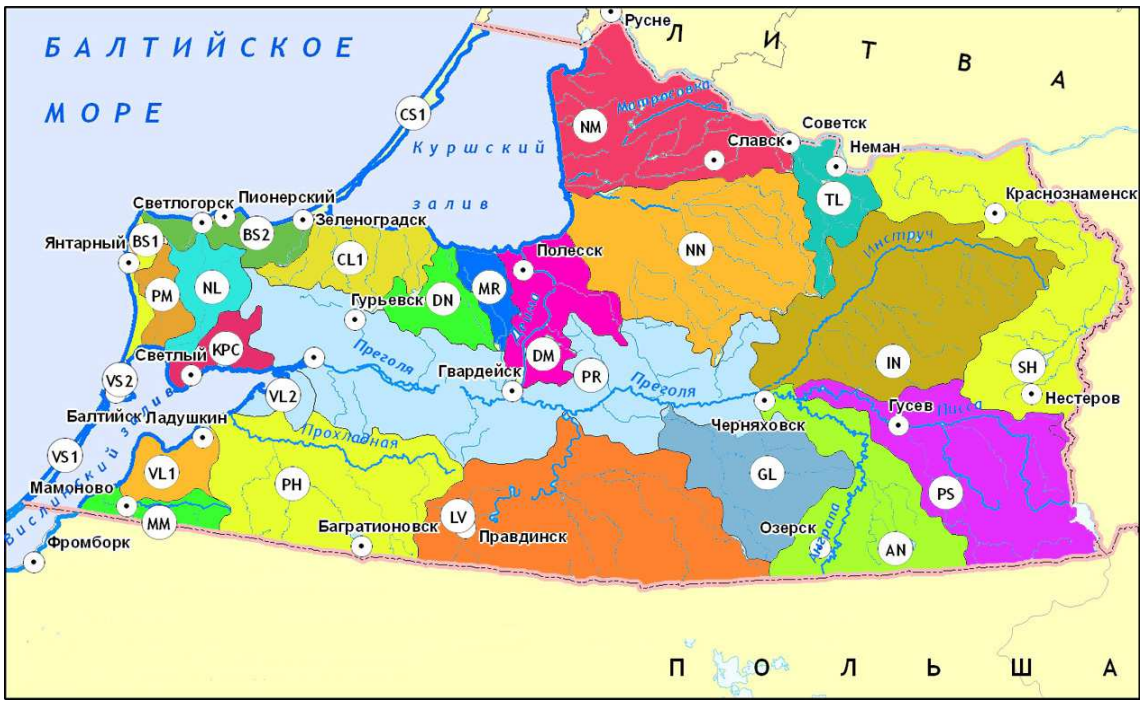

Рисунок 3.3 – Территории суб-бассейнов Калининградской области, выделенных для индикаторного анализа. Расшифровка буквенных индексов приведено в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень речных бассейнов Калининградской области, выделенных для индикаторного анализа.

Буквенное обозначение	Название главной реки бассейна	Буквенное обозначение	Название главной реки бассейна
Водосбор Вислинского залива		**Водосбор Куршского залива**	
AN	Анграпа	DM	Дейма
GL	Голубая	DN	Дунайка
IN	Инструч	MR	Мордовка
KPC	Калининградский отводной канал	NM	дельта р. Неман
		NN	Немонин
LV	Лава	SH	Шешупе
MM	Мамоновка	TL	Тыльжа
NL	Нельма	CL1	Бассейны прочих малых рек Куршского залива
PH	Прохладная		
PM	Приморская	CS1	Куршская коса
PR	Преголя	**Водосбор Балтийского моря**	
PS	Писса	BS1	Бассейны рек западного побережья Самбийского полуострова
VL1	Бассейны прочих малых рек Вислинского залива		
VL2		BS2	Бассейны рек северного побережья Самбийского полуострова
VS1	Полуостровная часть Вислинской косы		
VS2	Материковая часть Вислинской косы		

3.2. Геоинформационная система обработки пространственных данных и вычисления индикаторов

Для сбора данных и структурирования полученной из разных источников информации, простого и быстрого доступа к ней, а также выполнения визуализации и пространственного анализа данных была разработана геоинформационная система (ГИС).

Инструментом для создания ГИС выбрано приложение ArcGIS. Кроме того, для обработки и анализа некоторой информации использованы дополнительные приложения: ArcHydro, TauDEM, Statistica, MS Excel.

Формирование ГИС выполнено поэтапно. На первом этапе подготовлена базовая пространственная информация о водосборных бассейнах и административных единицах Калининградской области. На втором этапе, для территориальных единиц подготовлена специализированная тематическая информация. На третьем этапе проведён пространственный анализ (Рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Схема поэтапного формирования ГИС и анализа данных для геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области

Ввиду того, что исходная информация привязана к различным территориальным единицам, то при подготовке базовой пространственной информации проведено выделение водосборных бассейнов на основе цифровой модели рельефа, космических снимков и общегеографических карт, а также получены схемы административного деления Калининградской области (Глёза и др., 2012). Соответственно, исходные данные хранилась как для слоёв с водосборными бассейнами, так и для муниципальных образований Калининградской области. Для использования статистических данных по муниципальным образованиям в индикаторной оценке было получено бассейново-административное деление, которое позволяет пересчитать исходные данные по муниципалитетам на пересекающие их бассейны (Домнин, 2014).

Блок подготовки базовой пространственной информации включает слои муниципальных образований Калининградской области с привязанной к ним исходной статистической информацией, водосборных бассейнов рек Калининградской области и Юго-Восточной Балтики, основных водостоков Калининградской области, точек населённых пунктов по карте масштаба 1 : 200 000 (Кал. обл., 2014). А также после этапа анализа взаимного расположения административных единиц и водосборных бассейнов, в систему добавлен слой бассейново-административного деления.

К муниципальным образованиям привязана статистическая информация о количестве населения и поголовье скота, внесении минеральных удобрений, сбросе неочищенных сточных вод.

В блоке насыщения данными собраны слои с пространственным размещением застроенных территорий, природных и частично-природных биотопов, особоохраняемых территорий, лесов, болот, озёр, типов почв, подробной речной сети.

Блок пространственного анализа содержит слои исходя из перечня индикаторов, для которых была собрана пространственная, статистическая и гидрологическая информация по каждому водосборному бассейну области, использованному для пространственного анализа. Исходные данные представляют отдельные параметры, результаты их математических вычислений (см. след. параграф) образуют сами индикаторы, собранные в группы. Для расчётов каждого индикатора

использовано от 2 до 7 параметров А результаты вычислительных операций над индикаторами внутри группы представляют индексы.

Индекс антропогенной нагрузки включает статистическую информацию о количестве поступающих биогенов, внесении удобрений, сбросе неочищенных сточных вод (по состоянию на 2015 г.), а также пространственную информацию о покрытии застроенными территориями, полученную при дешифрировании космического снимка. Например, источником данных о количестве сброса неочищенных сточных вод является статистический сборник (Население).

В индексе способности территории к самоочищению собрана пространственная информация о покрытии природными биотопами, ООПТ, лесами, болотами, озерами, различными типами почв. Данные получены с общегеографической карты Калининградской области масштаба 1 : 200 000.

Для третьего индекса, транзитной способности территории, внесены гидрологические данные о времени руслового добегания вод, проницаемости территории, модуле стока, густоте речной сети. Использована гидрологическая информация, осредненная за период 1955-2012 гг., а также данные общегеографической карты, масштаба 1 : 200 000 (Кал. обл., 2014).

Слои имеют схожую атрибутивную структуру и включают такие параметры как: численный код бассейна (basin_code), буквенное обозначение бассейна (basin_ID), название бассейна (basin_name), принимающий водоем (water_storage), площадь территории (area_km2), абсолютное значение исходного параметра (bogs_km2), значение параметра при пересчёте на единицу площади (bogs_par). Для отсутствия проблем с кодировкой использован английский язык написания заголовков атрибутивной таблицы и (Таблица 3.2).

Таблица 3.3 – Пример структуры атрибутивной таблицы для слоя индикатора «Заболоченность».

FID	basin_code	basin_ID	basin_name	water_storage	area_km2	bogs_km2	bogs_par
1	1	MM	Мамоновка	Вислинский залив	141.0	2.0	1.4
2	4	LV	Лава	Вислинский залив	1317.5	10.5	0.8
3	10	DM	Дейма	Куршский залив	405.3	108.2	26.7
4	14	SH	Шешупе	Куршский залив	1119.8	69.4	6.2

3.3. Группа индикаторов для оценки антропогенной нагрузки на водосборные бассейны

В группе собраны индикаторы, характеризующие воздействие антропогенной нагрузки, влияющий на качество вод. К ним отнесены потенциально возможные сбросы загрязняющих веществ от естественной жизнедеятельности человека и сельского хозяйства как напрямую в водные объекты, так и на территорию водосборного бассейна (Домнин, 2012).

Цель введения индикатора. Индикатор показывает степень застройки территории (Состояние, 2008). В связи с тем, что застроенные селитебные и промышленные территории практически не имеют открытых земель, а сточные и ливнёвые воды централизованно собираются в коллекторы, то в таких ареалах не имеется возможности постепенного просачивания и стекания вод. Это увеличивает степень загрязнения принимающих водоёмов.

Источник информации: векторизованная карта Калининградской области (Калининградская область, 2014).

Формула расчёта:

$$BU = BUa / a \qquad (1)$$

где,

BU – доля застроенных земель, %;

BUa – площадь территории водосборного бассейна, занятая застроенными землями, км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Распределение застроенных земель на территории Калининградской области неравномерно. Самый высокий процент зон застройки наблюдается в водосборах с наличием крупных городов, где развита активная деятельность: рекреация, работа портов, промышленность (Калининград, Советск, Светлогорск, Неман, Зеленоградск, Светлый, Балтийск) – это частные водосборы рр. Преголи, Тыльжи, побережья Самбийского полуострова. Здесь степень застройки превышает 8%, а самая высокая степень застройки приходится на водосбор материковой части Вислинской косы, где находится г. Балтийск – здесь жилая и хозяйственная инфраструктура занимает более 65%. Самый низкий процент застройки территорий (менее 3.5%) отмечается в периферийных южных и восточных водосборах области: рр. Инструча, Писсы, Голубой, Лавы (Рисунок 3.5).

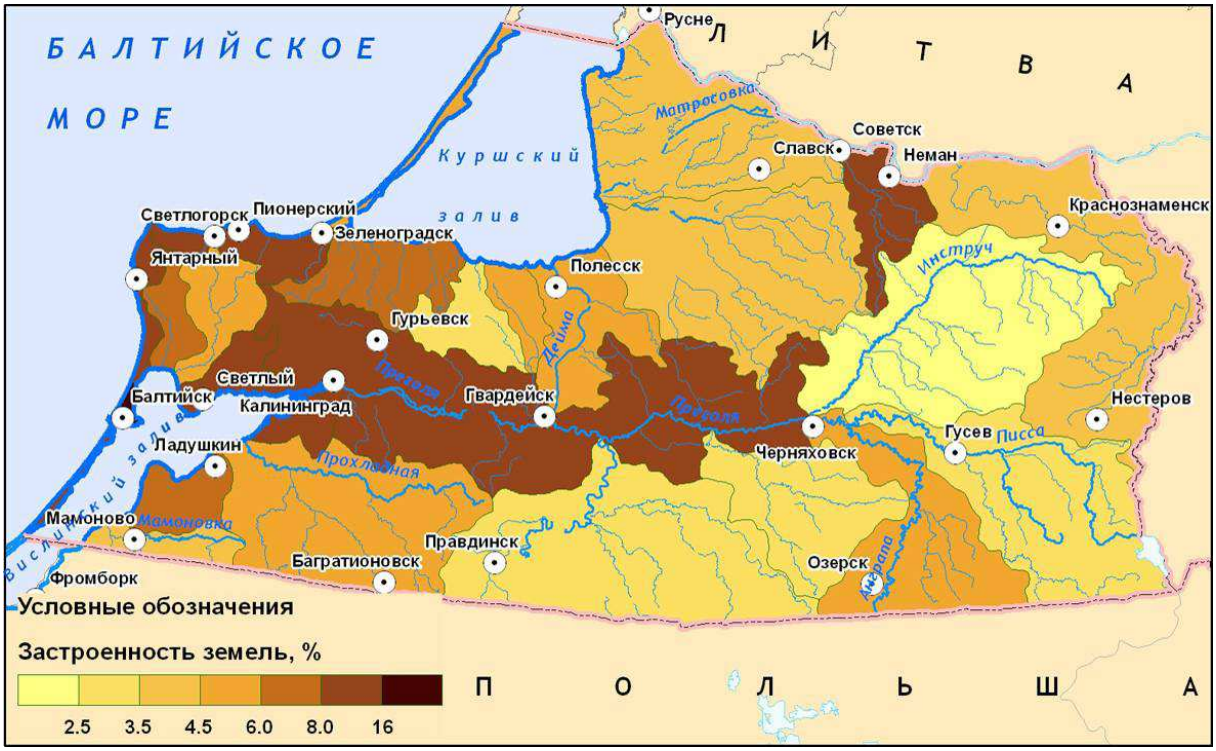

Рисунок 3.5 – Доля застроенных земель водосборных бассейнов рек Калининградской области.

Сравнивая площадь застройки территорий в целом, следует отметить, что максимальное значение (14.2%, в 3 раза превышающие прочие) приходятся на водосборы, напрямую относящихся к Балтийскому морю. Такая ситуация, не смотря на наличие крупных городов в остальной части области, сложилась благодаря тому, что речные бассейны прибрежной зоны моря занимают узкую прибрежную полосу с высокой концентрацией застройки в курортных районах. Доля застроенных земель водосбора Калининградского/Вислинского залива составляет 5.6%, Куршского – 4.5% Среднее значение по Калининградской области равно 5.4% (Рисунок 3.6).

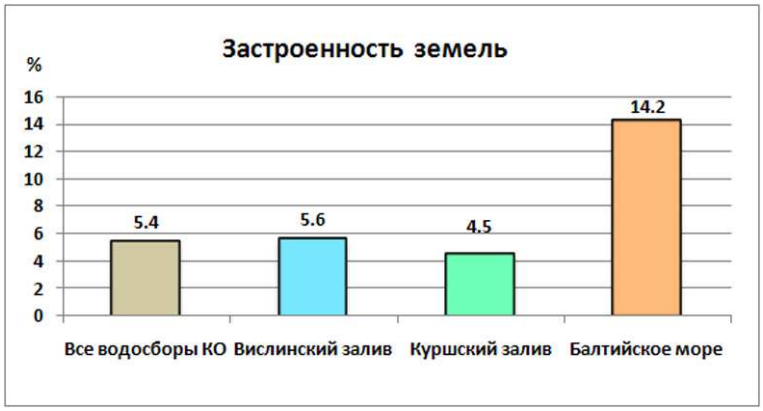

Рисунок 3.6 – Соотношение застроенных земель в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Нагрузка на водные объекты в результате естественной жизнедеятельности населения и животноводства

Цель введения индикатора. Загрязнение открытых принимающих водоёмов биогенными веществами происходит за счёт стока рек, в которые поступают соединения азота и фосфора от жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и лесного фонда. Так как в настоящий момент подавляющее большинство населенных пунктов Калининградской области не имеют очистных сооружений, либо они не функционируют в надлежащем объёме (Калининград), то практически все бытовые отходы направляются напрямую в поверхностные водоемы. Схожая ситуация наблюдается для отходов животноводства, где в результате отсутствия налаженных связей между животноводческими и растениеводческими хозяйствами органические удобрения попадают не на поля, а складируются в от-

стойники, откуда происходит их постепенное вымывание (Великанов, 2003, Очистные сооружения). Индикатор показывает потенциальное количество азота и фосфора, которое может попасть в водные объекты в результате образования биогенов населением и животноводческим комплексом.

Параметры индикатора: нагрузка биогенных веществ в результате естественной жизнедеятельности населения, нагрузка биогенных веществ в результате деятельности животноводства.

Источник информации: карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), статистические данные о количестве населения в населённых пунктах Калининградской области (Население), статистические данные о поголовье сельскохозяйственных животных (Сельское...).

Формула расчёта:

$$PPNP = (Pop*QN_p + Pop*QP_p)/a \quad (2)$$

$$PANP = (An*QN_a + An*QP_a)/a \quad (3)$$

где,

PPNP – общее количество азотных и фосфорных биогенных элементов, возможно выработанных в результате естественной жизнедеятельности населения в пределах водосборного бассейна, тонн/год/км^2;

PANP – общее количество азотных и фосфорных биогенных элементов, возможно выработанных в результате животноводческой деятельности в пределах водосборного бассейна, тонн/год/км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2

Pop – численность населения в бассейне, человек;

QN_p – количество азота, образующегося от одного человека в год (по данным СНиП = 2.9 кг/год (СНиП, 1986)), тонн/год;

QP_p – количество фосфора, образующегося от одного человека в год (по данным СНиП = 1.2 кг/год (СНиП, 1986)), тонн/год;

An – количество поголовья скота в водосборном бассейне, голов;

QN_a – количество азота, образующегося от каждой особи в год (в соответствии с Таблицей 3.4), тонн/год;

QP_a – количество фосфора, образующегося от каждой особи в год (в соответствии с Таблицей 3.4), тонн/год.

Таблица 3.4 – Количество содержания азота и фосфора в продуктах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных (Агрономический портал)

Животные	Количество содержания биогенных элементов в продуктах жизнедеятельности, %		Количество продуктов жизнедеятельности, кг/год
	Азот	Фосфор	
КРС	0,45	0,28	7000
Лошади	0,58	0,28	5000
Овцы, козы	0,83	0,23	700
Свиньи	0,45	0,19	1500
Куры	4,5	3,7	7
Утки	4,5	3,7	8,5
Гуси, индейки	4,5	3,7	11

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Нагрузка на территорию от сброса биогенных веществ, возможно образующихся в результате жизнедеятельности населения, непосредственно связана с его количеством. А животноводческая деятельность приурочена к сельскохозяйственным районам. По всей Калининградской области значения индикатора колеблются в большом диапазоне: от 0.1 до 13 т/год/км^2 (Рисунок 3.7). Максимальное значение наблюдается в г. Калининграде. Однако, нагрузка приходится не на частный водосбор р. Преголи, в котором Калининград расположен полностью, а на частный водосбор Калининградского отводного канала, выносящего все сточные воды областного центра напрямую в Калининградский/Вислинский залив (Великанов, 2003, Уманский, 2005, Доклад, 2011).

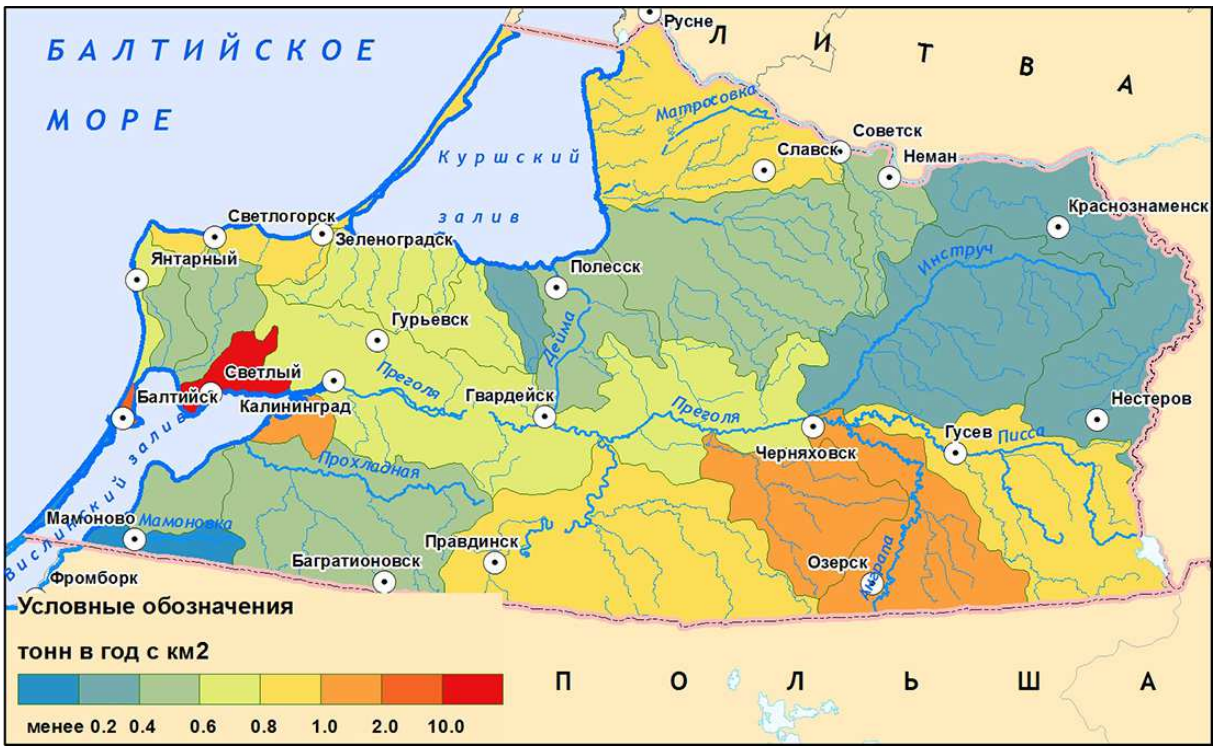

Рисунок 3.7 – Нагрузка биогенных веществ в результате естественной жизнедеятельности населения и животноводства в водосборных бассейнах рек Калининградской области.

Несмотря на то, что р. Преголя считается одной из самых загрязнённых рек в Калининградской области, количество потенциально возможного загрязнения на территории ее суб-бассейна относительно невысоко – около 0.7 т/год/км^2. Наименьшее значение индикатора (0.15 т/год/км^2) характерно для водосбора Вислинской косы, где малое количество постоянного населения и отсутствует животноводческая деятельность.

Значительная дифференциация значений индикатора между отдельными суб-бассейнами, обуславливает разницу между показателями по крупным бассейнам области, которая колеблется в пределах от 0.5 (водосбор Калининградского/Вислинского залива) до 1.0 т/год/км^2 (водосбор Куршского залива) (Рисунок 3.8).

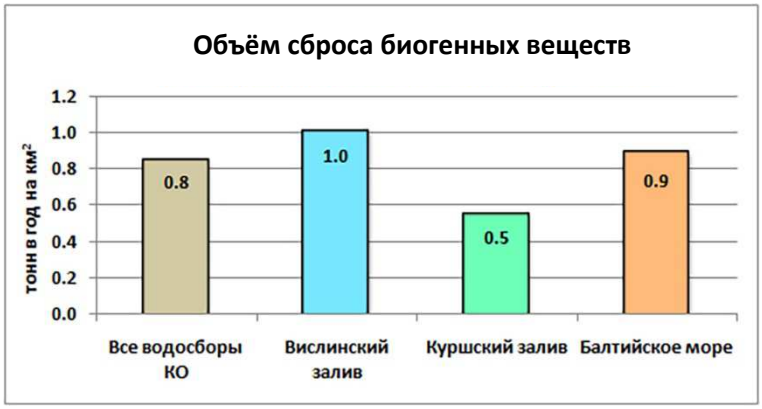

Рисунок 3.8 – Нагрузка биогенных веществ в результате естественной жизнедеятельности населения и животноводства в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Не всё количество биогенных веществ попадает в открытые морские акватории. Не смотря на то, в населённых пунктах области нет полноценных очистных сооружений, и сточные воды сбрасываются без очистки, всё же происходит их частичное самоочищение на пути следования (Уманский, 2005). Максимальное количество загрязнения попадает в Калининградский/Вислинский залив, к водосбору которого, принадлежит большая часть административных районов области.

Внесение минеральных и органических удобрений

Цель введения индикатора. Для питания растений вносятся как органические (чаще всего фекальные отходы животноводства), так и минеральные (концентрированные химические) элементы. В результате внесения удобрений на сельскохозяйственные земли, происходит формирование основных диффузных источников загрязнения поверхностных вод. Загрязнение происходит в результате избыточного внесения удобрений, которые не усваиваются растениями, и смываются водотоками, что приводит к цветению сине-зеленых водорослей, и, как следствие, к эвтрофикации (Эвтрофикация водоёмов).

Источник информации: карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), схема территориально планирования Калининградской области (Правительство КО, Положение, 2008), статистические данные о количестве внесённых минеральных удобрений (Сельское...).

Формула расчёта:

$$ORG = OG / a \quad (4)$$

где,

ORG – нагрузка биогенных веществ от внесения минеральных и органических удобрений, тонн/год/км^2;

OG – общее количество минеральных и органических удобрений в пределах водосборного бассейна, тонн/год

а – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области

По данным официальной статистики на 2015 г. (Сельское...) на поля Калининградской области было внесено около 600 тыс. тонн удобрений. Из них 75% составили органические, и только 25% – минеральные.

На территории Калининградской области наблюдается зональность в распределении объёмов вносимых удобрений. Наибольшая нагрузка приходится на юго-восточную часть (частные водосборы рек Лавы, Голубой, Анграпы, Писсы) (более 50 тонн/год/км^2) (Рисунок 3.9). В северо-восточной части области нагрузка составляет 30-50 тонн/год/км^2. Наименьшую антропогенную нагрузку испытывают бассейны рек западной части области (менее 3 тонн/год/км^2).

При сравнении водосборов Калининградской области, в пересчёте на единицу площади, больше всего удобрений вносится на территории водосборов рек Калининградского/Вислинского залива (более 50 тонн/год/км^2) (Рисунок 3.10). В меньшей степени нагрузку испытывают бассейны рек, напрямую впадающих в Балтийское море.

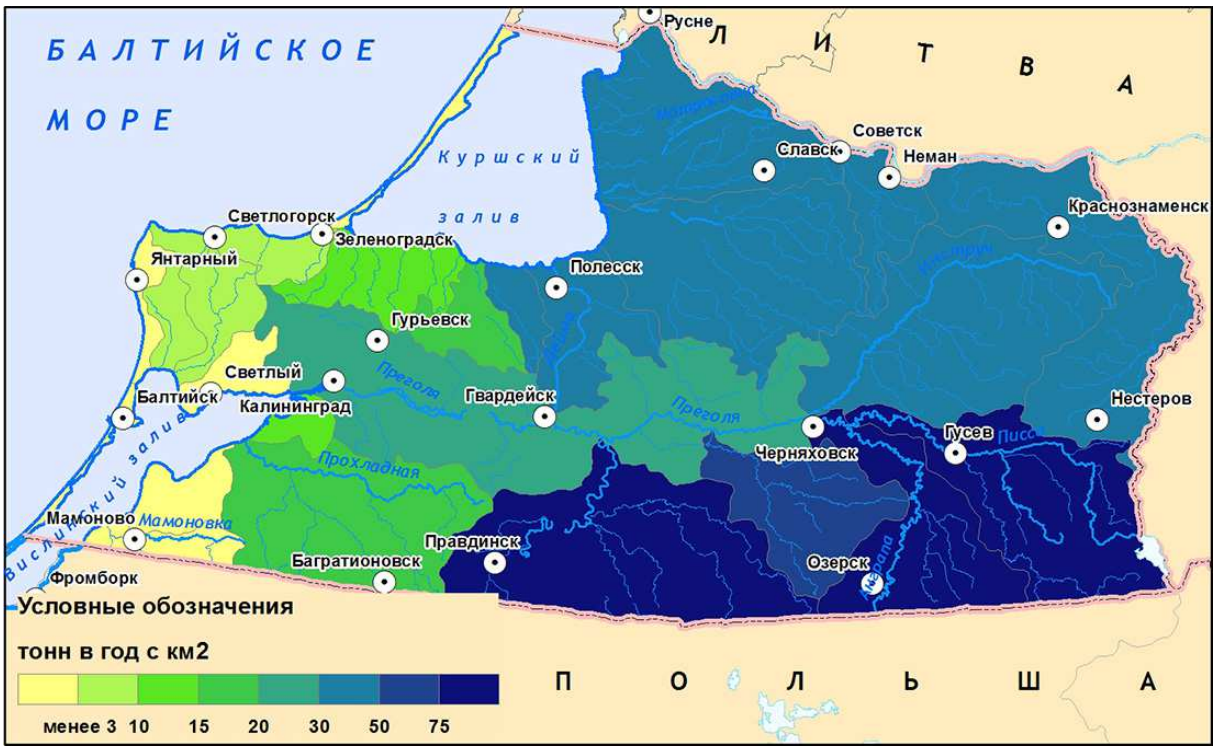

Рисунок 3.9 – Нагрузка на водосборные бассейны рек Калининградской области в результате внесения минеральных и органических удобрений

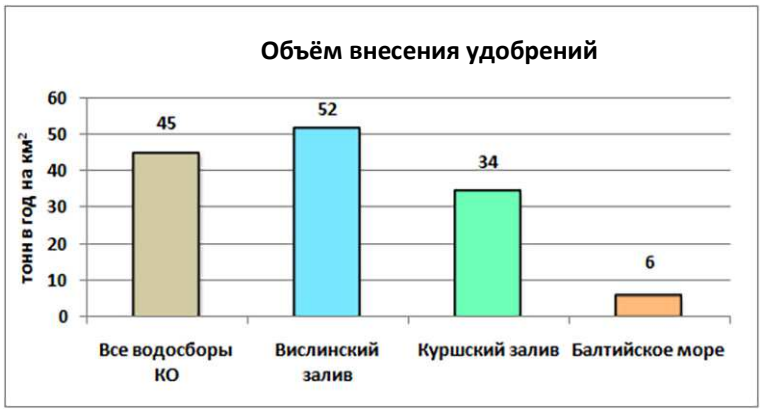

Рисунок 3.10 – Нагрузка от биогенных веществ в результате внесения минеральных и органических удобрений в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Сброс неочищенных сточных вод

Цель введения индикатора. Как уже отмечалось ранее, Калининградская область не обладает достаточной сетью очистных сооружений, и большая часть сточных вод со стороны жилищно-коммунального хозяйства и промышленного сектора, напрямую попадает в поверхностные воды (Великанов, 2003). Индикатор

призван показать, какую антропогенную нагрузку испытывают водосборные суббассейны со стороны сброса сточных вод.

Источник информации: карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), статистические данные о количестве сброшенных сточных вод (Население).

Формула расчёта:

$$WD = QWD / a \quad (5)$$

где,

WD – сброс неочищенных сточных вод, $м^3/км^2$;

QWD – количество сброшенных загрязненных сточных вод, $тыс.м^3$;

a – площадь водосборного бассейна, $км^2$.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Несмотря на то, что сточные воды имеют прямое происхождение от жизнедеятельности человека, пространственная картина нагрузки от их сброса не схожа с распределением значений индикатора нагрузки от естественной жизнедеятельности населения. Здесь также выделяется водосборный бассейн отводного канала с максимальными значениями (более 300 $тыс.м^3/км^2$), что в 60 раз выше среднего значения для всей Калининградской области. Высок уровень сброса в бассейны рек севера Самбийского полуострова (15 $тыс.м^3/км^2$), а также материковой части Вислинской косы (24 $тыс.м^3/км^2$) (Рисунок 3.11). Это связано, главным образом, с высокой плотностью проживающего населения (Калининград, Светлогорск, Балтийск).

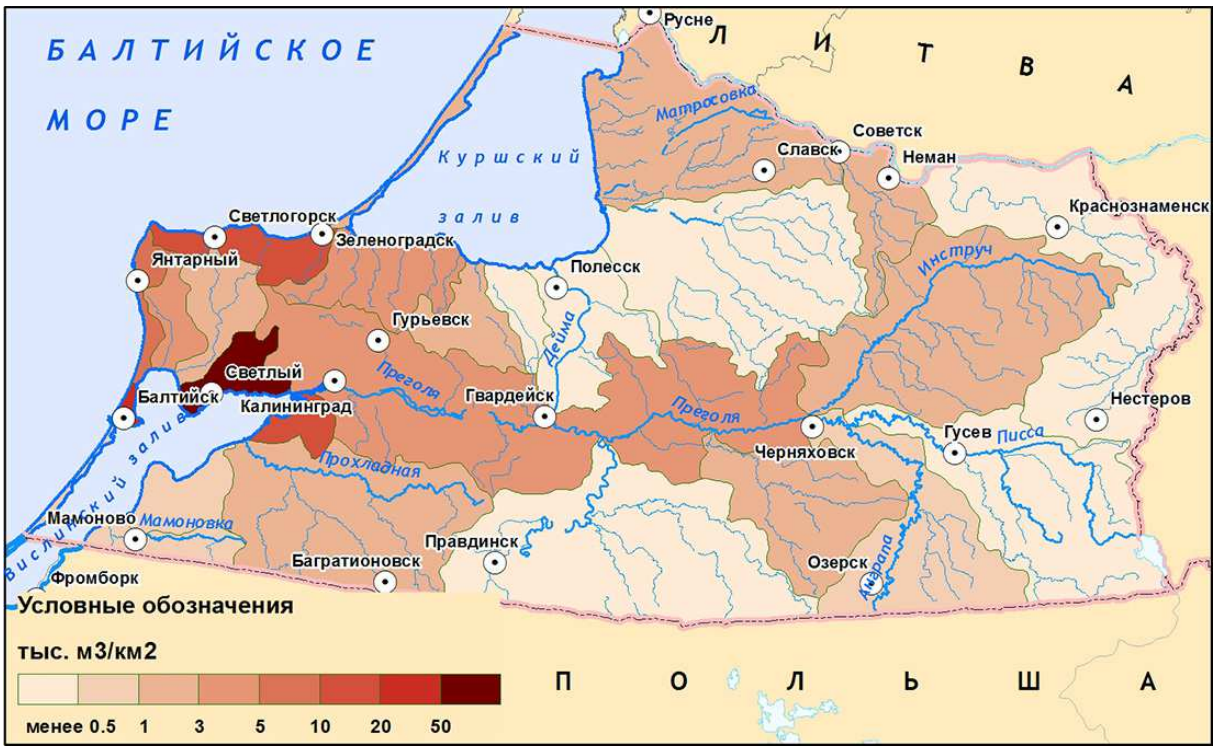

Рисунок 3.11 – Нагрузка на водосборные бассейны рек Калининградской области в результате сброса загрязнённых сточных вод

При пересчёте на единицу площади для крупных водосборов, наибольший разброс значений индикатора наблюдается между водосбором Куршского залива (1 тыс.м^3/км^2) и водосбором рек, напрямую впадающих в Балтийское море (13 тыс.м^3/км^2) (Рисунок 3.12).

Рисунок 3.12 – Нагрузка на территорию в результате сброса загрязнённых сточных вод в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

3.4. Группа индикаторов для оценки способности территории к самоочищению

Фактически все природные комплексы Калининградской области подвержены антропогенному воздействию, выраженному в изменении его структуры и функции, поступлении загрязняющих веществ, которые, в итоге, могут привести к изменению свойств ландшафтов. Однако, любая природная система способна к сохранению и восстановлению сбалансированного состояния и её самоочищению (Охрана природы, 1987) в случае внешнего воздействия (Виноградов, 1998). Свойства самоочищения и восстановления баланса территории поддерживается функционированием природных ландшафтов при наличии обширных лесных и болотных комплексов, развитой речной сети.

Группа индикаторов направлена на оценку существующего состояния естественных природных комплексов.

Площадь природных и частично-природных биотопов

Цель введения индикатора. Естественными средами обитания считаются земли и акватории, где экосистемы сформированы без участия человека. Но таких ареалов немного, и поэтому в индикатор включены территории, занятые как природными, так и частично-природными биотопами лесов, озёр, болот, пастбищ и открытых песков. Сельскохозяйственные поля исключены. Индикатор особенно важен ввиду того, что быстро сокращаются дикие среды обитания, а сельское хозяйство становится всё более интенсивным, что ведет к сокращению биологического разнообразия.

Источник информации: карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), схема территориального планирования Калининградской области (Правительство КО).

Формула расчета:

$$Nbio = NSNa / a * 100 \qquad (6)$$

где,

NSN – доля природных и частично-природных биотопов, %;

NSNa – площадь водосборных бассейнов, занятая природными и частично-природными биотопами, км^2.

а – площадь водосборных бассейнов, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Максимальное количество земель, занятых природными и частично-природными биотопами, в Калининградской области находится в её юго-западной и северной частях (Рисунок 3.13). К ним относятся территории суб-бассейнов рек Мамоновки, Прохладной, Лавы, дельты реки Немана, а также Куршской и Вислинской кос – здесь доля природных биотопов превышает 70% от площади водосборного бассейна. Самой минимальной степенью природных территорий (менее 25%) обладают водосборы рек Анграпы, Тыльжи, а также северного побережья Самбийского полуострова. Закономерности в преобладании того или иного типа природного ландшафта и значением индикатора среди бассейнов Калининградской области не наблюдается. Однако при низкой доле природных биотопов, большую часть занимают пахотные земли.

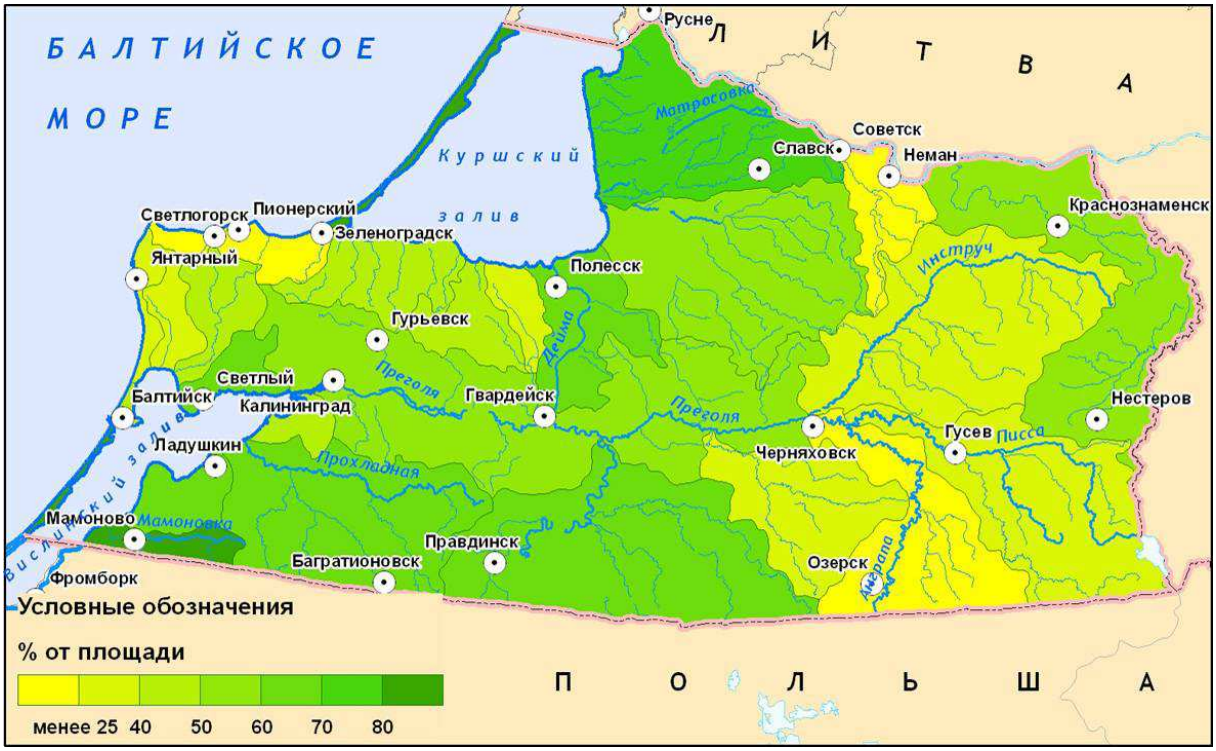

Рисунок 3.13 – Доля земель водосборных бассейнов рек Калининградской области, занятых природными и частично-природными биотопами.

Среднее значение индикатора для Калининградской области составляет 48%, для водосбора Вислинского залива – 45%, для Куршского – 55% (Рисунок 3.14).

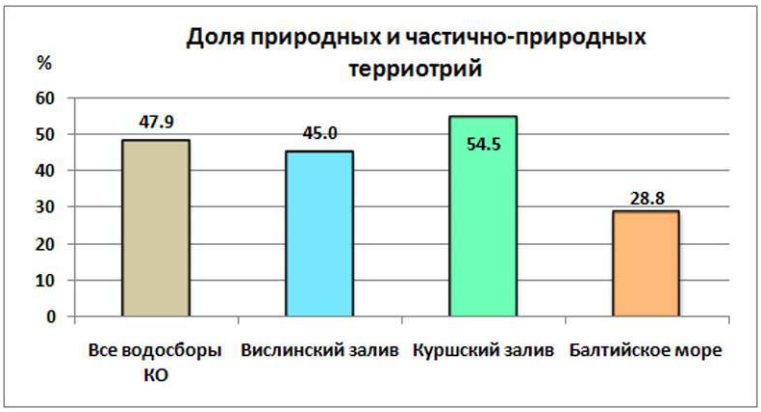

Рисунок 3.14 – Доля земель в водосборных бассейнах Калининградской области, занятых природными и частично-природными биотопами.

Особоохраняемые природные территории

Цель введения индикатора. Индикатор показывает, какая часть водосборных бассейнов Калининградской области находится в статусе особоохраняемых природных территории (ООПТ). Индикатор важен, поскольку ООПТ являются локализованными ареалами, где сохранению биологического многообразия уделяется особое внимание со стороны государства и региона, что позволяет предотвратить загрязнение и водных объектов.

Источник информации: карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), векторизованные схемы ООПТ Калининградской области (Природа..., 2013).

Формула расчёта:

$$PA = PAPa / a * 100 \qquad (7)$$

где,

PA – доля существующих ООПТ, %;

PAPa – площадь территории водосборного бассейна, занятая существующими ООПТ, км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

В основном, охраняемые территории Калининградской области имеют статус государственных природных заказников и водно-болотных угодий. Первые

выполняют функции сохранения и восстановления различных промысловых видов, способствуют сохранению объектов и комплексов неживой природы (Природа..., 2013, Схема охраны..., 2004). Одна ООПТ – национальный парк Куршская коса – является трансграничной, то есть, разделена государственной границей между Россией и Литвой. Части прибрежных акватории в Балтийском море и в Вислинском и Куршском заливах охранному статусу не подвергнуты.

В настоящий момент около 90% Куршской косы имеет статус ООПТ. Более 25% территории дельты реки Немана, за счёт наличия двух заказников и множества водно-болотных угодий, занята охраняемыми территориями. С другой стороны, некоторые суб-бассейны вообще не имеют земель с охранным статусом (Рисунок 3.15).

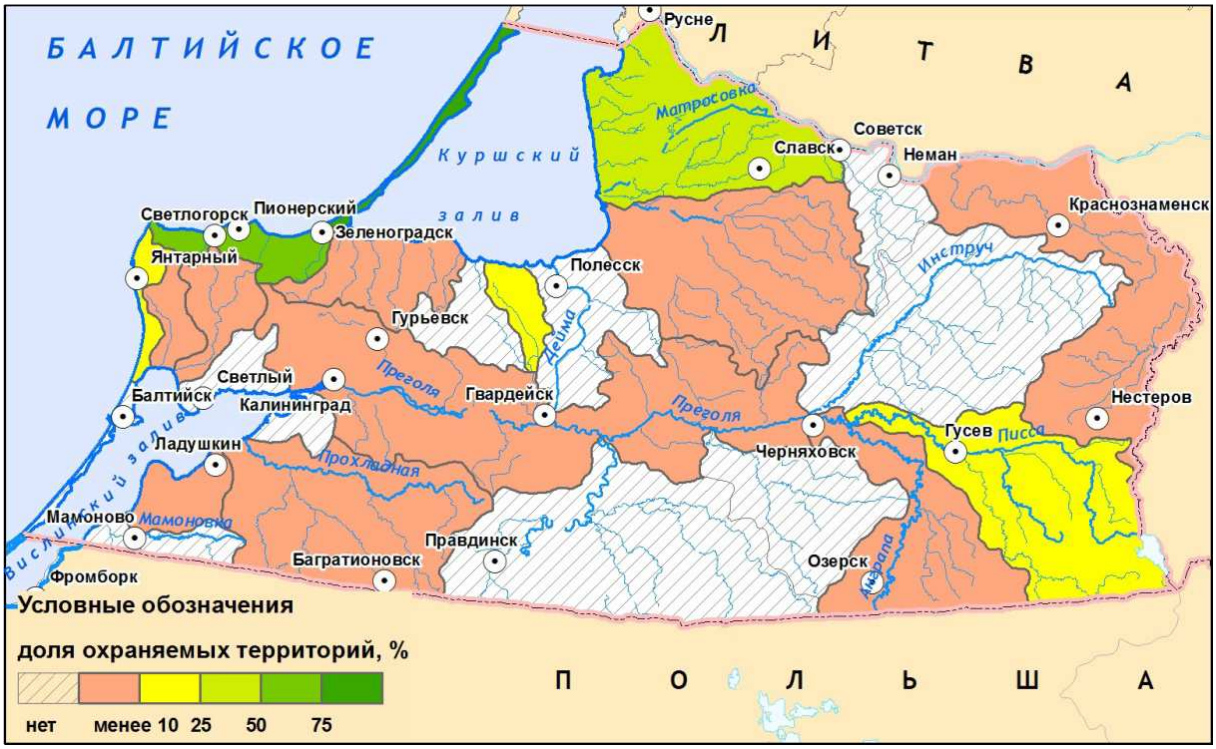

Рисунок 3.15 – Доля существующих и перспективных ООПТ относительно площади водосборных бассейнов Калининградской области.

Неравномерное распределение территорий с охранным статусом отражено и в распределении по крупным водосборам. Так наибольший процент занятости ООПТ – более 50% – приходится на водосбор Балтийского моря (за счёт перспективы новых государственных природных заказников (Природа..., 2013)), на долю

водосбора Куршского залива приходится 11%, на Вислинский – 4% (Рисунок 3.16).

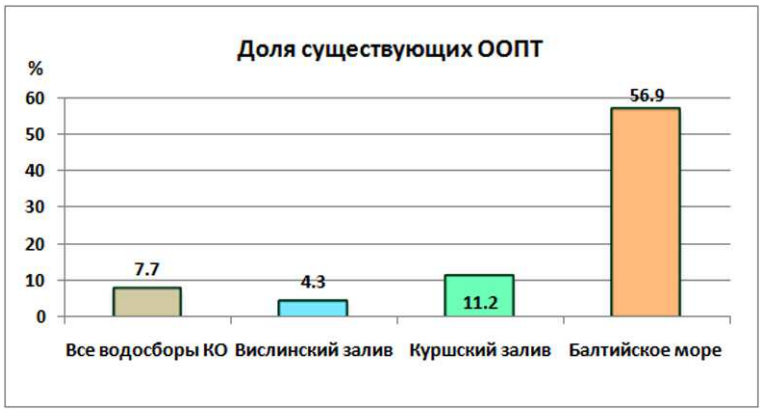

Рисунок 3.16 – Степень занятости ООПТ территорий крупных водосборных бассейнов Калининградской области

Лесистость

Цель введения индикатора. Самая важная роль лесов заключается в образовании кислорода и поглощении углекислого газа. Однако, кроме этого, многими авторами (Гальдер, 2008, Ковязин, 2008, Леса и вода, 2008) отмечается позитивное воздействие лесной растительности и на качество поверхностных и подземных вод. Наиболее весомый вклад в гидрологические характеристики водосборных экосистем леса вносят тем, что поддерживают высокое качество воды, возводят к минимуму эрозию почвы, сокращают количество наносов и отложений в водоёмах (заболоченные территории, озёра, реки) и удерживают или фильтруют другие загрязняющие вещества при прохождении воды через лесную подстилку.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014).

Формула расчета:

$$FOR = FLa / a * 100 \quad (8)$$

где,

FOR – лесистость территории, %;

FLa – площадь территории водосборного бассейна, занятая постоянными лесными насаждениями, км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Наибольшая залесённость территории в 50% отмечается на Куршской и Вислинской косах (Рисунок 3.17). Кроме того, относительно высокие значения индикатора (30-50%) характерны для частных водосборов рек Деймы, Мамоновки и отводного канала. Наименьшая степень показателя, составляющая до 10% – в бассейне р. Тыльжи.

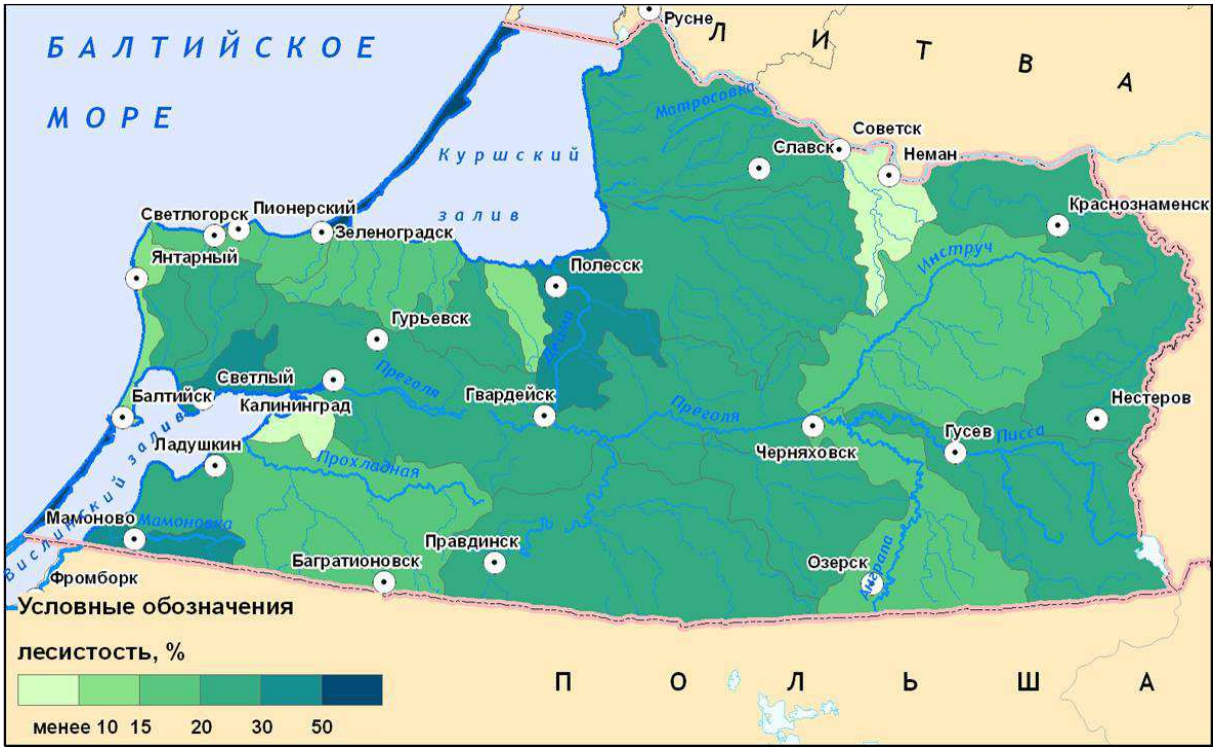

Рисунок 3.17 – Лесистость водосборных бассейнов рек Калининградской области.

Разница в занятости лесами водосборов Куршского и Калининградского/Вислинского заливов незначительна и составляет 24% и 26%, соответственно. Водосборы рек побережья Самбийского полуострова характеризуются значением индикатора в 17% (Рисунок 3.18).

Основными лесообразующими породами лесов являются ель, сосна, дуб, клен, береза. Ель наиболее широко распространена в лесных массивах восточных районах области. Сосновые леса наиболее значительны в суб-бассейнах рр. Шешупе, Инструча, Писсы, на Куршской и Вислинской косах. Отдельными небольшими массивами вдоль южного побережья Куршского залива встречаются дубра-

вы. Кроме того на Самбийском полуострове и в бассейне р. Лавы имеются буковые леса. Пониженные переувлажнённые участки в водосборах Немонина и дельты Немана заняты ольховниками и черноольшанниками (Географический атлас КО, 2002).

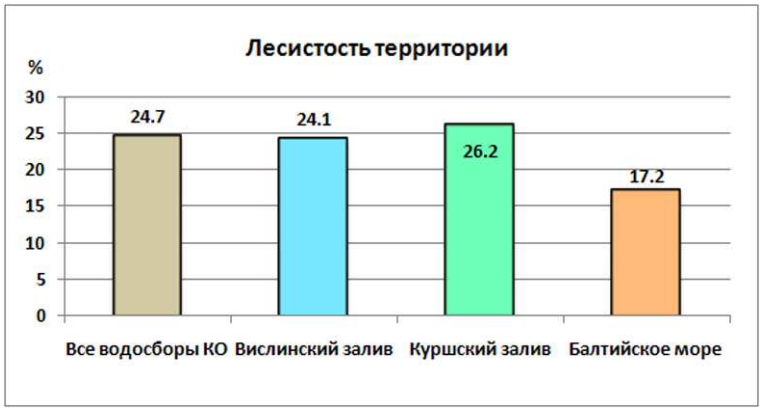

Рисунок 3.18 – Лесистость в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Заболоченность

Цель введения индикатора. Являясь накопительным источником воды, болота играют важную роль в гидрологических процессах – регулируют речной сток и уровень грунтовых вод, во многом определяют рисунок гидрографической сети. За счёт захоронения неразложившейся органики, болота препятствуют выделению углекислого газа, что снижает развитие парникового эффекта. Болота являются естественными фильтрами воды и санитарами агроэкосистем (Денисенков, 2000). В индикаторе рассмотрены территории, занятые болотными комплексами.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014).

Формула расчета:

$$BOG = BLa / a * 100 \qquad (9)$$

где,

BOG – заболоченность территории, %;

BLa – площадь водосборного бассейна, занятая болотными комплексами, км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

В Калининградской области порядка 820 км^2 занято болотными комплексами, что составляет около 5% её территории. В большинстве своём они характеризуются большим разнообразием биотопов и мелкомозаичным их распределением, разнообразием и смешением флоры и фауны. Наибольшее распространение болота находят в пределах юго-восточной части Куршского залива – дельте р. Немана (22%), бассейнах рек Немонин (17%) и Деймы (27%) (Рисунок 3.19).

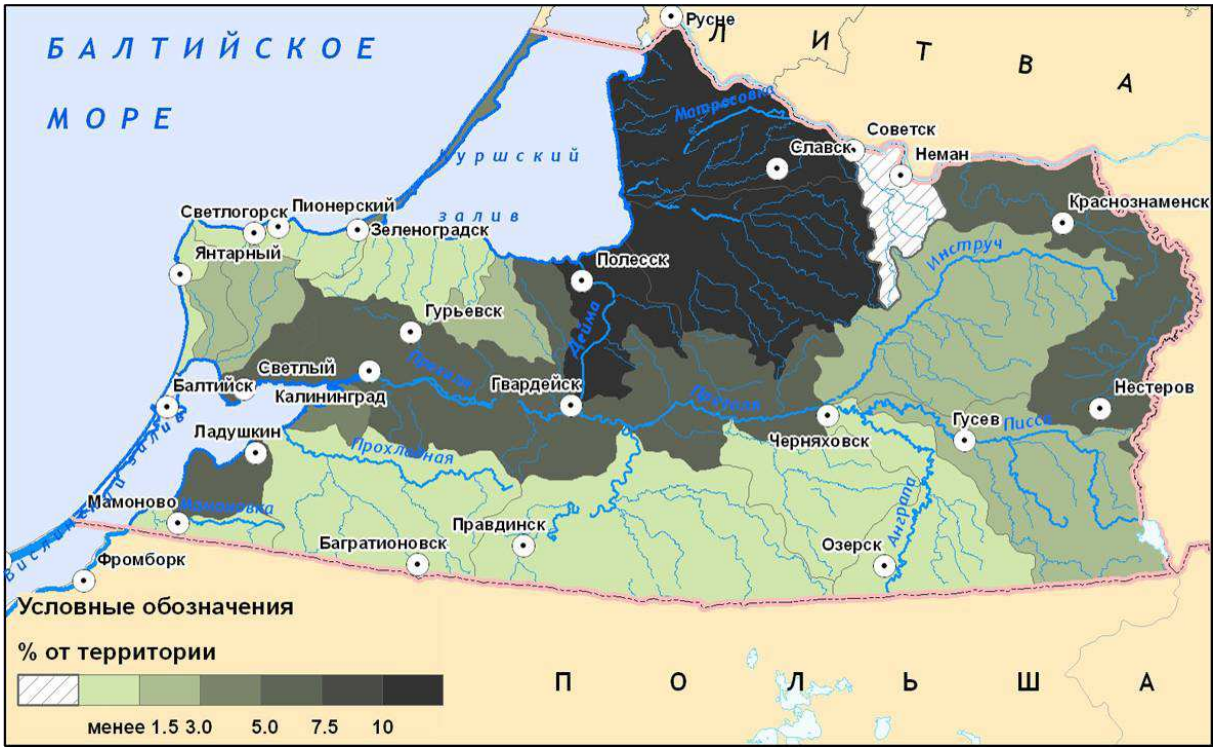

Рисунок 3.19 – Заболоченность водосборных бассейнов рек Калининградской области.

Традиционно это районы затопленных польдерных земель, которые находятся ниже уровня Куршского залива и отделены от него земляным валом. Наименьшее количество болот (до 1.5%) встречается в южных районах области с возвышенным рельефом – Вармийская и Виштынецкая возвышенности – где расположены частные водосборы рек Мамоновки, Прохладной, Лавы, Голубой и Анграпы.

Сравнивая крупные водосборы между собой, отмечается многократное превышение значения показателя (равное 13%) для водосборного бассейна Куршско-

го залива над водосборами Калининградского/Вислинского залива (в 4 раза) и побережья Балтийского моря (в 11 раз) (Рисунок 3.20).

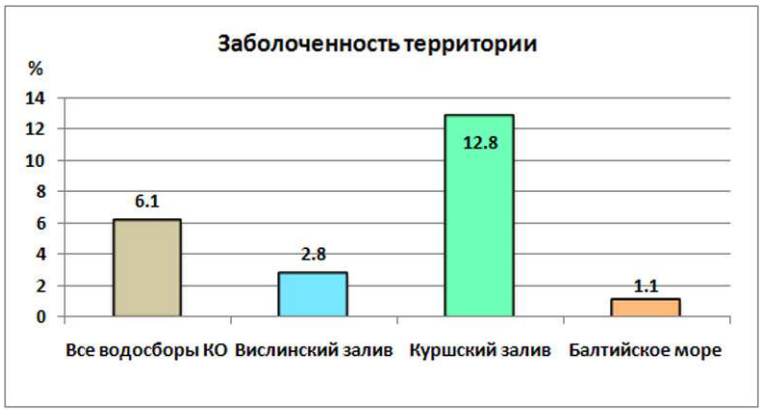

Рисунок 3.20 – Заболоченность в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Озёрность

Цель введения индикатора. Основной функцией озёр является их способность регулировать сток протекающих через них рек, когда вода задерживается в половодье и в паводки и отдается в другие периоды, тем самым нивелируются колебания уровня водной поверхности. Способность озёр, прудов и водохранилищ к самоочищению заключается в свойствах задерживать в своей котловине взвешенные и растворенные вещества, приносимые реками. Таким образом, эти гидрологические объекты выступают природным фильтром на пути распространения загрязнителей. (Богословский, 1960). В индикаторе учтены территории суббассейнов, занятые озёрами, прудами и водохранилищами.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014).

Формула расчета:

$$LAC = LKa / a * 100 \qquad (10)$$

где,

LAC – озёрность территории, %;

LKa – площадь водосборного бассейна, занятая озёрами, прудами и водохранилищами, км^2;

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

По картографическим данным площадь Калининградской области, занятая естественными и искусственными водоёмами озерного типа, равна около 90 км^2, что составляет менее 1% ее территории. Самым крупным объектом является Виштынецкое озеро, расположенным на юго-востоке области в суб-бассейне реки Писсы, берущей из него начало. Наличие такого крупного озера позволяет всему водосбору иметь показатель озёрности, равным 2.1% (Рисунок 3.21). Таким же значением характеризуется водосбор рек, напрямую впадающих в Балтийское море на западном побережье Самбийского полуострова (здесь крупным объектом является затопленный карьер – Синявинское озеро). Наименьшими значениями индикатора (менее 0.25%) характеризуются водосборы рек Немонин, Дунайка, Мордовка, Вислинской косы. Территории остальных водосборов характеризуются значениями озёрности в диапазоне 0.4-1%.

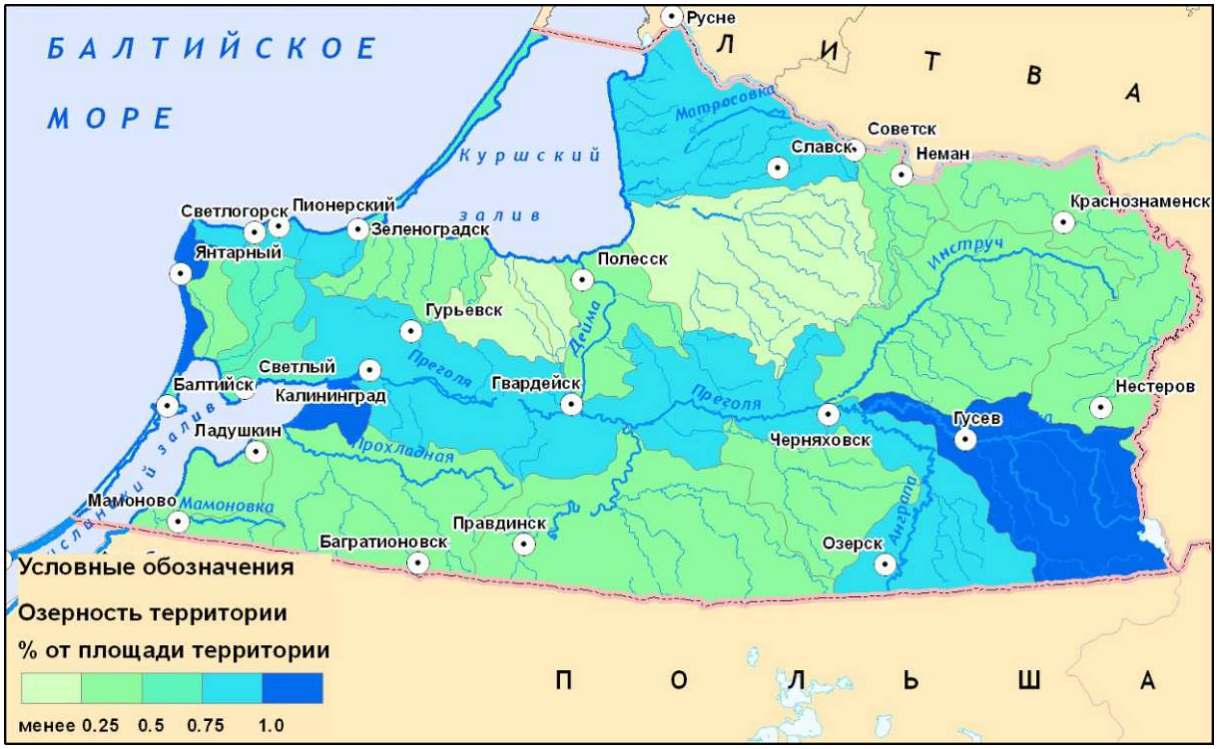

Рисунок 3.21 – Озёрность водосборных бассейнов рек Калининградской области.

Благодаря наличию относительно крупных объектов наибольшим показателем озёрности (1.2%) характеризуется прибрежная зона моря Самбийского полу-

острова. В бассейнах рек Куршского залива, в результате хорошей дренажной сети водотоков и каналов, она в 3 раза ниже и составляет 0.4%. Водосбор Вислинского залива характеризуется значением равным 0.8%, что близко к характеристике всей Калининградской области (0.7%) (Рисунок 3.22).

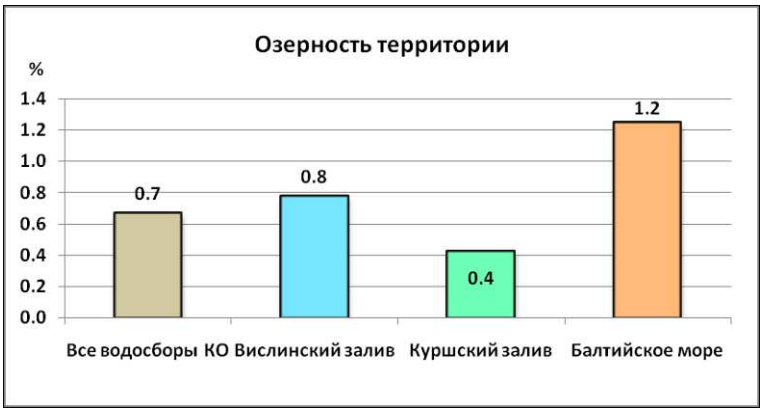

Рисунок 3.22 – Озёрность крупных водосборных бассейнов Калининградской области.

Способность к самоочищению в зависимости от дренирующих свойств почв

Цель введения индикатора. Механический состав почвы сильно влияет на дренаж, содержание биогенных веществ и температурный режим почвы. Средне- и мелкоструктурные почвы, такие как глины, суглинки и алевриты способны лучше удерживать воду с растворенными в ней солями. Песчанистые почвы быстрее дренируются и теряют питательные вещества в результате выщелачивания, весной они быстрее, чем глинистые, просыхают и прогреваются (Механич. состав). Таким образом, чем плотнее почва, тем лучше она способна удерживать влагу и, соответственно, глубже преобразовывать содержащиеся в ней элементы. Тем самым предотвращая попадание химических веществ в поверхностные и подземные воды, что повышает способность территории к самоочищению.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), почвенная карта Калининградской области (Лазарева, 2002).

По механическому составу почвы Калининградской области подразделены на аллювиальные, песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, среднесуглинистые,

тяжелосуглинистые почвы, где каждому типу присвоен весовой коэффициент, величина которого характеризует дренажную способность. Чем выше коэффициент, тем ниже дренирующая способность почв, и тем лучше способность территории к самоочищению. Сумма весовых коэффициентов составляет 1 (Таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Коэффициенты способности к самоочищению в зависимости от дренирующей способности почв

Тип механического состава	Буквенное обозначение	Весовой коэффициент ассимиляционной способности	Способность территории к самоочищению
аллювиальные	Al	0.048	минимальная
песчаные	Sd	0.095	
супесчаные	Ls	0.143	
легкосуглинистые	Ll	0.190	
среднесуглинистые	Ml	0.238	
тяжелосуглинистые	Hl	0.286	максимальная

Формула расчета:

$$AsS = \Sigma(Sa_{Al}*0.048+Sa_{Sd}*0.095+Sa_{Ls}*0.143+Sa_{Ll}*0.19+Sa_{Ml}*0.238+Sa_{Hl}*0.286)/a*100 \quad (11)$$

где,

AsS – способность к самоочищению в зависимости от дренирующих свойств почв, %;

Sa – площадь водосборного бассейна, занятая различными по механическому составу типами почв (буквенный индекс см. в таблице 3.5), км^2;

а – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборных бассейнов Калининградской области.

На территории Калининградской области большее распространение имеют почвы средне- тяжелосуглинистого механического состава (совокупно 61%). Причём, существует тенденция увеличения доли занимаемых площадей в соответствии с увеличением плотности почв (Рисунок 3.23). Однако, внутри укрупненных водосборных бассейнов такой закономерности нет. Водосбор Калининградского/Вислинского залива повторяет дифференциацию по области в целом, в водосборе Куршского залива большую территорию (44%) занимают среднесугли-

нистые почвы, а побережье Балтийского моря – легкосуглинистые (33%) и супесчаные почвы (22%).

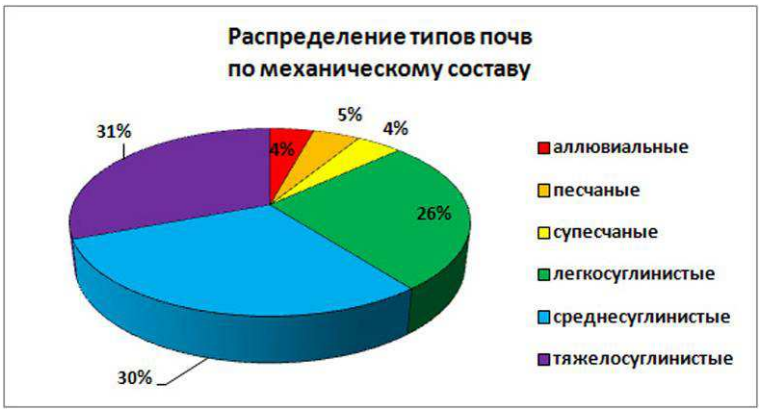

Рисунок 3.23 – Распределение типов почв по механическому составу на территории Калининградской области

Такая дифференциация, согласно предложенной методике, напрямую повлияла на распределение параметров способности территории к самоочищению, зависящей от дренирующих свойств почв. Максимальными значениями характеризуются бассейны рек Лавы, Голубой, Инструча, Дунайки и Мордовки (более 21). Минимальные параметры, не превышающие 11, наблюдаются в бассейнах Приморской, Нельмы, отводного канала, дельты Немана, а также на косах, где преобладают аллювиальные, песчаные и супесчаные почвы (Рисунок 3.24).

Наименьшая способность территории к самоочищению, зависящая от дренирующих свойств почв, характерна для водосбора Балтийского моря (менее 16), наибольшая – для Калининградского/Вислинского залива (около 20) (Рисунок 3.25).

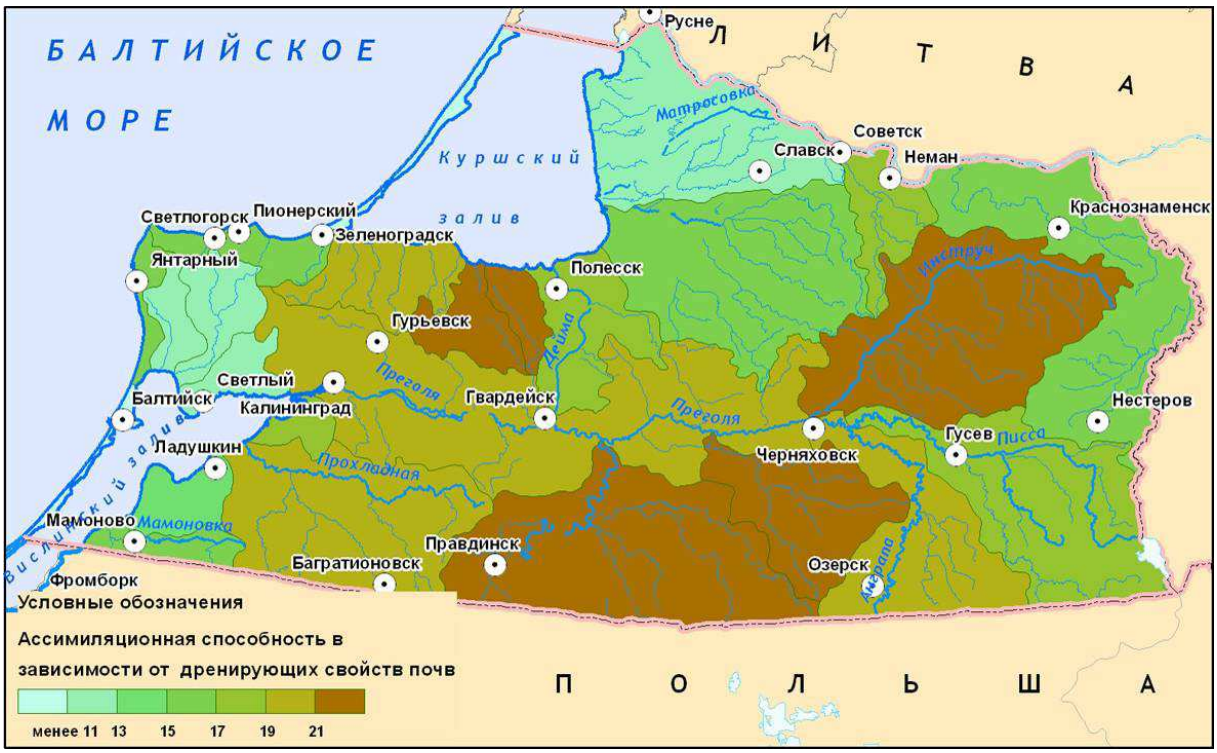

Рисунок 3.24 – Способность водосборных бассейнов рек Калининградской области к самоочищению в зависимости от дренирующих свойств почв.

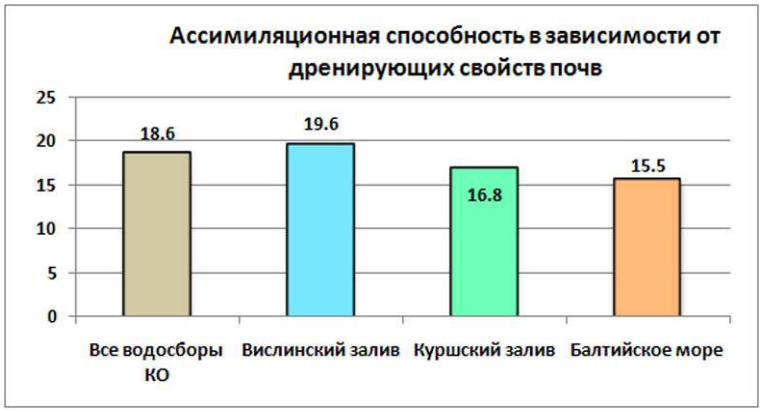

Рисунок 3.25 – Способность территории к самоочищению крупных водосборных бассейнов Калининградской области в зависимости от дренирующих свойств почв.

3.5. Группа индикаторов для оценки транзитной способности водосборных бассейнов

С одной стороны, способность территории к самоочищению позволяет нейтрализовать возможное загрязнение, поступающее от антропогенных источников, непосредственно на самой водосборной территории, а с другой, нейтрализация загрязняющих веществ возможна путём их выноса с территории самой речной системой. Степень транзитной способности каждого водосборного бассейна определена набором гидрологических параметров каждого водосборного бассейна. Для данной группы индикаторов проведён анализ факторов, влияющих на вынос загрязняющих веществ с территории.

Время руслового добегания вод

Цель введения индикатора. Сбросы загрязнителей в пределах водосборного бассейна являются реальной угрозой для прибрежной зоны. Так, в декабре 2007 в русле реки Вислы произошла серьёзная авария, связанная с пробоиной трубопровода, проложенного по дну реки в 250 километрах от устья (Stróżyk, 2007). В результате в реку попало около 40 м^3 мазута, а длина пятна составила 20 километров. Если бы не экстренные мероприятия по сбору нефти, пятно могло попасть в акваторию Гданьского залива уже через 5-6 дней после происшествия, что создало бы угрозу побережью Польши и Калининградской области (Наумова, 2007). Для региона Юго-Восточной Балтики этот случай является единичным, однако угроза существует, так как нефтепроводы пересекают русла рек и в Калининградской области, а крупные предприятия области находятся на берегах рек. Настоящий индикатор призван показать насколько быстро вода по руслам рек может стечь в принимающий водоём (***время руслового добегания вод***) (Чубаренко, Домнин, 2011).

Поскольку наиболее быстро воздействие внутренних частей региона на прибрежную зону осуществляется через русла водотоков, то в качестве инструмента оценки их влияния, были выделены зоны исходя из времени добегания водных масс по водотокам, по ***изохронам*** (Изохрона, 1972, База знаний).

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), скорость течения воды в реках Калининградской области получены из Гидрологических ежегодников (1955-2009 гг.).

Формула расчета:

$$TL_{ave} = rL_{ave} / V_{ave} \quad (12)$$

$$TL_{high} = rL_{ave} / V_{high} \quad (13)$$

$$TL_{mean} = rL_{ave} / V_{mean} \quad (14)$$

где,

TL_{ave} –время добегания вод по руслам рек при среднегодовом осреднении, сутки;

TL_{high} – время добегания вод по руслам рек при весеннем половодье, сутки;

TL_{mean} – время добегания вод по руслам рек при летней межени, сутки;

rL_{ave} – значения расстояний от устьевых точек постоянных речных водотоков, до узловых пересечений в пределах бассейнов, км;

V_{ave} – принятая для бассейна скорость течения вод по руслам рек при среднегодовом осреднении, км/сутки;

V_{high} – принятая для бассейна скорость течения вод по руслам рек при весеннем половодье, км/сутки;

V_{mean} – принятая для всего бассейна скорость течения вод по руслам рек при летней межени, км/сутки.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Время добегания вод зависит от сезона. Минимальное время добегания соответствует весеннему половодью и паводкам, максимальное – периоду летней межени (Рисунки 3.26-3.28).

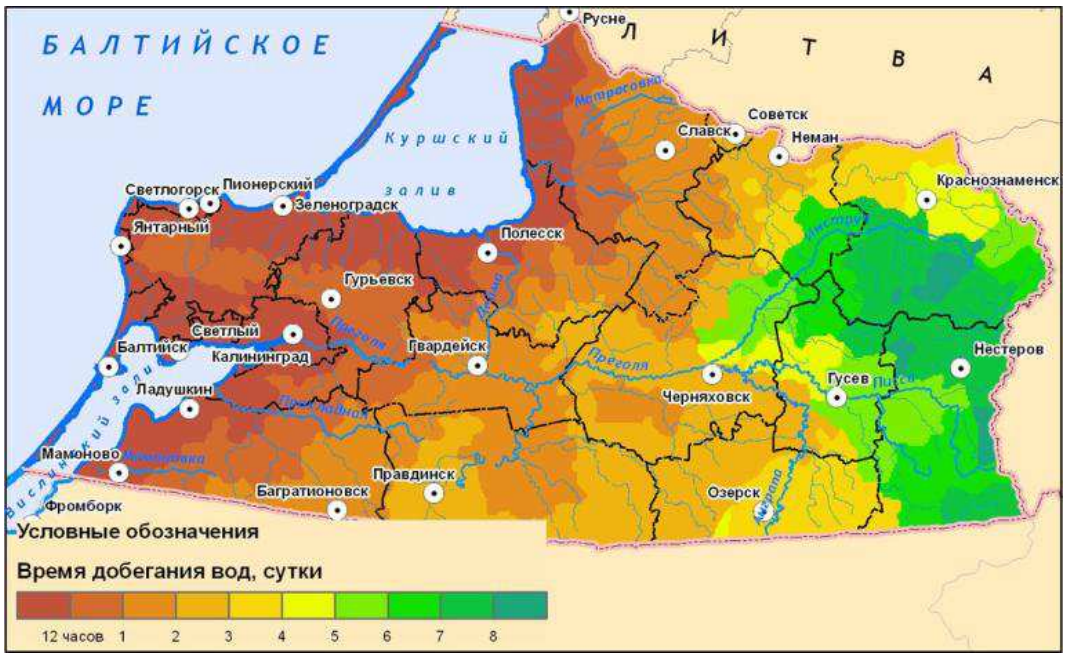

Рисунок 3.26 – Время добегания вод по руслам рек Калининградской области при среднемноголетней скорости течения.

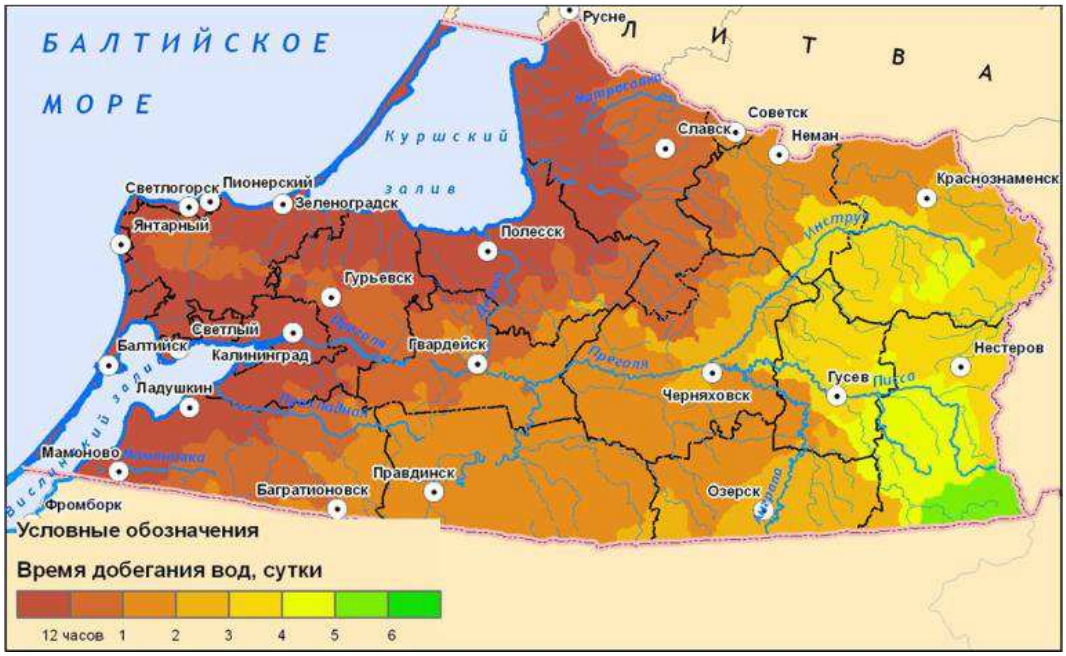

Рисунок 3.27 – Время добегания вод по руслам рек Калининградской области при скорости течения в периоды весеннего половодья.

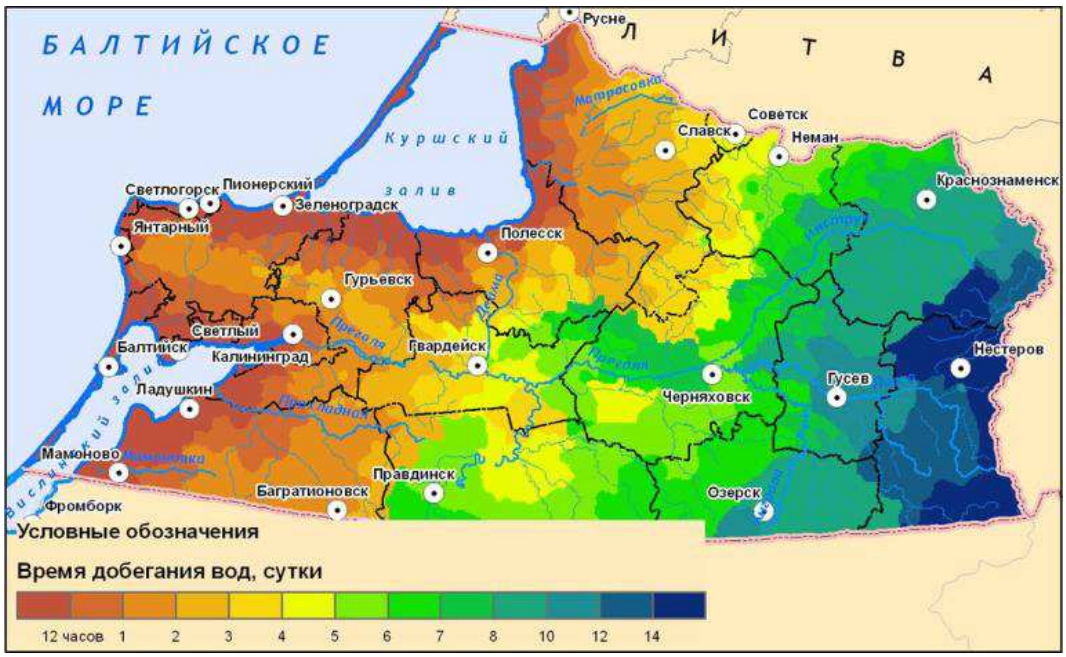

Рисунок 3.28 – Время добегания вод по руслам рек Калининградской области при скорости течения в период летней межени.

Закономерно то, что наиболее быстро стекают воды с малых бассейнов, имеющих выход к морю и заливам, а наибольшее время требуется водам, текущим из восточной части Калининградской области. В период весеннего половодья вода с удаленных частей стекает не более чем за 6 суток, в период межени – за 2 недели, а в среднем многолетнем приближении – за 8 дней. Следует отметить, что в период межени, вода с участков рек, расположенных в пределах прибрежных районов, доходит до устьевого створа за 3 суток, при среднемноголетнем значении скорости течений – до 2 суток, а в период половодья – до одних суток (Рисунок 3.29) (Чубаренко, Домнин, 2011).

То есть, при попадании каких-либо загрязняющих веществ в водоток в пределах прибрежных территорий, существует высокая вероятность их переноса в открытую или внутреннюю морскую акватории уже в течение первых суток, что накладывает жёсткие условия на планирование соответствующих профилактических и очистных мероприятий.

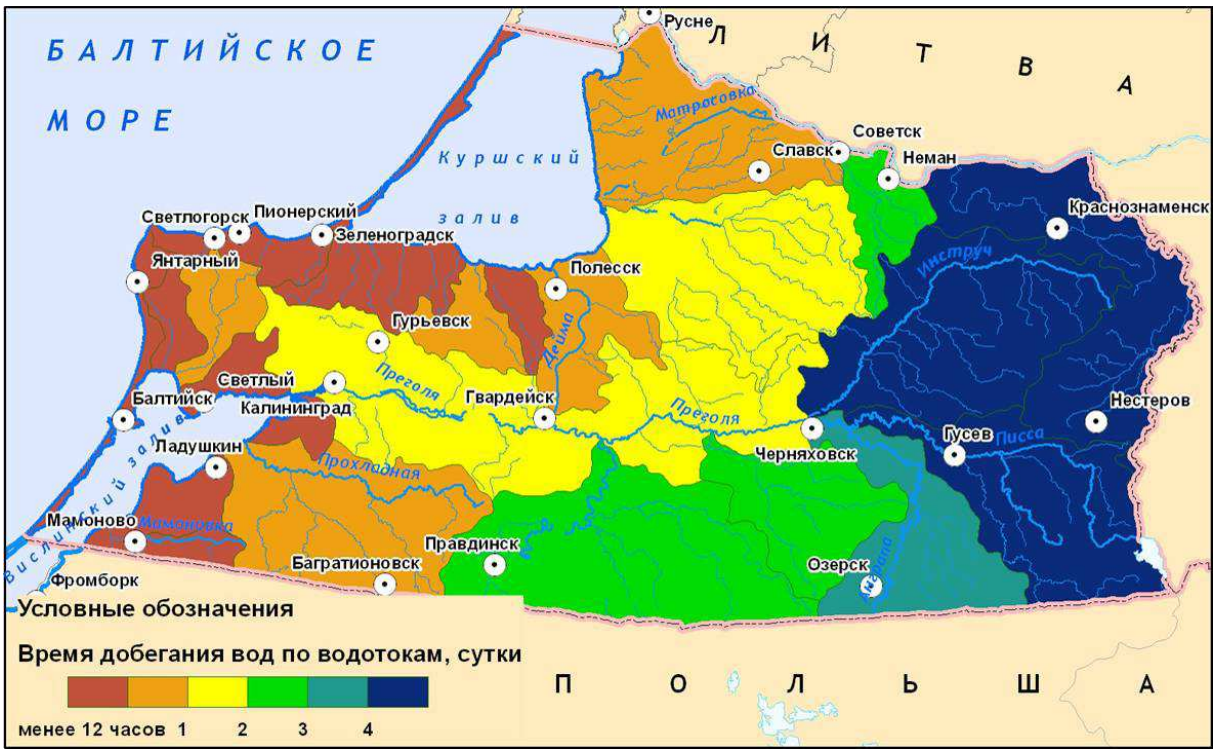

Рисунок 3.29 – Время добегания вод по водотокам при среднемноголетней скорости течения рек водосборных бассейнов Калининградской области

Суб-бассейны рек, непосредственно впадающих в Балтийское море, имеют минимальное время руслового добегания вод (около 5 часов). Самое же большое время (в среднем около 2 суток) требуется для водосбора Калининградского/Вислинского залива, простирающегося до восточных границ Калининградской области (Рисунок 3.30).

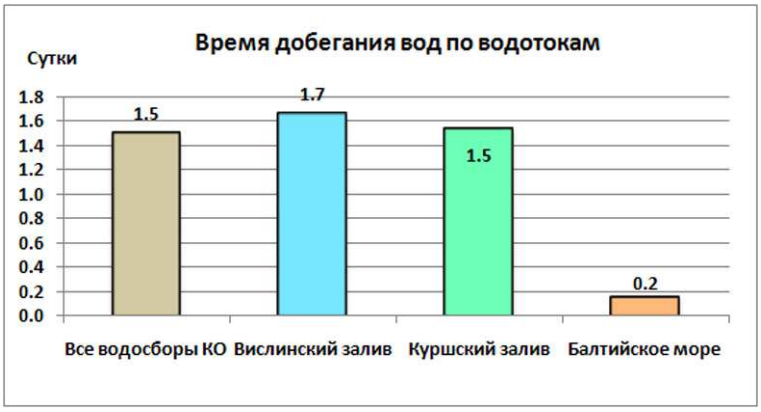

Рисунок 3.30 – Время руслового добегания вод при среднемноголетней скорости течения рек в водосборных бассейнах Калининградской области.

Проточность бассейна

Цель введения индикатора. В предыдущем индикаторе для территории Калининградской области выделены зоны времени стока, которые показывают, сколько времени требуется воде достигнуть принимающего водоёма, однако, в индикаторе не учитывается площадь водосборной территории, с которой происходит сток. Что важно принимать во внимание при анализе дренирующей способности территории. Для решения этой проблемы введён индикатор, который показывает, площадь территории, которую способна дренировать речная сеть за единицу времени.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), скорость течения воды в реках Калининградской области получены из Гидрологических ежегодников (1955-2009 гг.).

Формула расчёта:

$$FW = a / (t_{max} - t_{min}) , \qquad (15)$$

где,

FW – проточность водосборного бассейна (площадь территории, дренированная существующей речной сетью за единицу времени), км^2/час

t_{max} – максимальное значение времени добегания вод с водосбора, час;

t_{min} – минимальное значение времени добегания вод с водосбора, час;

а – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Для Калининградской области значения индикатора колеблются в диапазоне от 6 (бассейн р. Мордовки) до 35 (бассейн р. Лавы) км^2/час (Рисунок 3.31).

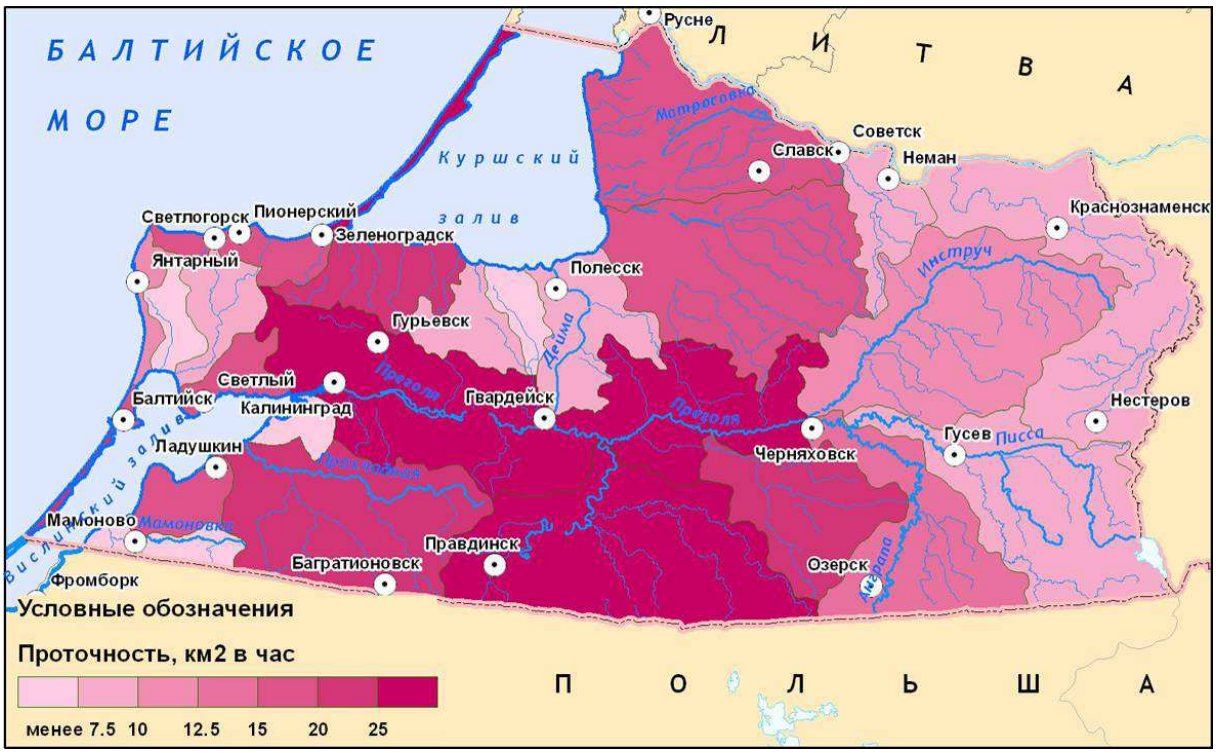

Рисунок 3.31 – Проточность водосборных бассейнов рек Калининградской области с учётом времени добегания вод по водотоку.

Говоря об оценке по крупным территориям, следует отметить, что среди водосборов выделяется Вислинский, проточность которого почти в 2 раза выше по сравнению с другими, и составляет 43 км^2/час. Калининградская же область в целом характеризуется проточностью, равной 67 км^2/час (Рисунок 3.32). Такой высокий показатель получен благодаря тому, что область имеет развитую речную и канальную сеть и широкий выход к открытым и внутренним морским акваториям.

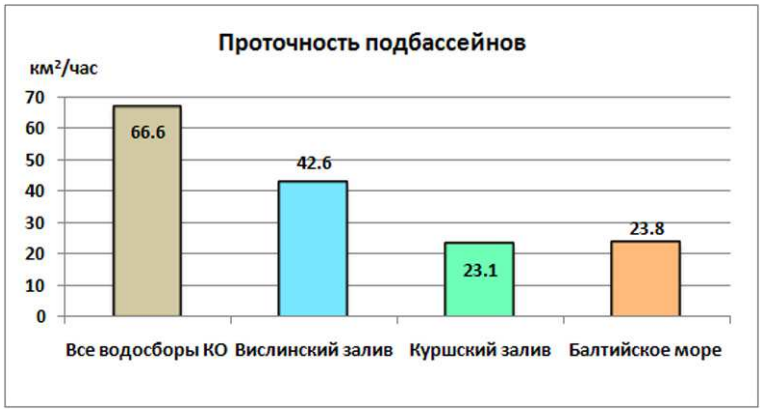

Рисунок 3.32 – Соотношение значений проточности в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Модуль стока

Цель введения индикатора. Модуль стока воды – один из важных гидрологических показателей, характеризующий количество воды, стекающее с единицы площади в единицу времени (Михайлов, 1991). Этот индикатор позволяет анализировать водность рек, что напрямую влияет на их хозяйственное использование, способность к самоочищению, а также транзитную возможность.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014), расход воды в реках Калининградской области получены по данным гидрологического моделирования (1955-2009 гг).

Формула расчёта:

$$FM = Q / a , \qquad (16)$$

где,

FM – модуль стока, л/с*км^2;

Q – средний расход воды, л/с

a – площадь водосборного бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

Значения расхода речного стока для рек Калининградской области получены путём проведения математического моделирования с использованием инструмента HYPE (Домнин, Соколов, 2014, Домнин, Чубаренко, 2011).

На модуль стока влияет множество факторов – количество осадков, испарение, глубина залегания подземных вод, рельеф, геологическое строение, а также хозяйственная деятельность. В Калининградской области модуль стока колеблется от 4.8 до 7.5 л/с*км^2. Наименьшие значения характерны для территорий Вислинской и Куршской кос. Также низкий модуль стока характерен для рек юга Куршского залива и бассейна р. Мамоновки (менее 6 л/с*км^2), ввиду того, что эта территория низинная и заболоченная. С другой стороны, низинная территория дельты р. Неман имеет высокий модуль стока (6.9 л/с*км^2) благодаря полноводности рек и развитой речной системе (Рисунок 3.33).

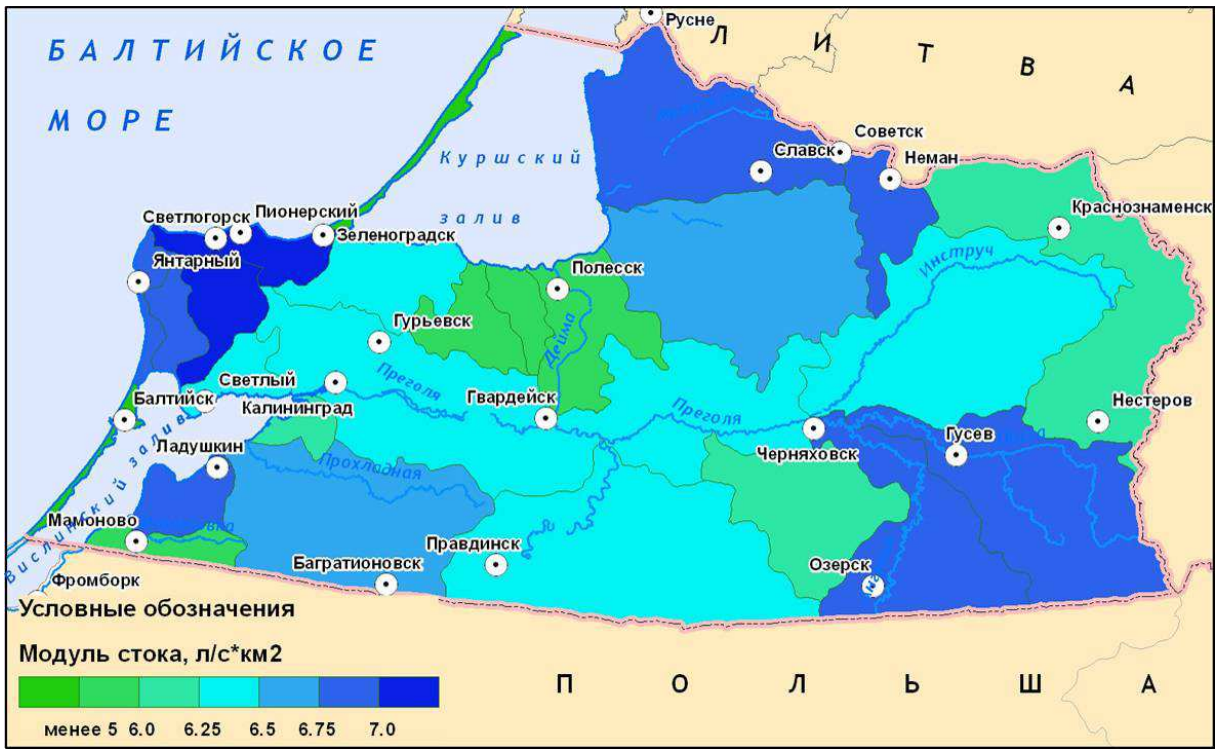

Рисунок 3.33 – Модуль стока водосборов рек Калининградской области

В среднем по области, модуль стока составляет 6.7 л/с*км^2 (подобно таким сибирским рекам как Лена и Енисей (Лазаревич)). Самый высокий показатель характеризует реки водосбора Балтийского моря (7.3 л/с*км^2) (Рисунок 3.34).

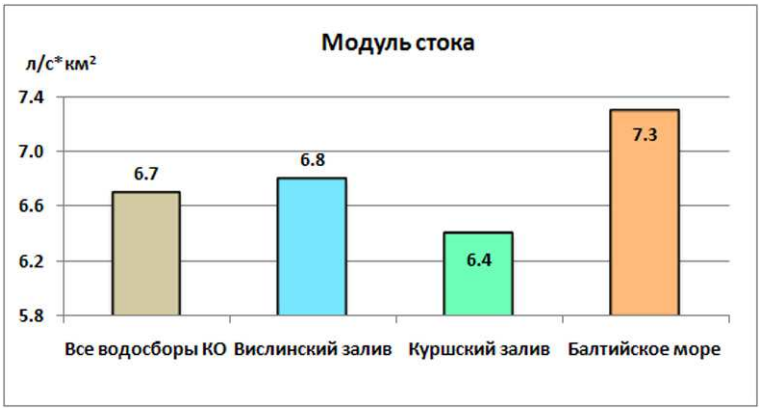

Рисунок 3.34 – Соотношение значений модуля стока в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Густота речной сети

Цель введения индикатора. Густота речной сети зависит от геологического строения и рельефа местности, общего увлажнения территории, растительного и

почвенного покрова, а также от антропогенной деятельности (в результате искусственного сооружения каналов) (Чеботарев, 1972). Существующая на территории речная сеть, с одной стороны, даёт возможность водопотребления, а, с другой – является естественной системой дренажа сточных вод. Индикатор характеризует протяженность речной сети в бассейне. Высокие значения в данном индикаторе свидетельствуют о лучшей способности территории к дренажу.

Источник информации: общегеографическая карта Калининградской области (Калин. обл., 2014).

Формула расчёта:

$$DD = \Sigma l / a \qquad (17)$$

где,

DD – густота речной сети, км/км^2;

Σl – сумма длин всех постоянных водотоков, в пределах суб-бассейна, км;

a – площадь суб-бассейна, км^2.

Оценка индикатора для водосборов Калининградской области.

В целом, Калининградская область обладает развитой гидрографической сетью. Среднее значение соотношения длин водотоков и площади территории составляет 1.8 км/км^2, что значительно выше чем среднее значение для лесной зоны России (оно составляет 0.6 км/км^2 (Чеботарев, 1972)). Её развитости способствуют наличие множества мелких водотоков, обилие осушительных каналов.

Наибольшие показатели густоты речной сети (более 2 км/км^2) свойственны низменным территориям юго-восточного побережья Куршского залива (Рисунок 3.35), где сеть достигает своего максимального развития благодаря множеству искусственных каналов польдерных земель. Постоянная сеть практически отсутствует на песчаных косах (показатель менее 0.5 км/км^2).

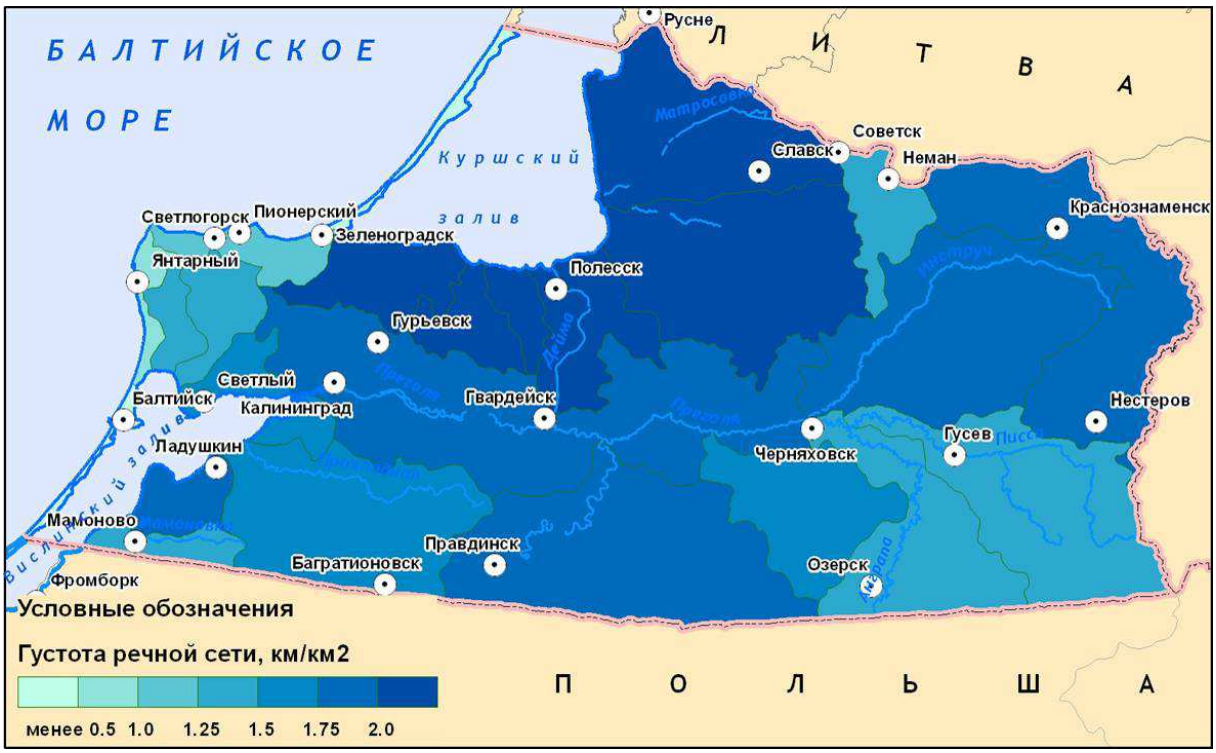

Рисунок 3.35 – Густота речной сети водосборов рек Калининградской области.

Главным образом, благодаря сети осушительных каналов значения показателя в водосборе Куршского залива на 25% выше по сравнению с водосборным бассейном Калининградского/Вислинского залива, и в 2 раза выше чем для рек Балтийского моря (Рисунок 3.36).

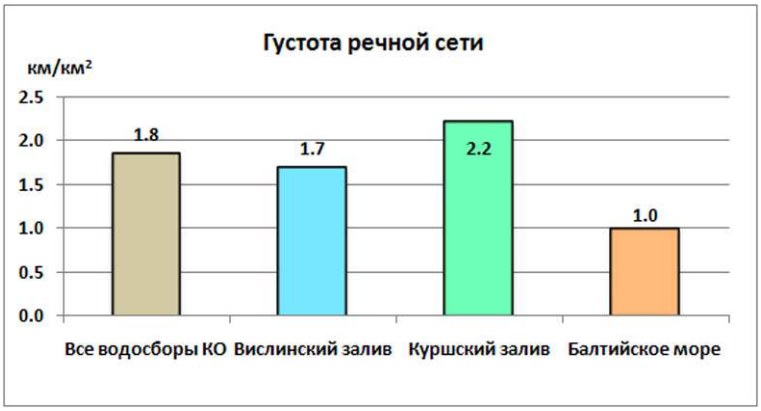

Рисунок 3.36 – Соотношение значений густоты речной сети в крупных водосборных бассейнах Калининградской области.

Основные выводы главы 3

В работе предложена система индикаторов, описывающих три основных процесса, определяющих транспорт биогенных элементов поверхностными водотоками по территории по направлению к Балтийскому морю – воздействие антропогенной нагрузки, способность территории к самоочищению и удержанию биогенных элементов (изъятие из транспорта), а также способность водосборной системы переносить растворённые и взвешенные в воде вещества и передавать их вниз по водосборному каскаду. Подобранные 15 индикаторов объединены в 3 группы и опираются на данные официальной статистики и сопряжены с индикаторами, используемыми в соседних государствах.

Пространственное распределение значений индикаторов, характеризующих антропогенную нагрузку на водосборные бассейны, показывает, что определенной закономерности в воздействии со стороны рассмотренной человеческой деятельности нет. Однако удельная антропогенная нагрузка на водосбор рек, напрямую впадающих в Балтийское море, выше, по сравнению с водосборами заливов.

Наилучшими показателями способности территории к самоочищению можно охарактеризовать водосборные территории дельты реки Немана, Вислинской и Куршской кос. Это свидетельствует о наличии высокой природной составляющей в данных районов и хорошей способности территории к самоочищению и удержанию биогенных элементов. В противоположность к этому, наиболее низкие характеристики свойственны для частного водосбора реки Тыльжи и водосборов рек прибрежной зоны Самбийского полуострова. В большинстве своём водосбор Куршского залива имеет самые высокие значения индикаторов этой группы.

Для индикаторов, характеризующих транзитную способность, высокие значения свойственны водосбору Калининградского/Вислинского залива. Значения транзитной способности выше среднего имеют частные водосборы рек Преголи, Лавы, Прохладной, Анграпы. Низкими показателями характеризуется территория прибрежной зоны Балтийского моря.

Хотя оценка водосборов Калининградской области по индикаторам и их группам показательны с точки зрения отдельных характеристик, она не позволяет

в силу большого числа частностей решить основную задачу районирования области. Следующей главе будет проведен анализ на основе агрегированных индексов, соответствующим веденным группам индикаторов.

ГЛАВА 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В предыдущей главе проведён анализ индикаторов, описывающих антропогенное воздействие, способность территории к самоочищению и её транзитную способность. По каждому индикатору было проведено сравнение между собой водосборов Калининградского/Вислинского, Куршского заливов и Балтийского моря. В настоящей главе будет проведено районирование Калининградской области на основании обобщения индикаторов в индексы, используя подходы пространственного и статистического анализа.

4.1. Отбор и подготовка данных

Нормировка данных и разброс значений

Индикаторы описываются параметрами разной размерности (км/км^2, %, м^3/с и т.д.). что не позволяет сравнивать их между собой и анализировать одновременно (Айвазян и др., 1989). Для совместной статистической обработки значения индикаторов были приведены к относительным величинам в диапазоне от 0 до 1, где «0» соответствует отсутствию признака, а «1» – его максимальному проявлению. В Таблице 4.1 представлены примеры нормировки абсолютных параметров к их относительным значениям.

Таблица 4.1 – Примеры нормировки абсолютных значений параметров индикаторов (жирным шрифтом выделены максимальные значения).

Водосборный бассейн	Доля природных территорий		Густота речной сети	
	Абсолютное значение, %	Нормированное значение, приведенное к 1	Абсолютное значение, км/км^2	Нормированное значение, приведенное к 1
Анграпа	23	0.25	1.3	0.47
Дейма	69	0.74	2.4	0.89
Дунайка	43	0.46	2.4	0.89
Голубая	31	0.33	1.6	0.59
Инструч	26	0.28	1.9	0.70
Калининградский отводной канал	66	0.7	1.6	0.59
Лава	61	0.65	1.8	0.68
Мамоновка	78	0.84	1.4	0.52
Мордовка	31	0.33	2.3	0.88
Нельма	41	0.44	1.5	0.55
дельта Немана	70	0.75	**2.6**	**1.00**
Немонин	50	0.54	2.5	0.95
Писса	33	0.35	1.4	0.54
Преголя	51	0.55	1.9	0.71
Приморская	35	0.38	1.4	0.54
Прохладная	61	0.66	1.7	0.65
Шешупе	55	0.59	1.8	0.68
Тыльжа	22	0.23	1.4	0.55
Куршская коса	**93**	**1.00**	0.4	0.14

Разброс значений, которые принимают индикаторы после обезразмеривания (Рисунок 4.1), таков, что наибольшее количество значений (112 значений) приходится на диапазон от 0 до 0.1, в то время как, на диапазон более 0.9 приходится в три раза меньше – 32 значения. Наиболее неравномерный разброс по диапазону значений (0,1) получился для индикаторов антропогенной нагрузки (72 значения), что говорит о том, что имеются водосборы с большой разницей в показателях степени нагрузки. Разброс значений индикаторов самоочищения и транзитной способности более равномерен.

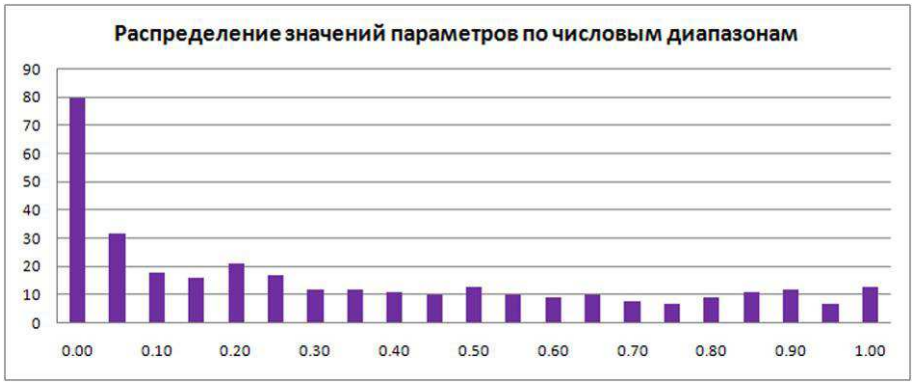

Рисунок 4.1 – Распределение нормированных значений параметров по числовым диапазонам.

Корреляционная зависимость между индикаторами

Теснота связи между индикаторами определялась путем оценки коэффициентов парной корреляции[5] между рядами их значений на множестве водосборов Калининградской области (Таблица 4.2). В большинстве случаев, степень корреляционной связи средняя и слабая, что означает, что предложенная система индикаторов разносторонне описывает водосборы.

Однако, получилось, что тесная корреляционная взаимосвязь (r>0.70) существует для двух групп параметров. Первая группа – это параметры из набора, описывающего биогенную нагрузку: «Нагрузка биогенных веществ от жизнедеятельности человека» – «Нагрузка биогенных веществ от деятельности животноводства» (*0.87*), «Нагрузка биогенных веществ от жизнедеятельности человека» –

[5] В статистике для определения взаимосвязи между явлениями используется ***корреляционная зависимость***, то есть «статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин, в которой изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин» (Общая теория, 2002). В том случае, если изменение одной случайной величины не ведёт к закономерному изменению другой, то между данными корреляционной взаимосвязи нет (Елисеева, 2002). Значение коэффициента корреляции (r) изменяется от 1 (абсолютная взаимосвязь) до -1 (абсолютная противоположная взаимосвязь), при коэффициенте равном 0, взаимосвязь отсутствует (Гмурман, 2004). Кроме того, определяется степень корреляционных связей, где сильная, или тесная связь существует при коэффициенте корреляции r>0.70; средняя при 0.50<r<0.69; умеренная при 0.30<r<0.49; слабая при 0.20<r<0.29; очень слабая при r<0.19 (Титкова, 2002).

«Сброс неочищенных сточных вод» (*0.95*), «Нагрузка биогенных веществ от деятельности животноводства» – «Сброс неочищенных сточных вод» (*0.93*). Вторая группа - это параметры из набора, описывающего условия самоочищения: «Площадь природных биотопов» – «ООПТ» (*0.75*), «Площадь природных биотопов» – «Лесистость» (*0.79*).

Таблица 4.2 – Корреляционная зависимость между индикаторами водосборных бассейнов рек Калининградской области (расшифровка буквенных индексов см. в Таблице 3.1).

	BU	PPNP	PANP	ORG	WD	Nbio	PA	FOR	BOG	LAC	AsS	TL	FW	DD	FM
BU		0.53	0.16	-0.15	0.31	-0.08	-0.28	-0.16	-0.20	0.11	-0.41	-0.28	0.01	-0.45	-0.36
PPNP			0.87	-0.19	0.95	0.13	-0.24	0.19	-0.05	0.00	-0.43	-0.21	0.04	-0.20	-0.17
PANP				-0.04	0.93	0.01	-0.36	0.08	0.00	0.09	-0.18	-0.09	-0.04	0.08	0.08
ORG					-0.02	-0.63	-0.36	-0.48	-0.14	-0.01	0.23	0.38	-0.36	0.12	0.49
WD						0.12	-0.25	0.20	-0.03	-0.01	-0.37	-0.17	-0.01	-0.13	-0.04
Nbio							0.75	0.83	0.31	-0.25	-0.47	-0.35	0.40	-0.17	-0.56
PA								0.79	0.32	-0.19	-0.35	0.06	0.21	-0.20	-0.47
FOR									0.16	-0.28	-0.52	-0.19	0.37	-0.35	-0.51
BOG										-0.10	-0.05	-0.07	-0.09	0.60	-0.01
LAC											-0.07	0.11	-0.18	-0.22	0.27
AsS												0.37	-0.05	0.56	0.20
TL													-0.18	0.16	0.15
FW														-0.19	-0.22
DD															0.36
FM															

Детальный взгляд на данные показал, что в рядах данных, относящихся к группе индикаторов антропогенной нагрузки, существует значительный разброс между самыми высокими и самыми низкими значениями, Максимумом характеризуются лишь три водосбора - бассейн Калининградского отводного канала, водосбор материковой части Вислинской косы и реки Тыльжи. Высокая степень корреляции возникает за счёт многократной разницы между максимумом и минимумом значений (Рисунок 4.2).

а) б) в)

Рисунок 4.2 – Корреляционная зависимость между рядами данных параметров PPNP и PANP (а), PPNP и PANP (б), PANP и WD (в) (расшифровка буквенных индексов см. в Таблице 3.1).

Повторный расчет, выполненный только для группы остальных водосборов (эти три водосбора были исключены) показал (Таблица 4.3), что высокая степень корреляции остается для пары параметров «Нагрузка биогенных веществ от жизнедеятельности человека» – «Сброс неочищенных сточных вод» (*0.87*) и сохраняется для перечисленных выше параметров, описывающих способность территории к самоочищению.

Таблица 4.3 – Корреляционная зависимость между индикаторами состояния водосборных бассейнов Калининградской области без учёта значений для водосборов Калининградского отводного канала, материковой части Вислинской косы и реки Тыльжи (расшифровка буквенных индексов см. в Таблице 3.1).

	BU	PPNP	PANP	ORG	WD	Nbio	PA	FOR	BOG	LAC	AsS	TL	FW	DD	FM
BU		0.30	0.13	-0.03	0.26	-0.12	-0.25	-0.11	-0.19	0.48	-0.28	-0.47	-0.04	-0.40	0.10
PPNP			-0.30	-0.13	0.87	0.17	0.22	0.25	0.09	0.26	-0.46	-0.29	0.28	-0.41	0.03
PANP				0.24	-0.23	-0.47	-0.57	-0.62	0.01	0.35	0.45	0.20	-0.13	0.47	0.29
ORG					-0.04	-0.73	-0.46	-0.50	-0.09	0.11	0.16	0.40	-0.35	0.17	0.53
WD						0.18	0.20	0.18	0.12	0.33	-0.51	-0.31	0.21	-0.37	0.07
Nbio							0.80	0.82	0.28	-0.30	-0.49	-0.33	0.37	-0.23	-0.64
PA								0.89	0.29	-0.23	-0.54	0.04	0.19	-0.32	-0.61
FOR									0.10	-0.34	-0.58	-0.15	0.36	-0.49	-0.66
BOG										-0.12	-0.09	-0.07	-0.11	0.59	-0.05
LAC											-0.08	0.13	-0.21	-0.26	0.32
AsS												0.32	-0.03	0.53	0.07
TL													-0.16	0.13	0.08
FW														-0.21	-0.20
DD															0.26
FM															

Рассмотрение параметров из набора индикаторов, описывающих способность территории к самоочищению, показало, что величины распределены равномерно и тесная взаимосвязь прослеживается для всего набора значений этих параметров (Рисунок 4.3).

а) б) в)

Рисунок 4.3 – Корреляционная зависимость между рядами данных параметров Nbio и PA (а), Nbio и FOR (б), PA и FOR (в) (расшифровка буквенных индексов см. в Таблице 3.1).

Согласно этим результатам из наборов, описывающих биогенную нагрузку и способность территории к самоочищению, были исключены по одному индикатору. В наборе антропогенной нагрузки более целесообразно оставить индикатор «Нагрузка биогенных веществ…», так как он содержит информацию и о бытовых стоках, и о биогенных веществах. Из набора, оценивающего способность территории к самоочищению, исключён индикатор «Природных... биотопов», так как в их долю включены леса и особоохраняемые природные территории, кроме того, в настоящий момент статус большинства этих территорий носит несколько формальный характер.

В итоге, в каждой группе будут учитываться по 4 индикатора (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Индикаторы, использованные для расчёта индексов.

Антропогенная нагрузка	Способность территории к самоочищению	Транзитная способность территории
1.1 Доля застроенных земель	2.3 Лесистость	3.1 Время добегания вод
1.2 Нагрузка биогенных веществ в результате естественной жизнедеятельности населения	2.4 Заболоченность	3.2 Проницаемость
1.3 Нагрузка биогенных веществ в результате деятельности животноводства	2.5 Озёрность	3.3 Модуль стока
1.4 Внесение минеральных и органических удобрений	2.6 Способность к самоочищению в зависимости от дренирующих свойств почв	3.4 Густота речной сети

Индексы

Бальный метод оценки территории с использованием комплекса параметров является распространённым подходом (Дмитриев, 1999, 2001, Макаров и др., 2002, Чумаченко, 1997, 2001).

Для генерализации информации на более высоком уровне каждому набору индикаторов, описывающих биогенную нагрузку, способность территории к самоочищению (или удержанию биогенов) и транзитную способность территории водосбора, был поставлен в соответствие агрегированный индекс. Методика расчёта трех агрегированных индексов (антропогенного воздействия, способности территории к самоочищению и транзитной способности) для каждого водосбора основывается на балльном методе (Дмитриев, 2001, Макаров и др., 2002), который заключается в вычислении арифметиче-

ской суммы значений безразмерных параметров индикаторов, входящих в индекс. В итоге, каждому водосборному бассейну присваивается абсолютное значение агрегированного индекса в диапазоне от 0 до 4. В Таблице 4.5 приведены значения этих агрегированных индексов.

Агрегированные индексы для крупных водосборных бассейнов Калининградского/Вислинского и Куршского заливов, а также Балтийского моря, являются не средними или суммированными значениями индексов каждого из составляющих их водосборов, а были вычислены, как сумма значений индикаторов, нормированных на максимум, для самих крупных водосборов (Домнин, 2015).

Таблица 4.5. Значения индексов для водосборных бассейнов рек Калининградской области (минимальные и максимальные значения подчёркнуты).

Название главной реки суббассейна/водосбора	Антропогенная нагрузка	Способность территории к самоочищению	Транзитная способность
Анграпа	1.98	1.50	2.30
Голубая	1.48	1.50	2.43
Инструч	0.63	1.44	2.87
Калининградский отводной канал	1.51	1.66	1.93
Лава	1.74	1.50	2.85
Мамоновка	0.16	1.45	1.59
Нельма	0.39	1.26	1.89
Прохладная	0.51	1.35	2.29
Приморская	0.37	1.10	1.72
Преголя	0.84	1.94	2.55
Писса	1.61	2.16	2.69
Бассейны прочих малых рек Вислинского залива	0.82	1.76	1.92
Полуостровная часть Вислинской косы	0.24	1.46	1.34
Материковая часть Вислинской косы	1.58	0.92	1.33
Водосбор Калининградского/Вислинского залива	**2.58**	**2.50**	**3.69**
Дейма	0.69	2.53	2.06
Дунайка	0.7	1.54	2.09
Мордовка	0.68	1.44	1.91
дельта реки Неман	0.84	2.16	2.56
Немонин	0.75	1.74	2.56
Шешупе	0.67	1.58	2.54
Тыльжа	0.71	1.04	2.14
Бассейны прочих малых рек Куршского залива	0.72	1.33	2.33
Куршская коса	0.14	1.80	1.70
Водосбор Куршского залива	**1.56**	**3.06**	**3.34**
Бассейны рек западного побережья Самбийского полуострова	0.39	1.83	1.56
Бассейны рек северного побережья Самбийского полуострова	0.67	1.39	1.91
Водосбор Балтийского моря	**2.38**	**2.11**	**2.09**

Для крупных водосборных бассейнов Калининградской области характерно разное соотношение значений агрегированных индексов. Наибольший индекс антропогенной нагрузки (равный 2.6) свойственен водосбору Калининградского/Вислинского залива. Водосборная территория Куршского залива имеет самый высокий индекс способности территории к самоочищению (равный 3.1), а самая

высокий индекс транзитной способности (равный 3.7) характерен для водосборного бассейна Калининградского/Вислинского залива (Рисунок 4.4).

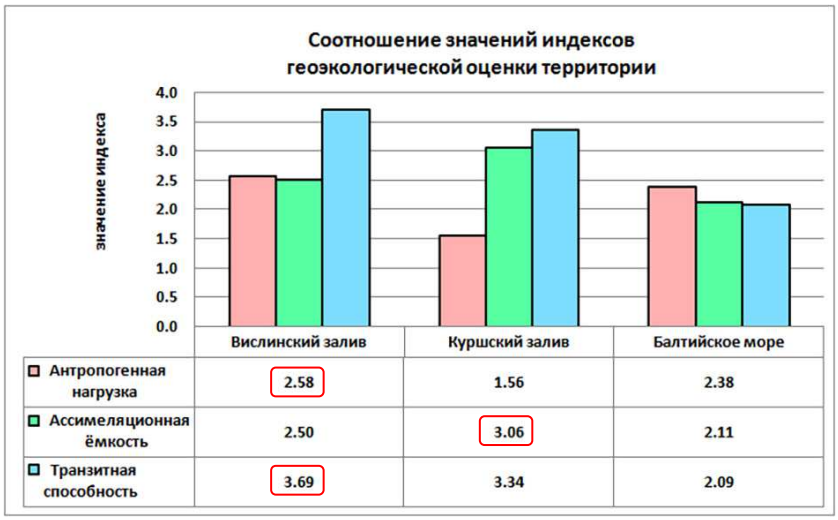

Рисунок 4.4 – Соотношение значений индексов для водосборных бассейнов Калининградской области (рамкой выделены максимальные значения).

4.2. Районирование водосборных бассейнов по индексам

Согласно (Евдокимов, 2001), районирование заключается в «объединении территорий или акваторий, обладающих относительным сходством по какому-либо признаку (или ряду признаков), и отделение их от территорий, этим признаком не обладающих». Выделить районы можно двумя способами: при помощи типологического и регионального районирования. В первом случае классификация типов местности происходит путём соединения в один тип однородные по качеству территории, независимо от их взаимного местоположения. Во втором – объединению в регионы подлежат только смежные местности, причём, главное значение имеет территориальная целостность, а не внутреннее качество составных ареалов. И в этом случае, внутрь единых территорий могут попадать участки с отличающимися от всего района свойствами (Исаченко, 1991, Федина, 1981). Результатом районирования является сеть районов, которая отражает объективную иерархичность пространственных систем (Прокаев, 1983, Евдокимов, 2001).

Для территории водосборных бассейнов Калининградской области по данным агрегированных индексов антропогенной нагрузки, способности территории к самоочищению и транзитной способности проведено районирование, основанное на типологическом и региональном методах.

На первом этапе водосборные бассейны были разделены на группы по схожим диапазонам значений (типологические районы), на втором – эти районы были объединены в единые ареалы (региональное районирование), представляющие таксономические единицы более высокого порядка.

По индексу антропогенного воздействия на территории Калининградской области было выделено два крупных района, которые подразделены на подрайоны. Район А-1 имеет наибольшие значения индекса (более 1) и включает практически все крупные водосборы рек Калининградского/Вислинского залива. Внутри него самое высокое антропогенное воздействие отмечено для суб-бассейнов Калининградского отводного канала (1.5), рек Лавы (0.7), Анграпы (2.0), Писсы (1.6). В район А-2 включена дельта реки Неман (индекс 0.8). Район Б имеет более низкую степень антропогенной нагрузки – индекс не превышает значения 0.75. Район разделён на два подрайона. Подрайон Б-1 вытянут в субширотном направлении от Самбийского полуострова до восточной границы Калининградской области. Подрайон Б-2 образован водосборами рек, восточного побережья Вислинского залива. Самая минимальная антропогенная нагрузка оказывается на песчаные косы и на суб-бассейн реки Мамоновки (индекс антропогенного воздействия менее 0.25) (Рисунок 4.5).

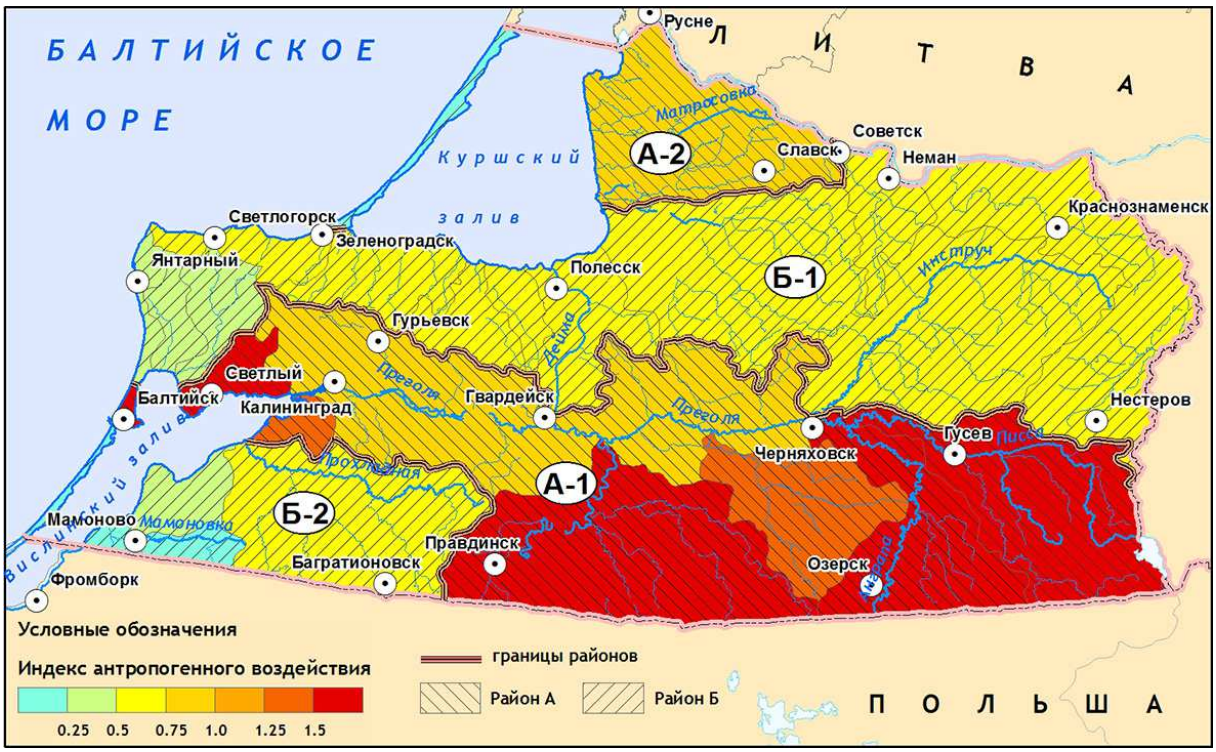

Рисунок 4.5 – Пространственное распределение значений индекса антропогенного воздействия на водосборы рек Калининградской области (Домнин, 2015).

По индексу способности территории к самоочищению выделено три района. Район А разделён на два подрайона, примыкающих к заливам. Водосборные бассейны этого района характеризуются наибольшей способностью к самоочищению, для которых значения индекса превышает 2. Район Б занимает большую часть Калининградской области, и может быть охарактеризован значениями индекса от 1.5 до 2 единиц. Наименьшими же значениями индекса способности к самоочищению (менее 1.5) обладают водосборные территории Самбийского полуострова и южного побережья Куршского залива (Рисунок 4.6) – район В.

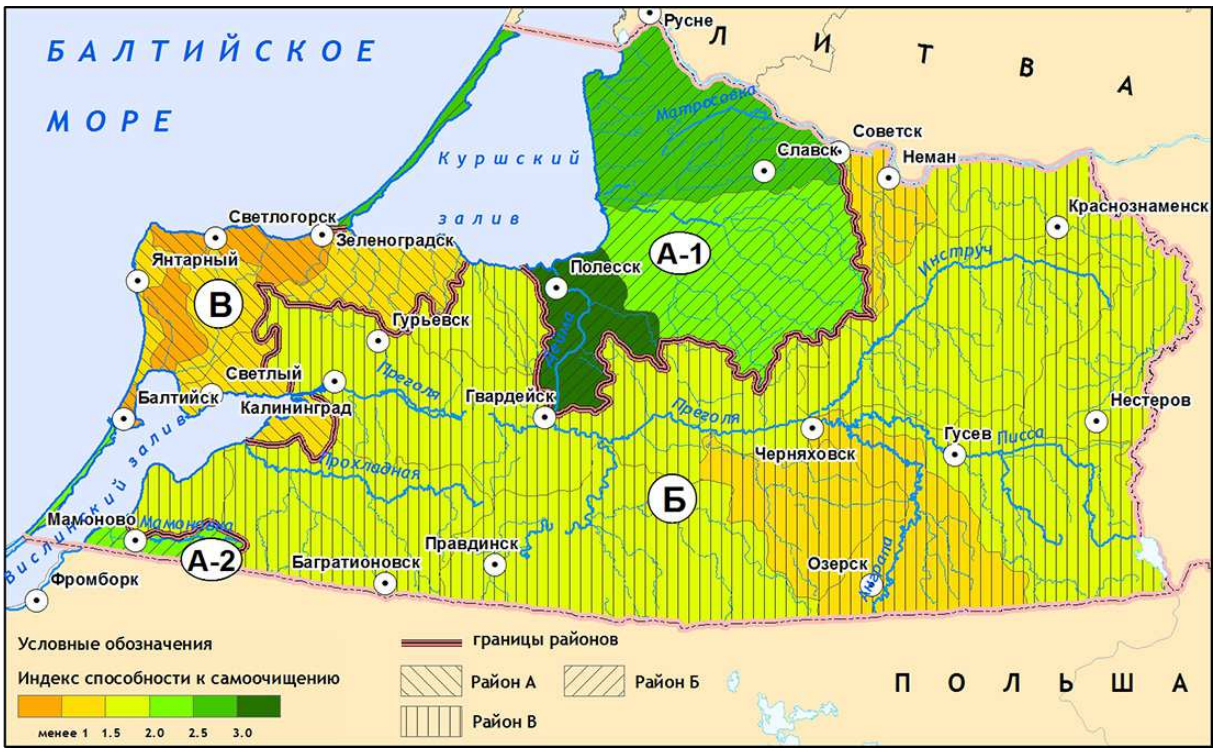

Рисунок 4.6 – Пространственное распределение значений индексов способности территории к самоочищению для водосборов рек Калининградской области (Домнин, 2015).

По индексу транзитной способности территории Калининградскую область можно разделить на два района: с относительно высокими (район А) и относительно низкими (район Б) значениями. Район А, занимает большую территорию области, которая расположена к востоку от Б, и характеризуется средним значением индекса равным 2.3. Наибольший индекс транзитной способности (около 2.9) характерен для водосборных бассейнов рек Лавы и Инструча. К району Б (среднее значение агрегированного индекса составляет 1.9) относятся водосборы прибрежной зоны моря и заливов, среди которых особенно выделяются песчаные косы и бассейны западного побережья Самбийского полуострова (индекс менее 1.5). (Рисунок 4.7).

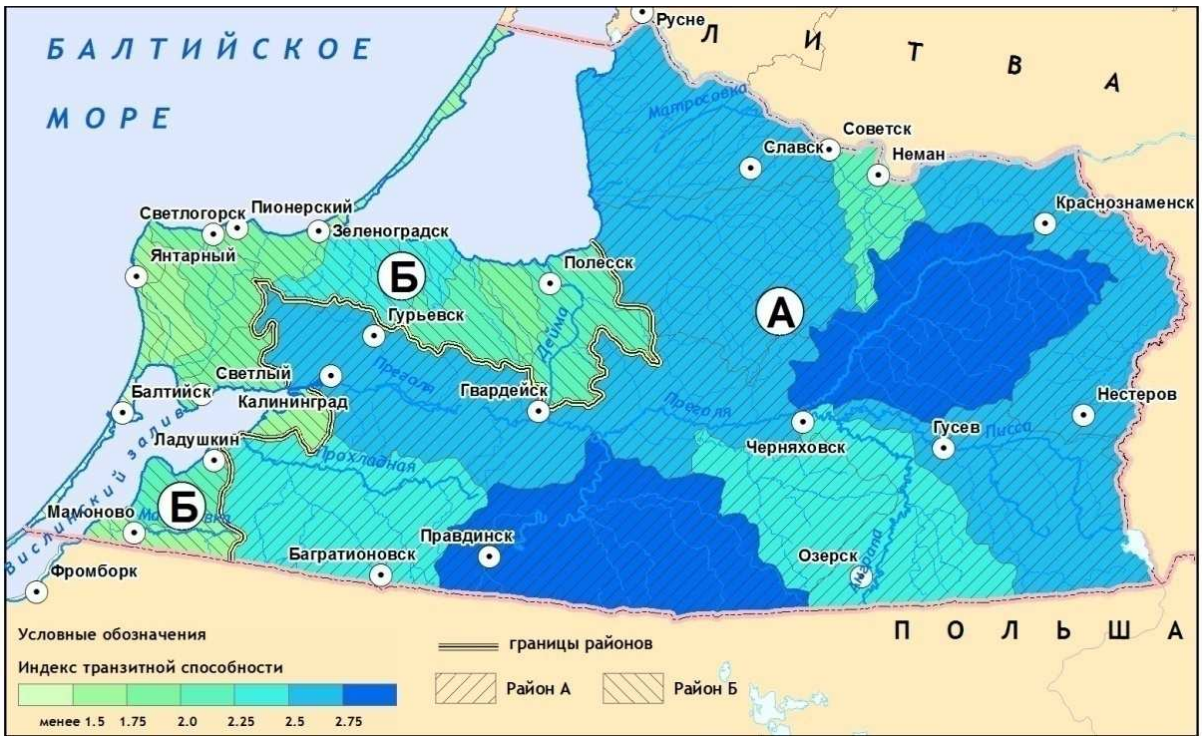

Рисунок 4.7 – Пространственное распределение значений индексов транзитной способности территорий водосборов рек Калининградской области (Домнин, 2015).

4.3. Верификация результатов анализа индикаторной оценки

Для Для верификации значений индексов, полученных в процессе комплексной индикаторной оценки, проведено сравнение этих значений с результатами численного моделирования (Domnin, 2010, Domnin et al., 2016, Hessea, et al., 2015). Модельные расчеты были проведены для поступления, удержания и выноса биогенов отдельными водосборными бассейнами рек Калининградской области - водосборами рек Мамоновки, Приморской и Инструч, которые полностью лежат в пределах Калининградской области, а, соответственно обеспечены набором сравнимых данных.

Основываясь на представлении, что количество биогенов, поступающих с территории водосборного бассейна, напрямую зависит от антропогенной нагрузки в пределах территории этого бассейна, было проведено сравнение - одинаково

или нет изучаемые три водосбора «выстраиваются» в триаду согласно этим характеристикам. Интегрированный показатель антропогенной нагрузки выражен в соответствующем индексе. Биогенный сток (тонн в год), поступающий с отдельных водосборных территорий, приведён к удельным значениям площади водосборов. То есть, рассчитанная в модели биогенный вынос выражен в виде: тонн в год с км^2.

С другой стороны, количество удержанных биогенов в водосборном бассейне должно напрямую зависеть от способности территории к самоочищению (выраженному в соответствующем индексе). Удержание биогенов, рассчитанное при моделировании, выражено в %.

Соотношения между характеристиками биогенного стока, удержания и параметрами антропогенной нагрузки и самоочищения для частных водосборных бассейнов рек Мамоновки, Приморской и Инструч отражены в Таблице 4.6. Диаграммы зависимости рассчитанной в модели биогенной нагрузки от индекса антропогенной нагрузки, и зависимости рассчитанного в модели удержания биогенов от индекса самоочищения представлены на Рисунке 4.8.

Таблица 4.6 – Характеристики биогенного стока, удержания и параметры индексов для водосборных бассейнов рек Мамоновки, Приморской и Инструч.

Водосборный бассейн	Рассчитанная биогенная нагрузка ($N_{общ}$ +$P_{общ}$), т/год/км^2	Индекс антропогенной нагрузки	Рассчитанное удержание биогенов (среднее для $N_{общ}$ и $P_{общ}$), %	Индекс самоочищения
Мамоновка (российская часть)	0.36	0.82	16	1.69
Приморская	0.41	0.88	5	1.51
Инструч	0.31	0.75	18	1.73

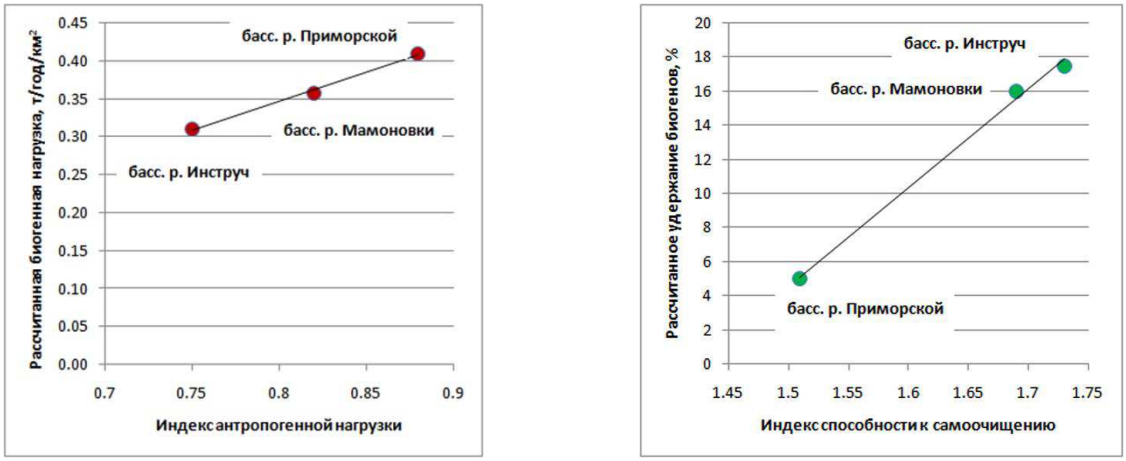

Рисунок 4.8 – Зависимость рассчитанной биогенной нагрузки от индекса антропогенной нагрузки (а) и удержание биогенов от индекса самоочищения (б).

Анализируя диаграммы зависимостей, отмечено, что существует устойчивая прямая взаимосвязь (корреляция стремится к 1) между индексами комплексной оценки современного состояния водосборов Калининградской области (основанной на индикаторном подходе) и результатами численного моделирования, отражающими реакцию природной среды на существующее и возможное поступление биогенных веществ. Районирование водосборных бассейнов этих рек по стоку биогенов и их удержанию полностью подтвердило районирование по индексу антропогенной нагрузки и способности территории к самоочищению соответственно.

4.4. Районирование водосборных бассейнов на основании кластерного анализа

Районирование территории Калининградской области с использованием агрегированных индексов дало возможность взглянуть на процесс транспорта биогенов с точки зрения трех основных процессов, которые определяют этот транспорт. Для пространственного интегрирования информации на еще более высоком уровне и решения задачи качественного районирования территории Калининград-

ской области на единой интегральной основе. Для этого в работе был проведен анализ схожести отдельных вводосборов по всему набору характеристик на основе кластерного анализа[6] с использованием использовано приложения Statistica (версия 7.0).

Иерархическая кластеризация

По методу иерархической кластеризации по всему набору данных водосборные бассейны могут быть сгруппированы в четыре кластера (Рисунок 4.8). Степень взаимосвязи между объектами в кластере определяется эвклидовым расстоянием[7], которое используется для установления сходства и различия объектами классификации (Мера расстояния).

Расстояние взаимосвязи, используемое для формирования кластеров, колеблется в диапазоне 0.6-1.3. Согласно статистическим руководствам (Боровиков, 2000, Электронный учебник), чем значение расстояния взаимосвязи меньше, тем более надёжным является процесс кластеризации. Таким образом, водосборные бассейны входящие в кластер ***B4***, имеют самую слабую связь для объединения и могут быть подразделены на две группы: С1 и С2 (Рисунок 4.8).

---

[6] Согласно (Мандель, 1988), под кластерным анализом понимается «многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры)». В итоге, каждый полученный кластер характеризуется набором общих свойств. Кластеризация проводится на основе безразмерных данных в два этапа. Первый этап заключается в *иерархической кластеризации*, то есть пошагового разбиения выборки данных на отдельные группы. В процессе второго этапа, зная общее количество возможных кластеров, выполняется классификация по *методу k-средних*, в результате которой происходит проверка первого метода кластеризации и определяются свойства, описывающие выборки, вошедшие в каждый их кластеров (Боровиков, 2000).

[7] Так, если «каждый объект описывается *i* свойствами (признаками), то он может быть представлен как точка в *i-мерном* пространстве, и сходство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние» (Курс…, 2002). Эвклидово число наиболее часто используемая в статистике мера расстояния, которая является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве (Электронный учебник).

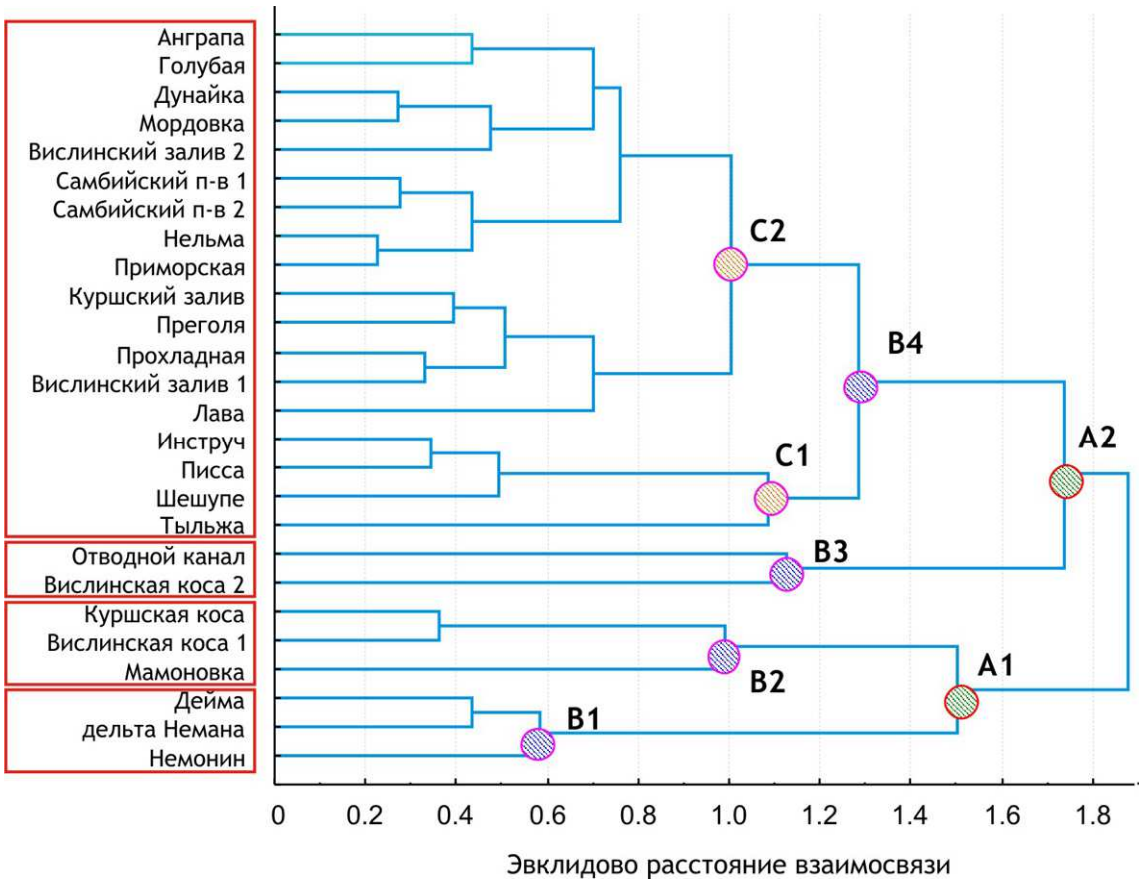

Рисунок 4.8 – Выделение кластеров иерархическим методом.

Метод k-средних

Для обеспечения надёжности процесса объединения в группы проведен кластерный анализ методом k-средних.

В процессе кластеризации данным методом происходит минимизация суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от центров этих кластеров. В отличие от предыдущего метода, где количество кластеров выделено визуально после иерархической группировки, то для метода k-средних заранее задаётся определённое количество кластеров. Основываясь на результатах иерархического метода, в кластеризации k-средних задано 4 кластера (Таблица 4.6).

В данном методе существует возможность выбора дополнительных условий кластеризации: 1 – выбрать переменные, с максимальными начальными межкластерными расстояниями; 2 – отсортировать расстояния и отобрать переменные по постоянным интервалам; 3 – отобрать количество переменных, равное количеству

кластеров. Таким образом, процесс кластеризации был проведен 4 методами и его результаты сведены в единую Таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Разбиение водосборных бассейнов рек Калининградской области по кластерам.

Бассейн реки	Иерахич. кластер.	Кластер. k-сред. 1	Кластер. k-сред. 2	Кластер. k-сред. 3	**Результ. кластер**
Анграпа	3	1	1	1	**1**
Самбийский п-в 1	3	3	3	3	**3**
Самбийский п-в 2	3	3	3	3	**3**
Куршский залив	3	3	1	3	**3**
Куршская коса	2	2	2	2	**2**
Дейма	4	4	4	4	**4**
Дунайка	3	3	1	3	**3**
Голубая	3	3	1	3	**3**
Инструч	3	1	1	1	**1**
Отводной канал	1	3	3	3	**5**
Лава	3	3	1	4	**3**
Мамоновка	2	3	3	4	**3**
Мордовка	3	3	1	3	**3**
Нельма	3	3	3	3	**3**
дельта р. Неман	4	4	4	4	**4**
Немонин	4	4	4	4	**4**
Писса	3	1	1	1	**1**
Преголя	3	3	1	4	**3**
Приморская	3	3	3	3	**3**
Прохладная	3	3	1	4	**3**
Шешупе	3	1	1	1	**1**
Тыльжа	3	1	1	1	**1**
Вислинский залив 1	3	3	3	4	**3**
Вислинский залив 2	3	3	3	3	**3**
Вислинская коса 1	2	2	2	2	**2**
Вислинская коса 2	1	3	3	3	**5**

Водосборы, сгруппированные в 4 кластера, при смене метода не всегда остаются в одном кластере, а могут «перемещаться» в другие. Поэтому пришлось взглянуть на полученные кластеры с точки зрения – какие же индикаторы являются основой их объединения в кластеры? Выяснилось, что хотя по количественным параметрам районы группы 3 объединяются в один кластер, необходимо и выделения из него районов с очень высоким антропогенным воздействием в пятый кластер (Рисунок 4.9).

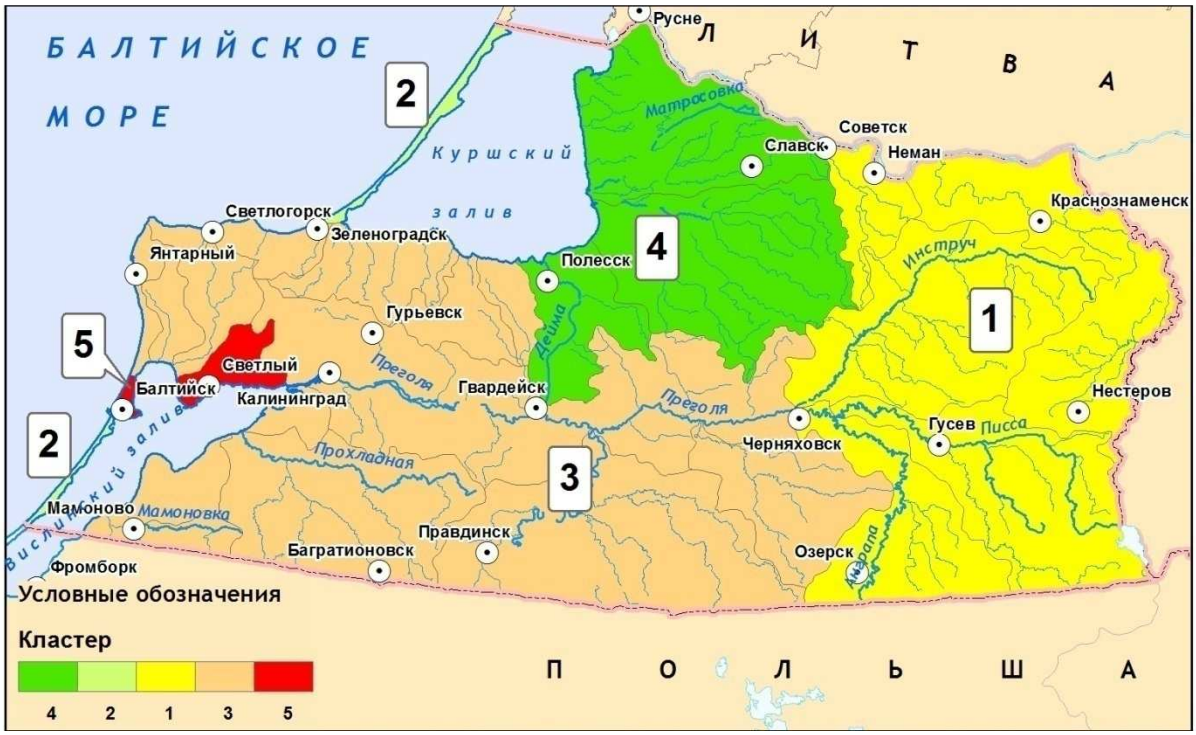

Рисунок 4.9 – Водосборные бассейны рек Калининградской области, объединенные в районы по результатам применения кластерного анализа

Каждый кластер характеризуется средними арифметическими значениями величин индикаторов, которые его образуют (Рисунок 4.10).

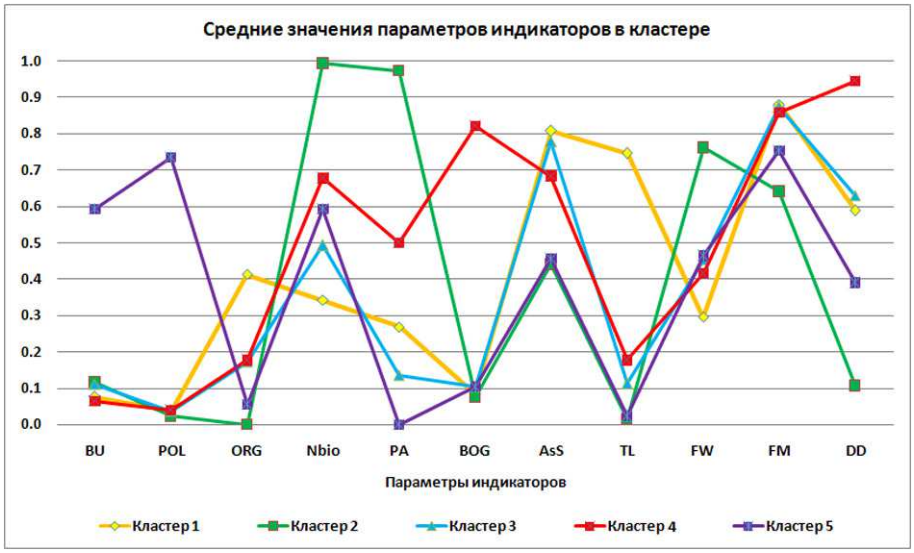

Рисунок 4.10 – Средние арифметические значения индикаторов (расшифровка буквенных индексов см. в Таблице 3.1)

Кластер 1. Включает в себя 5 бассейнов, занимающие всю восточную часть Калининградской области рек Тыльжи, Шешупе, Инструча, Писсы и Анграпы. Для данной территории свойственно самое высокое значение вносимых на поля удобрений, лучшая среди всех бассейнов самоочищающая способность почв, а также длительное время добегания вод до принимающих водоёмов (параметр в 4 раза выше по сравнению со средними его значениями в других кластерах). С другой стороны, кластер характеризуется наименьшим количеством территорий, занятых природными биотопами, малым количеством болот, а также самой низкой степенью проницаемости.

В **кластер 2** не образует единой территории, и в него входят Куршская и Вислинская косы. Эти территории включают наибольшее количество природных биотопов, здесь наблюдается самая низкая антропогенная нагрузка, им свойственна самая высокая проницаемость территории. Однако все другие индикаторы, описывающие транзитную способность (время добегания, модуль стока и густота речной сети), имеют низкие значения, что является результатом отсутствия выраженной речной сети.

Кластер 3. Занимает большую часть Калининградской области, с входящими в него 16 бассейнами, расположенными на юге и западе региона. Фактически для всех индикаторов средние значения не выделяются абсолютными максимумами или минимумами. Однако здесь не высока как антропогенная нагрузка, так и способность территории к самоочищению (за исключением самоочищающей способности почв, являющейся одной из самых высоких среди рассмотренных районов), но индикаторы транзитной способности отличаются показателями выше средних.

Кластер 4 включает бассейны дельты реки Немана, Немонина и Деймы, впадающие в Куршский залив с юго-востока. Сильная заболоченность территории данного района ограничивает здесь застройку и численность населения, но с учётом внесения удобрений, сельское хозяйство является значимым сектором. Способность территории к самоочищению для этих бассейнов является самой высокой в области. Транзитная способность отличается значительным модулем стока и густотой речной сети, что объясняется наличием развитой системы отводных ка-

налов. Однако близкое положение к принимающему водосбору требует особых мер при учёте малого времени добегания вод.

Кластер 5. Включает в себя бассейны Калининградского отводного канала и материковой части Вислинской косы. Эти территории отличаются самыми высокими значениями индикаторов застроенности территории и сброса биогенных элементов со стороны коммунального хозяйства, что является причиной воздействия городов Калининграда и Балтийска. Территория характеризуется низкими значениями самочищающей способности почв. Малоразвита дренажная сеть, низкий модуль стока, а близкое положение относительно принимающего залива объясняет малое время добегания вод.

Основные выводы главы 4

Предложена методика для геоэкологического районирования территории водосборных бассейнов Калининградской области, основанная на индикаторном подходе. Методика включает математико-статистический расчёт индексов антропогенной нагрузки, способности территории к самоочищению и транзитной способности территорий, а также разделение по кластерам на основании всего набора индикаторов.

Проведённая между индикаторами корреляция показала отсутствие взаимосвязи, что подтверждает разносторонний подход к формированию системы в целом. Однако, для двух пар индикаторов корреляция оказалась высокой, что потребовало исключить по одному из индикатору из каждой пары.

Наибольший индекс антропогенной нагрузки свойственен водосбору Балтийского моря, самый высокий индекс способности территории к самоочищению имеет водосбор Куршского залива, а самая лучшая транзитная способность характерна для водосборного бассейна Калининградского/Вислинского залива.

Разброс значений между бассейнами по индексу антропогенного воздействия колеблется от 0.1 до 1.5, в соответствии с чем, на территории Калининградской области выделено три района. Район А (среднее значение индекса 0.7) занимает Самбийский полуостров, юго-западное побережье Куршского залива и северо-восток Калининградской области. В центральной части области расположен район Б, среднее значение индекса 0.3. Район В занимает песчаные косы, дельту

р. Немана частные водосборы рек Мамоновки и Прохладной, индекс антропогенного воздействия менее 0.2.

По индексу способности территории к самоочищению, с разбросом значений 0.9-3.1, выделено три района. Район А включает бассейны рек Самбийского полуострова и юго-запада Куршского залива, среднее значение индекса 1.2. Район Б, со средним индексом 2.5, охватывает водосборы юго-восточного побережья Куршского залива, р. Мамоновки, а также Вислинскую и Куршскую косы. Район В (среднее значение для района 1.6) занимает всю большую оставшуюся часть области.

По индексу транзитной способности территории Калининградскую область можно разделить на два района: район А включает все мелкие реки прибрежной зоны моря и заливов с относительно низкими (1.8) значениями; район Б (вся остальная часть области) с относительно высокими (2.5) значениями индекса.

По всему набору индикаторов выполнен кластерный анализ, согласно которому водосборные бассейны объединены в 5 кластеров: восток Калининградской области (1), песчаные косы (2), юго-запад Калининградской области (3), юго-восток Куршского залива (4), кластер максимальной антропогенной нагрузки (5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное диссертационное исследование позволило достигнуть поставленной автором цели, заключающейся в сравнительной геоэкологической оценке современного состояния и районирования водосборных бассейнов Калининградской области на основе системы индикаторов антропогенного воздействия и способности территории к самоочищению.

Наиболее принципиальные обобщения и выводы сформулированы в следующем виде.

1. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта геоэкологической оценки состояния территорий разработана и система из 15 индикаторов, опирающаяся на данные официальной статистики РФ и сопряжённая с системами индикаторов, используемыми в России и странах ЕС. Индикаторы объединены в 3 индекса - антропогенного воздействия, способности территории к самоочищению и транзиту биогенных веществ.

2. Полученное автором в работе бассейново-административное деление водосборов в пределах Калининградской области иллюстрирует существующую ситуацию несовпадения их границ и многовариантное пересечение площадей единиц природного (водосборы) и административного (муниципалитеты) деления территории Калининградской области. Ни одна из границ между административными образованиями не была проведена строго в соответствии с бассейновым принципом. Любой из речных бассейнов в пределах Калининградской области принадлежит не менее чем к 2 административным образованиям, а максимальное число административных единиц в границах одного речного бассейна может доходить до 14. В то же время любая административная единица включает от 1 до 8 частей разных речных бассейнов. Это деление является основой для пересчета статистических данных, собираемых на уровне муниципальных образований, на уровень частных водосборов рек Калининградской области.

3. Сформирована геоинформационная система для водосборных бассейнов Калининградской области, включающая исходную физико-географическую и социально-экономическую информацию (временной охват 2001-2015) и удельные

характеристики антропогенного воздействия, способности территории к самоочищению и транзитной способности в пересчёте на единицу площади водосбора.

4. Введение количественных индексов (антропогенного воздействия, способности территории к самоочищению и транзиту биогенных веществ) и их нормировка обеспечили возможность сравнения отдельных групп частных водосборов в пределах территории Калининградской области. По индексу антропогенной нагрузки водосборы рек, впадающих в Вислинский залив и непосредственно в Балтийское море, схожи, индекс нагрузки для них в 1.5 раза превосходит аналогичный для водосборов рек Куршского залива. Водосборы рек, впадающих в Куршский залив, обладают самой большой способностью к самоочищению (значение соответствующего индекса на треть больше, чем для водосборов Балтийского моря и Вислинского залива). Водосборы рек, падающих в Балтийское море, обладают более низкой транзитной способностью, в сравнении с водосборами рек, падающих в заливы (значение соответствующего индекса в 1.6 и 1.8 раз ниже, чем для Куршского и Вислинского заливов). Исходя из того, что наибольшая степень антропогенной нагрузки приходится на водосборы рек Вислинского залива, где проживает подавляющее большинство населения Калининградской области, а степень самоочищения вод не высока, именно для них должны быть разработаны организационные меры по снижению биогенной нагрузки.

5. Разработанная автором методика геоэкологического районирования, позволила дифференцировать территорию Калининградской области и получить набор интегрированных карт распределения значений соответствующих индексов. По индексу антропогенной нагрузки (условное значение изменяется от 0.1 до 2, значение увеличивается в сторону большей нагрузки) территория области делится на 2 зоны, по индексу способности территории к самоочищению (условное значение изменяется в пределах 0.9-2.5, увеличение соответствует большему очищению) статистически достоверно выделено 3 зоны, а по индексу транзитной способности область разделена на 2 зоны − с низкими (средне − 1.9) и высокими (среднее − 2.3) значениями.

6. Методика районирования суб-бассейнов по индексу антропогенной нагрузки и способности территории к самоочищению была успешно верифицирована на результатах районирования суб-бассейнов по выносу биогенов и их удержа-

нию, выполненных в ходе численного моделирования стока биогенных элементов с частных водосборов рек Мамоновки, Приморской и Инструч.

7. Интегральное рассмотрение всех индексов одновременно и результаты кластерного анализа позволили выделить на территории Калининградской области 5 районов: «неблагополучный» район (1.2% территории), с существенным антропогенным воздействием, слабой способностью к самоочищению и транзиту, требующий незамедлительного снижения нагрузки; «благополучный» район (18% территории), подвергающийся слабой нагрузке; три «переходных» района, (81% территории), для которых интегральное состояние по характеристикам антропогенной нагрузки и способности к самоочищению находятся на среднем уровне, и которые при принятии мер по снижению нагрузки могут перейти в категорию «благополучных».

В перспективе возможно развитие проведённого исследования, которое может охватывать не только Калининградскую область, но и сопредельные территории, где расположены трансграничные водосборы. Кроме того, в случае проведения модельной оценки для других водосборных бассейнов, имеет смысл провести сравнение результатов моделирования с результатами оценки по методике индикаторного подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрономический портал. Основы сельского хозяйства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://agronomiy.ru/ (дата обращения: 03.11.2015)
2. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
3. Александров С.В., Горбунова Ю.А. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголя // Вода: химия и экология. 2010. №1. С.4-8.
4. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/ thesaurus/09_tes.html (дата обращения 03.12.2015)
5. Белов Н.С. Геоэкологическая ситуация в речных бассейнах Калининградской области // Природообустройство. 2011. №3. С. 73-79.
6. Белов Н.С. Оценка геоэкологической ситуации в речных бассейнах Калининградской области с применением геоинформационных технологий. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук, спец. 25.00.36. Геоэкология. Калининград, 2011. 20 с.
7. Богословский Б.Б. Озероведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. 333 с.
8. Боровиков В.П. Популярное введение в программу Statistica. М.: Statatistica, 2000. 269 с.
9. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 304 с.
10. Великанов Н.Л., Проскурнин Е.Д. Калининградская область: Особенности использования водных ресурсов. Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2003. 128 с.: ил.
11. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. Москва: ГЕОС, 1998. 418 с.
12. Водный кодекс Российской Федерации. Принят Государственной Думой 12.04.2006. Одобрен Советом Федерации 26.05.2006.

13. Гальдер Ян, Хофер Томас, Вермонт Сибиль. Новое понимание взаимосвязи между лесами и водой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://hiplovuet.ru/ (дата обращения 03.12.2015).
14. Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ, ЦНИТ, 2002. 276 с.
15. Гидрологический ежегодник, Том 1, Выпуск 4-6, 1955 г. / под ред. И.Н. Моисеева, Л: Гидрометеоиздат, 1959. 634 с.
16. Гидрология: Учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. 2-е изд. испр. М.: Высш. шк., 2007. 463 с.: ил.
17. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 1. Балтийское море. Выпуск 3. Куршский и Вислинский заливы. / Под ред. Ф.С. Терзиева, Л: Гидрометеоиздат, 1985. 72 с.
18. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н.Н. Лазаренко, А. Маевского. Л: Гидрометеоиздат, 1971. 279 с.
19. Глёза И.Л., Белов Н.С., Домнин Д.А., Шаплыгина Т.В., Гриценко В.А. Геоинформационная система «Калининградская область» как интегрирующая среда результатов комплексного изучения прибрежных процессов / Основные концепции современного берегопользования. - Монография. СПб.: РГГМУ, 2012. т.IV. С. 233-246.
20. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов, 10-е издание, стереотипное. М.: Высшая школа, 2004. 479 с.
21. Гогоберидзе Г.Г. Индикаторные методы как инструмент комплексного анализа и оценки приморских территорий // Вестник ИНЖЕКОНА. Сер. Экономика, 2008. № 3. С.142-151.
22. Гогоберидзе Г.Г. Проблематика национальной морской политики и трехуровневая модель управления прибрежной зоной Российской Федерации // Вестник Чувашского университета. Гуманитарные науки, 2005. № 3. С. 89-100.
23. Горбунова Ю.А., Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Анализ сценариев развития агропромышленного сектора в водосборном бассейне реки Преголи как определяющего фактора биогенной нагрузки // Известия Калининградского государственного технического университета, 2015. №39. С. 11-19.

24. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии: Учебное пособие. М: Желдориздат, 2001. 592 с.
25. Горшков С.П. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М: Недра, 1982. 286 с.
26. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Гарантированное водопользование в рыночных условиях // Водные ресурсы. 2009. т. 36. №2. с. 228-239.
27. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
28. Денисенков В. П. Основы болотоведения. Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. 224 с.
29. Денисов В.В. Комплексное управление прибрежными зонами – КУПЗ // Основные концепции современного берегопользования, Монография. СПб: РГГМУ, 2010. т.2. С.224-286.
30. Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 502 с.
31. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 1999. с. 200-217.
32. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния природных объектов. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной экосистемы// Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 2001. с. 225-237.
33. Доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2010 году», Калининград: Правительство Калининградской области, 2011. 156 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.zverovodstvo.ru/userfiles/file/gosdoklad2010.pdf (дата обращения 03.12.2015)
34. Домнин Д.А. Геоинформационная система для индикаторов геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области // Естественные и технические науки. 2014. №11-12. С. 193-198.
35. Домнин Д.А. Геоэкологическое районирование водосборных бассейнов Калининградской области с использованием индикаторного подхода и кластерного анализа // Перспективы науки. 2015. №11(74). С.161-167.

36. Домнин Д.А. Индикаторная оценка влияния антропогенной нагрузки водосборных бассейнов на прибрежную зону Калининградской области // Морские берега – эволюция, экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции / Редакционная коллегия: Л.А. Жиндарев (отв. редактор), Ю.А. Леднова (зам. отв. редактора), Г.Г. Гогобердзе, Е.А. Яйли, М.С. Аракелов, С.А. Мерзаканов. Краснодар: Издательский дом – Юг, 2012. Т.2. С. 33-36.

37. Домнин Д.А. Разработка пространственной базы данных индикаторов устойчивого развития для комплексного управления прибрежной зоной // ИнтерКарто – ИнтерГИС 14: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции, Саратов-Урумчи, 24-26 июня 2008 г. Саратов, 2008. т.1. С. 142-148.

38. Домнин Д.А. Чубаренко Б.В. Атлас трансграничных речных бассейнов Калининградской области. Калининград: Терра Балтика. 2007. 36 с.

39. Домнин Д.А., Соколов А.Н. Моделирование речного стока с территории водосборного бассейна Вислинского залива и затока солоноватых вод в устье реки Преголи // Известия Калининградского государственного технического университета. 2014. №35. С. 11-20.

40. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Анализ возможных изменений речного стока лагун Юго-Восточной Балтики в XXI веке (на примере Вислинского залива) // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции (г. Калининград, 25-30 июля 2011 г.). Калининград: Капрос, 2011. с. 516-522.

41. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Геоинформационный анализ взаимного расположения речных бассейнов и административных единиц Калининградской области // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы Международной конференции. Калининград- Берлин 25-31 августа 2006 г. В 2 т. Калининград, 2006. Т.1. С. 194-198.

42. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Методика разработки атласа трансграничного водосборного бассейна Вислинского залива // Естественные и технические науки. 2015. №6. С.254-259.

43. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Оценка динамики развития, охраны и использования природных ресурсов береговой зоны Балтийского моря на основе индикаторного подхода SDI-4-SEB // Эколого-правовые проблемы сотрудничества стран Балтийского региона: Материалы международной научно-практической конференции. 7 декабря 2007 г. Калининград: Калининградский юридический институт МВД России, 2008. 46-54 С.
44. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Трансграничные водосборы Юго-Восточной Балтики // География и природные ресурсы. 2012. №3. С. 69-76.
45. Евдокимов С.П. Географическое районирование: Избранные лекции. Саранск: Мордов. ун-т, 2001. 32 с.
46. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. 4-е издание, переработанное и дополненное. М.: Финансы и статистика, 2002. 480 с. – ISBN 5-279-01956-9
47. Есина А.П. Проблемы и перспективы сбалансированного развития Северо-западного региона РФ // Устойчивое развитие. Наука и практика, 2004. №2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fan-5.ru/better/article-79052.php (дата обращения 03.12.2015).
48. Земцов В.А. Современные подходы к управлению водными ресурсами на Западе и в России // Вестн. Томск. гос. ун-та, 2001. вып. 279. С. 14-25.
49. Зотов С.И. Моделирование состояния геосистем: Учебное пособие. Калининград: КГУ, 2001. 237 с.
50. Изохрона // Ива - Италики. М.: Советская энциклопедия, 1972. (Большая советская энциклопедия [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров, 1969-1978, т. 10).
51. Индикатор // Ива - Италики. М.: Советская энциклопедия, 1972. (Большая советская энциклопедия [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров, 1969-1978, т. 10).
52. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
53. Калининград: куда уходят "очистные деньги" [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.currenttime.tv/a/27064003.html (дата обращения 12.05.2017)

54. Калининградская область [Карты]: общегеографическая карта / сост. и подгот. к изд. БалтАГП в 2013 г. отв. ред. Н.Е. Ларина. 1 : 200 000. Калининград: БалтАГП, 2013-2014.
55. Карлин Л.Н., Абрамов В.М., Гогоберидзе Г.Г., Леднова Ю.А. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской федерации на основе индикаторного подхода // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 30. С. 181-188.
56. Карлович И.А. Геоэкология. М.: Академический Проект: Альма-Матер, 2005. 512 с.
57. Кесорецких И.И. Оценка уязвимости ландшафтов Калининградской области к антропогенным воздействиям. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук, спец. 25.00.36. Геоэкология. Калининград, 2015. 22 с.
58. Клевко Э.Н. Система показателей по оценке условий устойчивого развития населенных мест Республики Беларусь // Материалы к заседанию ГУ-ВШЭ: «Индикаторы социально-экономического развития как инструмент оценивания муниципальных программ и политик», Москва, 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.iopp.ru/pub/18may06_M2.doc (дата обращения 03.12.2015)
59. Ковязин В. Ф., Мартынов А. Н., Мельников Е. С. Основы лесного хозяйства и таксация леса: Учебное пособие. СПб: Лань, 2008. 384 с.
60. Колосенцева М.Я. Интегрированное управление водосборной площадью Вислинской лагуны. Опыт подготовки плана для бассейна реки Мамоновки // Труды международного семинара «Устойчивое управление и охрана водных ресурсов, приоритеты в обеспечении питьевого водоснабжения в Калининградской области». Калининград: Калинингр. гос. техн. у-та, 2005. С. 44-62.
61. Комплексное управление прибрежными зонами: (правовой глоссарий) / ред. кол.: А.Н. Вылегжанин (отв. ред.), Ю.М. Колосов, Ю.Г. Михайличенко. Рига: BKI, 2005. 135 с.
62. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 253 с.

63. Кондратьев С.А., Арвола Л., Хакала И., Алябина Г.А., Маркова Е.Г. Оценка стока воды, выноса фосфора и органического вещества с малых водосборов Северо-запада России и Финляндии (по данным математического моделирования) // Известия Русского Географического Общества. 2003. т.135. вып.6. С.29-36.
64. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г., № 440.
65. Корытный Л.М, Жерелина И.В. Международные речные и озёрные бассейны Азии: конфликты, пути сотрудничества. // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 11-19.
66. Корытный Л.М. Административно-территориальное деление России: бассейновый вариант. // География и природные ресурсы. 2006, № 4. с. 29-37.
67. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Институт географии СО РАН, 2001. 163 с.
68. Косов В.И. Иванов В.Н. Охрана и рациональное использование водных ресурсов. Ч.1 Охрана поверхностных вод: уч. пособие. Тверь: Твер. гос. техн. ун-т, 1995. 124 с.
69. Кропинова Е.Г. Индикаторы устойчивого развития для Калининградской области Российской федерации. // Перспективы развития межрегионального сотрудничества: Калининградская область в еврорегионе «Балтика». Калининград, 2005. С. 191-201.
70. Курс социально-экономической статистики / под ред. М.Г. Назарова, - М.: Юнити-Дана, 2002. 771 с.
71. Лазаревич К.С. Большие реки России [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://geo.1september.ru/2006/05/21.htm (дата обращения 03.12.2015)
72. Лаптев Н.И. Индикаторы устойчивого развития для бассейна Оби // Проблемы устойчивого развития Обь-Иртышского бассейна. Под ред. Широкова Ю.Р., Чубыкиной Н.Л. Новосибирск, 2005. С. 14-25.
73. Леса и вода. Записка рабочей группы по комплексному управлению водными ресурсами // Материалы совещания сторон конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, Рим, 22-24 октября 2008 г. 9 с.

74. Майнерт Н. Создание бассейнового управления с целью охраны водных ресурсов и обеспечения питьевого водоснабжения в Калининградской области // Труды международного семинара «Устойчивое управление и охрана водных ресурсов, приоритеты в обеспечении питьевого водоснабжения в Калининградской области». Калининград: Калинингр. гос. техн. у-та, 2005. С. 87-91
75. Макаров В.З. Пролёткин И.В., Чумаченко А.Н. Применение ГИС-технологий в ландшафтно-экологическом изучении городской территории. // Геодезия и картография. 2001. №3. с 16-20.
76. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2002. 196 с.
77. Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
78. Маркова Л.Л. Реки. / Калининградская область: Очерки природы. Сост. Д.Я. Беренбейм; науч. ред. В.М. Литвин. 2-е изд., доп. и расш. Калининград: Янтарный сказ, 1999. С. 69-83.
79. Маркова Л.Л., Нечай И.Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи // Труды ГОИН. 1960, вып. 49. с. 118-157.
80. Мекуш Г.Е. Индикаторы устойчивого развития Кемеровской области / Г.Е. Мекуш, Е.В. Перфильева. Новокузнецк: РОО «ИнЭкА», 2004. 24 с.
81. Мера расстояния. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aiportal.ru/articles/autoclassification/measure-distance.html (дата обращения 03.12.2015).
82. Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов. Утверждены приказом МПР РФ от 4 июля 2007 г. № 169.
83. Механический состав – почва – Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ngpedia.ru/id461058p1.html (дата обращения 03.12.2015).
84. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г. Утверждена Президентом Российской Федерации 27.07.2001.
85. Музалевский А.А. Индикаторы и индексы устойчивого развития береговой зоны. // Основные концепции современного берегопользования – Монография. СПб: РГГМУ, 2010. т.1. С.170-212.

86. Нагорнова Н. Н. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук, спец. 25.00.36. Геоэкология. Калининград, 2012. 20 с.
87. Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цупикова Н. А. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник БФУ им. И. Канта, 2011. №7. С. 160-166
88. Население: Калининградстат. Численность населения Калининградской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kaliningrad.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/ kaliningrad/ru /statistics/population/ (дата обращения 05.06.2016).
89. Никаноров А.М., Емельянова В.П. Комплексная оценка качества поверхностных вод суши // Водные ресурсы. 2005. т. 32, №1, с. 61-69.
90. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. Р.А. Шмойловой. – 3-е издание, переработанное. Москва: Финансы и статистика, 2002. 560 с.
91. Обязов В.А. Адаптация к изменениям климата: региональный подход. // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 34-39.
92. Отношение // Большая Советская энциклопедия (в 30 т.) / А. М. Прохоров (гл. ред.).- 3-е изд. - М: Сов. энциклопедия, 1974. - Т. XVIII. - С. 629-632 с.
93. Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения. Межгосударственный стандарт, ГОСТ 17.8.1.01-86. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19.12.1986 г., № 4182.
94. Параметр // Отоми - Пластырь. М.: Советская энциклопедия, 1975. (Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 1969-1978, т. 19).
95. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю. СПб.: Диалог, 2008. 112 с.
96. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 г.
97. Положение о территориальном планировании Калининградской области. Калининград: Правительство Кал. области, 2008.
98. Почвенная карта [Карты]: Сост. и подгот. к изд. Лазарева Н.Н.. 1 : 500 000 // Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орленок.- Калининград: КГУ, ЦНИТ, 2002. 276 с.

99. Правительство Калининградской области. Проект схемы территориального планирования Калининградской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gov39.ru/index.php (дата обращения 03.12.2015).

100. Природа Калининградской области. Ландшафты. Особо охраняемые природные территории: [справочное пособие] / сост. В.А. Медведев, Ф.Е. Алексеев; фот.: Ю. Алексеева, В. Медведев, Э. Молчанов. Калининград: Исток, 2013. 192 с.

101. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование. М.: Мысль, 1983. 176 с.

102. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство : Калининградстат. Численность населения Калининградской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kaliningrad.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/kaliningrad/ru/statistics/enterprises/agriculture/ (дата обращения 05.06.2016).

103. Современные методы географических исследований: Кн. для учителя / К.Н. Дьяконов, Н.С. Касимов, В.С. Тикунов. М.: Просвещение, 1996. 207 с.

104. Состояние прибрежной зоны Юго-Восточной Балтики: индикаторная оценка устойчивости развития прибрежных территорий Юго-восточной части Балтийского моря / Коллективная монография под. ред. К. Гильберта. – Гданьск, Drukarnia WL, 2009.- 169 с.- ISBN: 978-83-85780-90-8 (авторы: Багданавичуте И., Блажаускас Н., Бжежинска А., Висакавичус Е., Гаевский Ю., Гульбинскас С., Дайлидиене И., Домнин Д., Калас М., Матчак М., Микеленайте Ю., Милериене Р., Рыбка К., Сташкевич А., Ставицка И., Шефлер К., Цесляк А., Чубаренко Б.).

105. Сочава В. Б. География и экология. Л.: Географическое общество СССР, 1970. 24 с.

106. Спиркин А.Г. Знание // Евклид - Ибсен. М.: Советская энциклопедия, 1972. (Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 1969-1978, т. 9)

107. Строительные нормы и правила 2.04.03-85. Канализации. Наружные сети и сооружения, 1986

108. Схема охраны природы Калининградской области / Под ред. Ю.А. Цыбина. Калининград: Изд-во TENAX MEDIA, 2004. 136 с.
109. Титкова Л.С. Математические методы в психологии: Учебное пособие. Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2002. 140 с.
110. Титов И.А. Взаимодействие растительных сообществ и природной среды. М.: Высшая школа, 1961. 519 с.
111. Уайт Г. География, ресурсы и окружающая среда. М.: Прогресс, 1990. 554 с.
112. Уайтхед А. Н. Избранные работы по философии / Пер. с англ. Общ. ред. и вступ. ст. М. А. Кисселя. М.: Прогресс, 1990. 624 с.
113. Указ Президента Российской Федерации о концепции перехода Российской федерации к устойчивому развитию от 1 апреля 1996 г., № 440.
114. Уманский С. А. Принципы организации территории ветланд-парка для утилизации сточных вод Калининграда // Международная научная конференция «Инновации в науке и образовании – 2005». Калининград, 2005. ч.I. С. 157-158.
115. Урсул А. Д. Государство в стратегии устойчивого развития. М.: РАГС, 2000. 269 с.
116. Федина А.Е. Физико-географическое районирование. М.: Моск. ун-т, 1981. 127 с.
117. Чеботарев А. И. Густота речной сети. // Гоголь - Дебит. М.: Советская энциклопедия, 1972. (Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 1969-1978, т. 7).
118. Чубаренко Б.В., Алексеев Ф.Е. Трансграничность водных ресурсов Юго-Восточной Балтики – основа стратегии их устойчивого развития // Перспективы развития межрегионального сотрудничества: Калининградская область в Еврорегионе «Балтика». Калининград, 2005. С.202-223.
119. Чубаренко Б.В., Домнин Д.А. Зонирование водосборов Вислинского и Куршского заливов (в пределах Калининградской области) по времени добегания речных вод // Естественные и технические науки. 2011, №2 с. 333-341.
120. Чубаренко Б.В., Домнин Д.А. Научно-информационные основы применения подходов бассейнового управления для Калининградской области // Труды международного семинара «Водное хозяйство в сельских населенных пунктах,

система бассейнового управления водными ресурсами». Калининград: Калинингр. гос. тех. у-т, 2006. С. 124-131.

121. Чумаченко А.Н. Геоинформационное эколого-географическое картографирование городской среды // Саратовское Поволжье: история и современность. Мат-лы научной конф., посвященной 200-летию Саратовской губернии. Саратов, 1997. С. 216-219.

122. Шаплыгина Т.В. Геоэкологическая оценка состояния природных комплексов Куршской и Вислинской кос. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук, спец. 25.00.36. Геоэкология. Калининград, 2010. 24 с.

123. Шварцев С.Л. Система управления водными ресурсами Франции // Водные ресурсы. – 1995. - №4. – С.466-469.

124. Шибаева М.Н. Экологическая характеристика малых рек Калининградской области. Автореферат дис. на соиск. уч. степени канд. биол. наук, спец. 03.00.16. Экология. Калининград, 1997. 22 с.

125. Электронные системы отображения информации, под ред. Дж. Ховарда, пер. с англ., М., 1966. 388 с.

126. Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm (дата обращения 03.12.2015) .

127. 2008 World Development Indicators. – Washington: Manufactured in the United States of America, 2008, 404 p.

128. Auger P. Watershed Management in the Chaudiere River Basin, Quebec // The State of the Angara River. Moscow, 1999. P. 26-33.

129. Chubarenko B., Domnin D. GIS analysis of Sustainable Development Indicators for Coastal Watersheds in the South-Eastern Baltic // Sustainable Use and Development of Watersheds. E.Gonenc, A.Vadineanu, J.Wolflin, R. Russo (Eds.). NATO Science for Peace and Security Series, Sub-series C, Environmental Security. The Netherlands: Springer, 2008. P. 355-368.

130. Chubarenko B., Domnin D. International and Inner Transboundary River Basins in the Kaliningrad Oblast, South-Eastern Baltic // Integrated Water Management: Practical Experiences and Case Study, Springer, 2008.P. 309-321.

131. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K., Domnina A., Bukanova T., Topchaya V., Kileso A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea. // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence. / K. Kosyan (Ed.). Springer, 2017. P. 149-190. ISBN 978-3-319-43392-9.

132. Clark J.R. Coastal zone management handbook. Boca Raton, NY, London, Tokyo: Lewis Publishers, 1996. 694 p.

133. Criteria and indicators for sustainable forest management at the forest management unit level / ed. by A. France, O. Laroussinie, T. Karjalainen. - Saarijarvi: Gummerus Print, 2001. 277 p.

134. DEDUCE. Développement durable des Côtes Européennes [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vliz.be/projects/deduce/ (дата обращения 03.12.2015)

135. Domnin D. Hydrological processes of transboundary catchment areas in the research on the relationship with coastal zone: modeling and spatial analysis // Proceedings of the 2nd International Conference (school) on Dynamics of Coastal Zone of Non-Tidal Seas. Baltiysk (Kaliningrad Oblast), 26-30 June 2010 / ed. by B. Chubarenko. Kaliningrad: Terra Baltica, 2010. P. 177-182.

136. Domnin D., Chubarenko B. Watershed and administrative division of Kaliningrad Oblast / Transboundary waters and basins in the South-East Baltic, ed. by B.Chubarenko. Kaliningrad: Terra Baltica, 2008. P. 22-36.

137. Domnin D., Chubarenko B., Capell R. Mathematical modeling of nutrient loading from small catchments of the Vistula Lagoon // Proceedings of International Conference "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECS'11 - SeaCoasts XXVI), August 22-27, St Petersburg, Russia, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://emecs-sc2016.editorum.ru/ru/nauka/conference_article/203/view# (дата обращения 30.04.2017)

138. Domnin, D., Chubarenko, B., Lewandowski A. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015. 106 p. ISBN 978-5-9900699-4-7.

139. Environment and Sustainable Development Indicators for Canada. Ottawa: Renouf Publishing Co., 2003. 92 p.

140. Evaluation of the transboundary pollution loads. (2005) Forsius K. (Ed.) [In] HELCOM – Environmental focal point information. HELCOM Publication. 14 p.

141. Focus on Sustainable Development. Nordic Indicators 2006. Skive: Arco Grafisk, 2006. 112 p.

142. GLCF: Landsat Imagery [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://glcf.umd.edu/data/landsat (дата обращения 03.12.2015).

143. Gosselin Pierre, Belanger Diane, Bibeault Jean-Francois, Webster Alain. Indicators for a sustainable society // Canadian Journal of Public Health 84. May-June 1993. P. 197-200.

144. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Krakow, 2007, 101 p.

145. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration. Copenhagen, 2013, 19 p.

146. HELCOM core indicators: Final report of the HELCOM CORESET project. Balt. Sea Environ. Proc. No. 136 HELCOM, 2013. 71 p.

147. Hessea C., Krysanova V., Stefanova A., Bieleckab M., Domnin D. Assessment of climate change impacts on water quantity and quality of the multi-river Vistula Lagoon catchment // Hydrological Sciences Journal. 2015. vol. 60. iss. 5. P. 890-911.

148. Indicators Guidelines. To adopt an indicators-based approach to evaluate coastal sustainable development. Barcelona: Printing House WL, 2007. 97 p.

149. Khan U. Water Quality Improvement in Piter's River through Watershad Management Planning // The State of the Angara River. Moscow, 1999. P. 18-25.

150. Lescrauwaet A.K., Mees J., Glibert C.R. State of Coast of the Southern North Sea: an indicators-based approach to evaluating sustainable development in the coastal zone of the Southern North Sea. Belgium: VLIS Special Publication 36, 2006, 140 p.

151. Lietuva. Keliu Zemelapis [Maps]. 1 : 400 000. Vilnius: Spausdino "Spindulys", 1999.

152. Lundin L.-C., Linner H., Hultman B., Levlin E., Eriksson E., Johanson S. Water resources and water supply // Water use and management. Uppsala: Publishing Ditt Tryckery i Uppsala AB, 2000. P.17-24.

153. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. // Proc. 5th Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability. USA, Berkeley. P. 281-297.

154. Manninen Asta. City of Helsinki Urban Fact. The Core Indicators for Sustainable Development in Helsinki. Helsinki: City of Helsinki Urban Fact, 2002. 101 p.

155. Mapa Warminsko-Mazurskie wojewodztwa [Maps]. 1 : 250 000. Warszawa: Demard Sp. Zo. O., 2005.

156. Maryland’s Surf Your Watershed. Indicators Watershed. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dnr.state.md.us/watersheds/surf/index.html (дата обращения 03.12.2015).

157. Mitchell and Shrubsole. Canadian watershed and coastal zone management strategies, 1994. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.landandseacanada.com/coastal.htm (дата обращения 03.12.2015).

158. Newson M. Land, Water and Development: Sustainable Management of River Basin Systems. London, New York: Routlsdge, 1998. 423 p.

159. Nordic Council. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.norden.org/start/start.asp?lang=6 (дата обращения 03.12.2015).

160. SAIL. Schéma d'Aménagement Intégré du Littoral [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vliz.be/projects/sail/ (дата обращения 03.12.2015)

161. Sneath P.H.A., Sokal R.R. Numerical taxonomy: The principles and practices of numerical classification. San-Francisco: Freeman, 1973. 573 p.

162. SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://srtm.usgs.gov/ (дата обращения 03.12.2015).

163. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Ed. R. Feistel, G.Nausch, N. Wasmund. 2008. 704 p. ISBN: 9780471979685

164. State of the Coast of the South East Baltic: an indicators-based approach to evaluating sustainable development in the coastal zone of the South East Baltic Sea. / C. Gilbert (Ed.) Drukamia WL, Gdansk, 2008. 164 p.

165. Stróżyk Jarosław, Cybiński Łukasz. Ile oleju opałowego wyciekło do Wisły? // Rzeczpospolita, 19.12.2007. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rp.pl/artykul/78020.html (дата обращения 03.12.2015).

166. Sustainable Development Indicators in Australia: Progress on their development / Working Paper No. 11 of the Conference of European Statisticians. - Neuchatel, Switzerland, 22-25 September 1997, 16 p.

167. TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// hydrology.neng.usu.edu/taudem (дата обращения 03.12.2015).

168. The Fraser Basin Council. Vancouver, 1997. 8 p.

169. Timothy B., Brower, D.J., Schwab A.K. An introduction to coastal zone management. IslandPress. 2002. 329 p.

170. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. of the American Statistical Association, 1963. 236 p.

171. Watershed Indicators [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.lmrcc.org/Watershed%20Indicators.htm (дата обращения 03.12.2015).

172. World Development Indicators 2008 – WDI 2008 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://data.worldbank.org/products/data-books/WDI-2008 (дата обращения 03.12.2015).