

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

На правах рукописи

Бортновский Захар Васильевич

Реакция внутригодового распределения стока малых рек на изменение ландшафтно-экологических условий водосборов (на примере юго-восточного Прионежья и Вологодской возвышенности)

1.6.21 — геоэкология (географические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат географических наук
Медведков Алексей Анатольевич

Калининград 2022

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Водный сток с водосборов малых рек и его экологическая роль	9
1.1. Бассейновый подход к изучению территории.....	9
1.2. Функциональные особенности геосистем бассейнов малых рек	13
1.3. Водный сток как индикатор экологического потенциала речных бассейнов	17
Глава 2. Материалы и методы	37
2.1. Общее описание методического подхода	37
2.2. Материалы исследования.....	39
2.2.1. Цифровая модель рельефа	39
2.2.2. Космоснимки	40
2.2.3. Специализированные геоинформационные ресурсы	42
2.2.4. Гидрометеорологические данные	42
2.3. Методика обработки данных	43
2.3.1. Использование ЦМР для определения границ водосборов по замыкающим створам гидрологических постов и морфометрического анализа	44
2.3.2. Использование космоснимков для оценки состояния и динамики земельного покрова водосборов	48
2.3.3. Использование космоснимков для относительной оценки испарения с различных типов земельного покрова	52
2.3.4. Картографирование денудационной дифференциации водосборов для зонирования режимов природопользования	53
2.3.5. Обработка гидрометеорологических данных	54
Глава 3. Природные условия и освоение ландшафтов в районах водосборов	56
3.1. Физико-географическая характеристика	56
3.1.1. Геологическое строение.....	56
3.1.2. Гидрогеологические условия	59
3.1.3. Геоморфологические особенности	60
3.1.4. Почвенный покров	64
3.1.5. Растительный покров	65
3.1.6. Климатические условия	72
3.1.7. Гидрологические особенности.....	74

3.1.8. Ландшафтная структура	76
3.2. Особенности природопользования	80
3.2.1. Эволюция природопользования на региональном уровне	80
3.2.2. Природопользование в районе Прионежского кластера.....	82
3.2.3. Природопользование в районе Вологодского кластера	88
3.3. Пространственная организация бассейновых природоохранных мероприятий	90
3.3.1. Дифференциация водосборов по денудационному потенциалу ландшафтов.....	90
3.3.2. Зонирование режимов природопользования на геоэкологической основе.....	96
Глава 4. Отклик стока на ландшафтно-экологические условия водосборов.....	105
4.1. Индикация пространственной дифференциации стокоформирующих факторов	106
4.1.1. Особенности сезонного стока	106
4.1.2. Влияние ландшафтно-экологических условий на основные фазы стока	108
4.2. Индикация временной динамики стокоформирующих факторов.....	116
4.2.1. Временная динамика стока.....	116
4.2.2. Общая динамика ландшафтно-экологических условий	119
4.2.3. Вологодский кластер.....	120
4.2.4. Прионежский кластер	124
Заключение.....	129
Список литературы.....	132

Введение

Актуальность. Функционирование ландшафтов представляет собой совокупность процессов перемещения, обмена и трансформации вещества и энергии в геосистеме [Исаченко, 1991; Глазовская, 2002]. Одним из основополагающих процессов функционирования ландшафтов и элементом системообразующего механизма влагооборота является сток. Его особенности определяют гидрологический режим рек, регулярной вариацией которого является внутригодовое распределение стока (ВРС), определяемое сочетанием различных стокоформирующих факторов.

Внутригодовое распределение стока является индикатором одной из биосферных (экосистемных) функций [Горшков, 2001; Тишков, 2005] – водорегулирующей. Социально-экономическое значение таких функций нашло отражение в концепции «экосистемных услуг», т.е. выгод, которые люди получают от экосистем [Экосистемы..., 2005]. В группе регулирующих экосистемных услуг «выгоды», связанные с регуляцией стока (предотвращение наводнений, пополнение подземных вод), занимают одно из центральных мест.

В настоящей работе исследование внутригодового распределения стока в связи с комплексом стокоформирующих факторов, определяющих ландшафтно-экологические условия, проведено на уровне бассейнов малых рек в средне- и южнотаежных ландшафтах Европейской территории России (ЕТР), что обусловлено рядом причин. Во-первых – геоэкологическим значением речных бассейнов как естественных функциональных «звеньев» географической организованности биосферы, где тесно взаимодействуют косные и биотические компоненты окружающей среды [Горшков, 2001, 2015]. Во-вторых – значением малых рек как ключевых элементов гидрологической сети и при этом более выраженной в сравнении с крупными водотоками связью их состояния, включая гидрологический режим, не только с климатом, но и с особенностями местных ландшафтов [Вендров и др., 1981; Алексеевский, 2000]. В-третьих – особенностями регионального природопользования, оказавшими влияние на современные ландшафты и их экологические функции.

Таким образом, изучение отклика внутригодового распределения стока малых рек на пространственно-временную изменчивость ландшафтно-экологических условий применительно к средне- и южнотаежным ландшафтам ЕТР с различной степенью антропогенной трансформации и в условиях климатической нестационарности является актуальным.

Степень разработанности темы. Практические вопросы внутригодовой изменчивости речного стока рассматривались ранее на разных масштабных уровнях. Однако в соответствующих

исследованиях анализ ведется с использованием данных по крупным и средним рекам на макрорегиональном уровне [Фролова и др., 2010; Фролова и др. 2015] или же рассматриваются малые реки физико-географических районов, расположенных южнее [Сафина, Голосов, 2018], при этом акцент делается на изучении многолетней изменчивости внутригодового распределения стока. Применительно к региону исследования гидрологические особенности рассматривались более полувека назад [Филенко, 1966], а в более поздний период состояние малых рек освещалось в контексте анализа регионального природопользования [Кичигин, 1992; Шевелев, Комиссаров, 1994]. Однако не проводилось целенаправленного сравнительного анализа отклика внутригодового распределения стока на изменения ландшафтно-экологических условий на местном бассейновом уровне, что важно для оценки водорегулирующих функций экосистем.

Цель – оценка индикационной роли внутригодового распределения водного стока малых рек в связи со спецификой ландшафтно-экологических условий их водосборов.

Задачи:

1. Проанализировать индикационное значение водного стока в бассейнах малых рек.
2. Разработать методический подход к экологической оценке индикационной роли внутригодового распределения водного стока в бассейнах малых рек с использованием методов космического землеведения и геоинформационных технологий.
3. Проанализировать физико-географические условия и особенности природопользования для оценки их влияния на внутригодовое распределение водного стока и выработки природоохранных рекомендаций по зонированию хозяйственной деятельности в бассейнах рек.
4. Оценить отклик внутригодового распределения водного стока на пространственно-временную изменчивость ландшафтно-экологических условий водосборов.

Объект исследования – внутригодовое распределение водного стока малых рек в связи с ландшафтно-экологическими условиями водосборов.

Предмет исследования – особенности внутригодового распределения водного стока малых рек под влиянием комплекса стокоформирующих факторов в условиях равнинных средне- и южнотаежных ландшафтов ЕТР.

Методология исследования. Методологические основы исследования связаны с разработками в области бассейновой организации суши и бассейнового природопользования (С.П. Горшков, Ю.Г. Симонов, Л.М. Корытный, Г. Уайт и др.); функционирования ландшафтов (М.А. Глазовская, А.Г. Исаченко, В.А. Николаев и др.); анализа стока и его связи с комплексом стокоформирующих факторов, в т.ч. для малых рек (А.Н. Антипов, Н.И. Алексеевский,

О.И. Крестовский, С.Л. Вендров, Н.И. Коронкевич, А.М. Владимиров, Н.П. Матвеев и др.); эрозионно-денудационных процессов (Н.И. Маккавеев, В.Н. Голосов, В.И. Мозжерин и др.); региональных ландшафтно-геоэкологических исследований (Г.А. Воробьев, Н.К. Максимова, А.Н. Кичигин и др.).

Материалы и методы. В работе использованы полевые и камерально-аналитические методы исследования, включая сравнительно-аналитический, геоинформационно-аналитический, картографический, статистический.

Основными материалами исследования послужили цифровые модели рельефа, мультиспектральные космоснимки и архивные данные гидрометеорологических наблюдений за стоком, осадками и температурой воздуха.

Автором осуществлен анализ и обобщение литературных источников, выполнена обработка гидрометеорологических данных, проведены подспутниковые наблюдения в полевых маршрутах в районе исследования (рис. №1), результаты которых использованы при анализе данных дистанционного зондирования (ДДЗ), выполнено картографическое представление и интерпретация результатов анализа.

Район исследования. Исследование проведено на материалах речных бассейнов в границах створов гидрологических постов, объединенных в два кластера по территориальному принципу, с учетом ландшафтных особенностей. Прионежский кластер в составе р. Андома (пост Рубцово), р. Самина (пост Октябрьский), р. Кема (пост Игнатово), р. Мегра (пост Павловская) расположен в юго-восточном Прионежье, на северо-западе Вологодской области; опорная метеостанция этого кластера — Вытегра (г. Вытегра). Вологодский кластер в составе р. Ема (пост Новое), р. Большая Ельма (пост Филютино) расположен в районе Вологодской возвышенности, в южном секторе центральной части Вологодской области; опорная метеостанция — Вологда (д. Семенково-2) (рис. №1).

Защищаемые положения:

1. Методический подход, интегрирующий на функционально-геосистемной основе анализ гидрометеорологических параметров и результаты обработки данных дистанционного зондирования, позволил выявить отклик внутригодового распределения водного стока малых рек на пространственно-временную изменчивость ландшафтно-экологических условий водосборов.
2. Выделенные кластеры водосборов отличаются по комплексу природных условий и специфике освоения ландшафтов, что отражается в дифференциации внутригодового

распределения водного стока дренирующих рек, сохраняющейся в течение исследованных временных промежутков.

3. Для практик природопользования, сложившихся в районах водосборных кластеров, актуальны корректировки с целью снижения амплитуды колебаний внутригодового распределения водного стока, учитывающие неоднородность ландшафтных условий в бассейнах по денудационному потенциалу.

4. Пространственная изменчивость внутригодового распределения водного стока проанализированных малых рек контролируется преимущественно компонентами территориально-бассейновой геосистемы, а временная – преимущественно климатическими условиями.

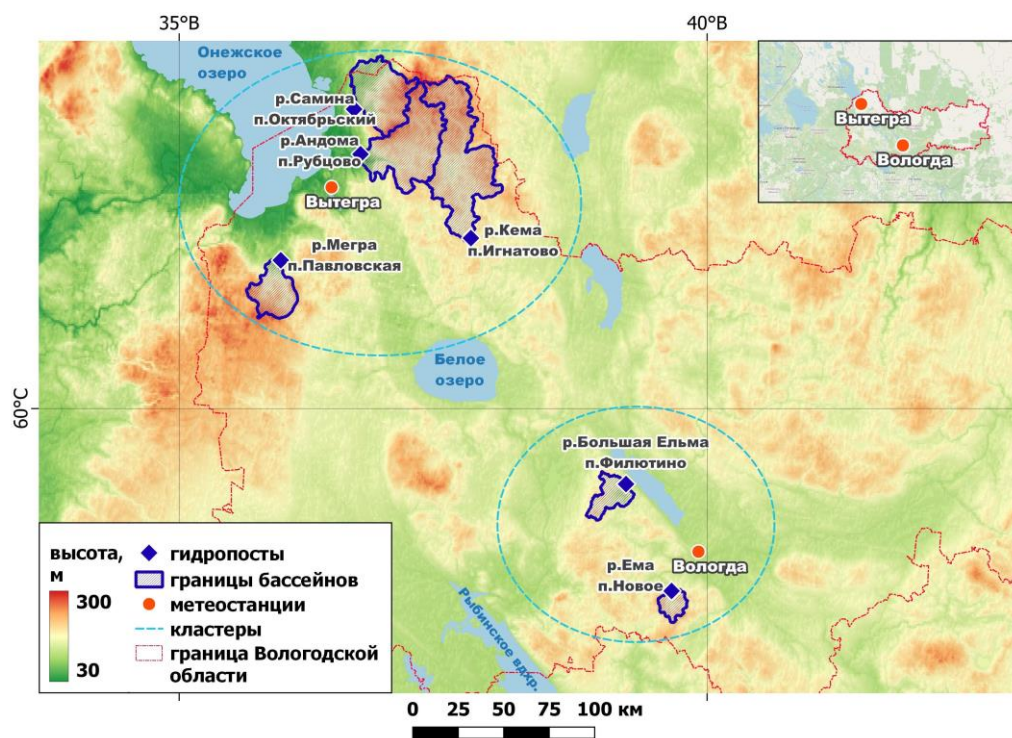


Рис. №1. Схема расположения бассейнов

Научная новизна. На основании анализа гидрометеорологических данных, ландшафтных условий и особенностей природопользования, впервые для малых рек юго-восточного Прионежья и Вологодской возвышенности установлен отклик внутригодового распределения стока на пространственное различие ландшафтно-экологических условий как комплекса стокоформирующих факторов и их динамику с течением времени, предложено зонирование природопользования в бассейнах. Результаты исследования расширяют практику изучения водорегулирующих экосистемных функций и развивают ландшафтно-гидрологический подход с

использованием методов космического земледения и современных геоинформационных технологий.

Практическая значимость. Результаты исследования могут найти применение при планировании природопользования в бассейнах малых рек, в т.ч. при междисциплинарном анализе в рамках концепции «экосистемных услуг». Полученные сведения об особенностях внутригодового распределения стока малых рек в связи с комплексом стокоформирующих факторов могут быть использованы при разработке мероприятий по адаптации к климатическим изменениям.

Апробация. Результаты исследования докладывались на Научном симпозиуме «Биотические компоненты экосистем» (Тольятти, 2013), Научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (Дубна, 2015), Региональной конференции Международного географического союза (Москва, 2015), научно-практической конференции «Природа, Общество, Человек» (Дубна, 2016), ГИС-секции Межрегионального IT-форума (Вологда, 2017), Областном экологическом форуме (Вологда, 2017).

По результатам исследования опубликовано 8 печатных работ, в т.ч. 4 в журналах из перечня ВАК (включая 1 в журнале, входящем в базу цитирования Scopus).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (191 наименование), общим объемом 148 страниц, включая 19 таблиц, 38 рисунков.

Благодарности. Автор признателен коллективу кафедры экологии и наук о Земле университета «Дубна» за приобретенные базовые профессиональные знания и подготовку основы для дальнейшей работы. Существенный вклад в профессиональное развитие диссертанта внес профессор С.П. Горшков, под научным руководством которого была сформирована база работы. Автор выражает благодарность А.А. Медведкову за поддержку и принятие научного руководства после ухода из жизни С.П. Горшкова. Автор признателен Д.В. Добрынину и Н.О. Тельновой за развитие компетенций в области дистанционного зондирования Земли.

Глава 1. Водный сток с водосборов малых рек и его экологическая роль

1.1. Бассейновый подход к изучению территории

Потоки вещества и энергии имеют системообразующее значение для ландшафтов различных уровней. При этом возможно выделение вертикальных и горизонтальных связей, интеграция которых происходит на уровне бассейновой организации суши [Симонов и др., 2004]. Бассейново-речные системы как тип природно-экзодинамических систем (ПЭС) являются преобладающими в пределах внеледниковой суши [Горшков, 1982].

По Ю.Г. Симонову речной бассейн¹ — «сложная геоморфологическая система, ограниченная водораздельными линиями, которую можно рассматривать в качестве сложной формы рельефа денудационного происхождения» [Симонов и др., 2005, с.37]. Такую систему можно представить в виде элементов и форм рельефа, которые организованы в систему процессами поверхностного стока [Основные..., 2007].

Согласно Л.М. Корытному бассейны это «особая пространственная система суши, обладающая мощным интегрирующим фактором — водным потоком, направленным по падению склонов и тальвегам, и четкими границами² — водоразделами». Для этой системы характерны два главных функциональных уровня — склоны и гидрографическая сеть [Корытный, 2017, с.7].

Е.Д. Никитин отмечает, что речной бассейн - «это узловая структурно-функциональная составляющая «кровеносной системы» континентальной части географической оболочки и биосферы» [Никитин и др., 2002, с.8].

А.Ю. Ретеюм рассматривает геосистемы речных бассейнов как наиболее подходящие операционные единицы территориального ландшафтного планирования, под которым понимает «инновационную форму синтеза науки, искусства и техники, обеспечивающую совершенствование форм использования территорий обществом» [Ретеюм, 2013, с.275].

Бассейновый подход имеет как природные (геологические, геоморфологические, гидрологические, геохимические, геоэкологические, биосферные), так и общественные, социально-

1 Понятия «бассейн» и «водосбор» в тексте работы не дифференцируются, принимаясь совпадающими, если не указано иное.

2 Следует заметить, что при укрупнении масштаба исследования и сокращении размеров исследуемых бассейнов в условиях плоских заболоченных водоразделов четкость границ иногда снижается.

экономические (водохозяйственные, историко-этнические) обоснования [Корытный, 2002; Корытный, 2017].

Функционирование речного бассейна (как и его образование) обусловлено взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов [Трифопова, 2002; Трифопова, Мищенко, 2009]. Эндогенный фактор проявляется «тяготением» речных долин к деформационным разломам земной коры. Экзогенные процессы задают динамику геосистемы водосборного бассейна и образуют его структурные элементы. Динамические характеристики задаются водными потоками и их эрозионной деятельностью. Структурными элементами являются русла водотоков, склоны и водоразделы [Васильев, 2009]. Для геосистем речных бассейнов, контролируемые гравитационными силами латеральные вещественно-энергетические связи – прежде всего, поверхностный и грунтовый сток, склоновая денудация и другие виды нисходящего перемещения вещества и энергии – имеют системообразующее значение [Николаев, 2006, с.75].

Ю.Г. Симонов рассматривает функционирование речных бассейнов как «сложный процесс образования и преобразования рельефа и рыхлых отложений на всем водосборе и во всех разнопорядковых руслах». В указанные процессы входит выветривание и накопление горных пород по всей поверхности водосбора, склоновые и русловые процессы перемещения вещества. Взаимодействие этих процессов выражается соотношением денудации и аккумуляции [Симонов и др., 2005]. Одновременно отмечается, что мобилизация вещественно-энергетических потоков в бассейне — не просто физический, но географический процесс. Т.е. на «базовые» физические закономерности оказывают влияние факторы почвенно-растительного покрова, хозяйственной деятельности [Симонов и др., 2004].

Бассейны представляют собой таким образом гидролого-геоморфологические системы, которые выступают также как среда для функционирования биоты. Следует особо подчеркнуть значение речных бассейнов как георастительных систем [Титов, 1961], как главных звеньев биосферной организованности на суше [Горшков, 2001; Горшков 2002]. Это подчеркивается тем, что при фундаментальной роли речного стока, он сам в значительной степени регулируется живым веществом при функционировании системы: растительность — почва — зона активного водообмена. При ослаблении растительного покрова, подавлении его функций возрастает поверхностная составляющая стока с водосборов. Это же может приводить к быстрому разрушению (размыву) почвенного покрова и поверхностных отложений, в то время как почвенно-элювиальный слой выполняет важные геоэкологические функции, включая очистку фильтрующейся воды, ее резервирование и подпитку водотоков. В условиях сильно разреженного

растительного покрова проявляются процессы агградации речных долин (т. е. заполнение их наносами). «Таким образом, — отмечает С.П. Горшков — современная разветвленная и протяженная сеть речных долин имеет биогенно-геодинамическую природу, а речные бассейны не только представляют собой арены действия трансформированных биотой систем экзодинамических процессов, но и являются результатами интеграции биологического и геодинамического движения материи» [Горшков, 2002, с.47].

Речной бассейн может рассматриваться и как многопараметрическая система, элементами которой являются площади горных пород с различными фильтрационными свойствами и тектоническими особенностями, а также ландшафтные выделы. Взаимодействие этих элементов определяет пространственно-временные вариации составляющих водного баланса и химического состава природных вод местного генезиса [Антипов, Коротный, 2012]. Опираясь на понятие «территориально-аквального комплекса» как «особой структурной единицы организации ландшафтной оболочки земной поверхности», Н.И. Алексеевский также отмечает, что потоки вещества и энергии, поступающие на его [территориально-аквального комплекса] границы, изменяются, преобразуются под влиянием орографических, литологических, почвенно-ботанических факторов [Алексеевский, 2000, с. 67].

Для речного бассейна характерен полузамкнутый способ организации с четко выраженными границами [Трифенова, Мищенко, 2013]. Отмечается, что речные бассейны — внутренне динамичные системы [Трифенова и др., 2009]. Особое значение имеет интегрирующая роль стока. Сток воды, наносов и растворенных веществ во многом обеспечивает современную динамику абиотической части экосистем [Коротный, 2017; Борсук, Кичигин, 2013]. В целом — основные черты бассейновой организации территории имеют высокую устойчивость при достаточно высокой динамичности строения ее деталей [Симонов и др., 2004].

Бассейновый подход имеет и геохимическую опору, принимая геохимические ландшафты по Б.Б. Полюнову «как динамически связанные потоками, прежде всего водными, участки земной поверхности» [цит. по: Коротный, 2017, с.9]. Миграционная структура ландшафтов суши образована системой незамкнутых круговоротов вещества с различной протяженностью в пространстве и во времени. В каскадных ландшафтно-геохимических системах, к которым относятся и водосборные бассейны, прямая геохимическая связь между верхними и нижними звеньями осуществляется через процессы стока³, при этом границы бассейнов поверхностного гидрохимического и твердого стока совпадают с границами речных бассейнов [Глазовская, 1988,

3 Существует и обратная геохимическая связь, которая осуществляется в основном путем атмосферного переноса.

с.22-23; Перельман, Касимов, 1999, с.22]. Таким образом, геохимический аспект также указывает на интегрирующую роль стока в бассейновых процессах, а, кроме того, важен в контексте анализа техногенных потоков вещества.

Социально-экономические обоснования бассейнового подхода обусловлены тем, что с водотоками исторически связано формирование этнодемографических общностей, вблизи них концентрируются поселения и объекты промышленности, т.е. бассейны можно рассматривать как особые пространственные социально-экономические структуры. Актуальность бассейнового подхода в социально-экономическом аспекте возрастает вследствие усиления значимости водного фактора на планетарном уровне. При этом важно, что бассейновый подход подразумевает перенос акцентов управления водохозяйственным комплексом непосредственно с водных объектов на весь водосбор [Корытный, 2017; Беляев и др., 2014; Лисецкий и др., 2014].

Как отмечает Л.М.Корытный, ход экологических процессов определяется природными закономерностями в природных же комплексах — ландшафтах, геосистемах. Для социально-экономических систем управление часто осуществляется в единицах административного порядка — областях, странах, границы которых часто не совпадают с природными. В связи с этим значение бассейновой концепции природопользования возрастает, поскольку почти вся суша представляет собой макросистему (совокупность) бассейнов, т.е. широко распространенную и строго организованную сеть на земной поверхности, «каркас» для природных процессов и хозяйственной деятельности. При этом подчеркивается географическая направленность подхода, поскольку география — интегральная наука о природе, хозяйстве и населении, а бассейны — это и природные системы высокой степени целостности, и этнодемографические и экономические пространственные структуры [Корытный, 2017].

Понимание речного бассейна как природно-хозяйственной системы дает возможность в его границах изучать взаимодействие человека с природой. Бассейн становится важным таксоном природно-хозяйственного районирования, играя при этом особую геоэкологическую роль в структуре биосферы [Корытный, 2017; Горшков, 2001].

Академик Г.В. Добровольский, подчеркивая междисциплинарное значение исследования речных бассейнов, отмечал, что: «Изучение разнообразия природных условий речных бассейнов позволяет выяснить многие вопросы общей и четвертичной геологии, геоморфологии, гидрологии, гидрогеологии, геохимии и биохимии, географии почв и геохимии ландшафтов, географии растений и животных, археологии и истории культуры, экономической и физической географии» [Добровольский, 1999, с.9].

Бассейновый подход находит практическое применение. Концепции комплексного развития речных бассейнов связываются с задачами гидроэнергетики, водоснабжения, борьбы с наводнениями, при этом актуальна «увязка» программ освоения земельных и водных ресурсов [Уайт, 1990, с.66-88]. Созданы нормативные основы: так, в России Водный кодекс предусматривает разработку схем комплексного использования и охраны водных ресурсов на бассейновом уровне [Водный..., URL], принимаются региональные акты по бассейновому природопользованию [Об утверждении..., URL(a)]. В Европейском Союзе принята Рамочная Водная Директива (EU Water Framework Directive), также акцентирующая управление водными ресурсами на уровне речных бассейнов [Introduction..., URL].

Актуальность бассейнового подхода подчеркивается тем фактом, что решение задачи мониторинга больших территорий напрямую зависит от выбора ключевых участков, которые, обладая особенностями, могут отображать процессы, происходящие в системе в целом [Мищенко, Трифонова, 2013, с.85]. В этой связи усиливается значимость изучения бассейнов малых рек.

1.2. Функциональные особенности геосистем бассейнов малых рек

Малые реки – природная основа гидрографической сети, «стартовое звено» формирования водных ресурсов. Их состояние в значительной степени отражается на состоянии более крупных гидрологических систем [Коронкевич, 1997, с. 28; Ясинский, 2012, с.394; Григорьев, 1981, с.24]. В структуре гидрографической сети малые реки являются преобладающими по численности и суммарной протяженности [Вендров и др., 1981, с.11; Егоров, 1992, с.46].

Малой является река, «бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны» [ГОСТ..., 1988]. Для выделения малых рек также используются два количественных критерия. Первый из них – площадь водосбора. Принимается, что для малых рек она не превышает 2000 кв. км. Вторым критерием – длина водотока, которая по разным трактовкам не превышает 100 км [Бутаков и др., 1996, с.55] или находится в диапазоне 10-200 км [Алексеевский, 2000, с.67]. Вместе с тем, градации относительно условны и отнесение рек к числу малых во многом зависит от конкретных природных и социально-экономических условий [Вендров и др., 1981, с.11].

В числе главнейших особенностей малых рек — тесная связь с окружающим ландшафтом. На это обращают внимание многие исследователи [Вендров и др., 1981, с.13; Разин и др., 1981, с.32; Ларионов, Чалов, 1988, с.3; Кичигин, 1992, с.56; Алексеевский, 2000, с.67; Рохмистров, 2004, с.19;

Ясинский, 2012, с.395; Коронкевич и др., 2017, с.78]. Так, С.Л. Вендров с коллегами указывают, что влияние на состояние реки природных и антропогенных процессов на водосборе происходит через почву, растительность, подземные воды — т.е. компоненты ландшафта. В.Л. Рохмистров отмечает, что «процессы, происходящие на малом водосборе, быстро отражаются на состоянии реки, ее стоке, химическом качестве воды, переформировании берегов и фарватера». А.Н. Кичигин, обращает внимание на то, что водность и состояние русел малых рек в существенно большей степени, относительно более крупных водотоков, контролируются ландшафтными особенностями водосбора и указывает, что степень их влияния тем больше, чем меньше площадь водосбора. Н.И. Алексеевский отмечает, что малые реки являются совокупностью «двух каскадно связанных элементов: водосборной территории, где формируется основная часть стока, и собственно русла, в котором он концентрируется». Н.И. Коронкевич с коллегами, также акцентируют, что основная часть речного стока формируется именно на водосборах, т.е. вне русловой сети. Таким образом величина, режим речного стока, качество воды определяются состоянием водосбора. При этом справедливо отмечается, что это состояние во многом зависит от хозяйственной деятельности.

Важной особенностью малых рек является то, что они в меньшей степени, относительно более крупных, дренируют подземные воды. Это также определяет сильную связь режима малых рек с состоянием водосбора (в отличие от более крупных рек, чей режим в большей степени зависит от зональных условий динамики теплового и водного баланса их водосборов) [Зайцева, 1981, с.97; Ясинский, 2012, с.394-395].

Изменение состояния малых рек и в том числе их режима – это результат действия как естественных (природных), так и антропогенных факторов. Среди природных факторов особую роль играют климатические. Их влияние обусловлено обычно циклическими колебаниями [Вендров, 1981, с.16]. Значимость же антропогенных факторов определяется тесной связью стока малой реки с водосбором. Его изменение под влиянием хозяйственной деятельности влияет на механизмы трансформации осадков в сток, а также на интенсивность эрозионно-денудационных процессов.

Являясь наиболее уязвимым звеном гидрологической сети к антропогенному влиянию, малые реки во многих районах России имеют неудовлетворительное состояние. Это проявляется не только в их загрязнении, но и в заилении, ухудшении водного режима – снижении меженных расходов, увеличении объемов стока половодья и паводков [Голосов и др., 1992, с.70; Бутаков и др., 1996; Коронкевич и др., 1997, с.29, Алексеевский, 2000, с.73]. Проблема деградации малых рек, в том числе изменения их гидрологического режима, получила известность прежде всего в лесостепных

и степных районах. Однако, такие процессы на малых реках как обмеление, «отмирание» истоков отмечаются и севернее, включая территорию исследования – Вологодскую область [Кичигин, 1992, с.56; Кичигин, 1996, с.68; Шевелев, Комиссаров, 1994, с.8].

Выделяются три подхода к выявлению причин ухудшения водного режима малых рек. Согласно первому подходу ведущей причиной является изменение соотношения поверхностного и подземного стока в пользу поверхностного, что обусловлено антропогенной трансформацией водосбора. Второй подход, признавая процессы перераспределения жидкого стока, делает акцент на активизации эрозионных процессов и увеличении стока наносов, также вызванных хозяйственной деятельностью на водосборе⁴. Третий подход, в отличие от предыдущих, связан с учетом и анализом природных причин изменений стока, обусловленных в частности цикличностью увлажнения [Мозжерин, 1991, с.105].

Увеличение стока наносов связано с целым рядом антропогенных воздействий. В их числе распашка водосборов, в т.ч. припойменных участков; сведение лесов на водосборе, в т.ч. полос древесно-кустарниковой припойменной растительности; строительство [Чернов, 1988, с.22; Матвеев, 1988, с.64-65; Егоров и др., 1992, с.49; Кичигин, 1992, с.59; Бутаков и др., 1996, с.59-62; Коронкевич и др., 1997, с.29; Nagans et al., 1986, p.63]. Они приводят к активизации переноса частиц почвы во время интенсивных жидких осадков и снеготаяния в русловую сеть. При сравнительно низкой эрозионно-транспортирующей способности малых рек, вызванных малой водностью и относительно малыми (для равнинных рек) уклонами, повышается вероятность превышения объемов поступления наносов с водосбора над эрозионно-транспортирующей способностью, что вызывает отложение избытка наносов на пойме и в русле: сначала на плесовых⁵ участках, затем и на перекатах, что снижает русловую пропускную способность. Дренажные свойства заиленных русел снижаются. Как негативное следствие этих процессов изменяется режим грунтовых вод в приречных ландшафтах, где с одной стороны активизируются процессы

4 Как отмечают [Хорошев, Сеницин, 2008], в хозяйственной практике существует стереотип о том, что эрозионные процессы – явление не характерное для лесной зоны, в отличие от горных и степных районов. И это приводит к недооценке факторов развития эрозии в частности при лесозаготовках, хотя фактически в лесной зоне имеют место процессы плоскостной и линейной эрозии, которые хотя и могут быть мало заметными визуально, но определяют увеличение твердого стока водотоков, приводящего к ухудшению их водного режима и экологического состояния. При этом указывается, что такие негативные эффекты в представлении лесопользователей часто не ассоциируются с недостатками в осуществляемой ими деятельности.

5 В этой связи А.Н. Кичигин отмечает, что для условий Вологодской области характерно наличие на плесах переуглубленных участков (омутов, бочагов), которые связаны с разгрузкой напорных фильтрационных потоков подземных вод, что подтверждается донными ключами в этих переуглублениях. При увеличении стока наносов переуглубления исчезают и уменьшается подземная составляющая стока [Кичигин, 1992, с.60].

заболачивания и подтопления, а с другой ухудшается питание подземными водами⁶ [Кичигин, 1992, с.60; Бутаков и др., 1996, с.59-62]. Отмечается, что для условий таежной зоны большее заиливание характерно для широкопойменных русел, в меньшей степени — для врезанных [Бутаков и др., 1996, с.61]. В средней полосе Европейской России только порядка 1/10 смытого материала формирует твердый сток главных рек и транспортируется ими в конечные водоемы стока. Основная часть откладывается по пути миграции, прежде всего в верховьях речной сети, что способствует агградации долин (т.е. их заполнению наносами) и вырождению малых рек [Горшков, 2001, с.151].

Перераспределение соотношения поверхностного и подземного стока, в частности увеличение половодно-паводочного стока и уменьшение меженного определяется, как и для эрозионного фактора, распашкой земель и, в особенности для лесной зоны, сведением лесов [Алексеевский, 2000, с.73; Бутаков и др., 1996, с.59-62; Кичигин, 1992, с.58; Коронкевич и др., 1997, с.29].

Как отмечает С.П. Горшков, участвовавшие случаи деградации малых рек можно рассматривать как локальные экологические катастрофы, которые выражаются потерей плодородия почв, частичным истощением запасов подземных вод, заболачиванием и заполнением верховий рек наносами [Горшков, 2001, с.152].

В этой связи важным и не утратившим актуальности представляется наблюдение [Вендров и др., 1981, с.12-13] о том, что в отличие от средних и крупных рек многие малые реки находятся в слабо контролируемом распоряжении местных пользователей. А некоторые водные объекты, в том числе временные водотоки – важное переходное звено между собственно русловыми водотоками и склоновым стоком – находятся вне прямого природоохранного регулирования. Хотя именно оно и призвано оценить и предвидеть, в том числе с помощью научных исследований, последствия процессов происходящих не только в руслах, но и в бассейнах, где определяются условия формирования стока. Близкий акцент делает Н.И. Маккавеев. Он отмечает, что в общем случае вся сложнейшая сеть водных потоков на поверхности может быть подразделена на три основных звена: верхнее звено – склоновый нерусловый сток, среднее звено – временные русловые потоки, нижнее звено – реки (в том числе малые). Через два верхних звена в реку поступает и поверхностный сток и эродированный материал с междуречий. Поэтому процессы, происходящие непосредственно в реке, могут быть правильно поняты только в связи с рассмотрением процессов в верхних звеньях [Маккавеев, 2003, с.35].

⁶ При этом именно грунтовый сток, который свободен от взвешенного твердого материала, повышает эрозионно-транспортную способность потока [Маккавеев, 2003, с.71-72].

Системообразующее значение малых рек в гидрологической сети на фоне повышенной уязвимости к антропогенному воздействию, способствует постепенной разработке аналитических инструментов. Так, для макрорегиона Европейской территории России создана геоинформационная платформа бассейнов малых рек, как операционно-территориальных единиц для дальнейшего комплексного анализа [Ермолаев и др., 2017].

1.3. Водный сток как индикатор экологического потенциала речных бассейнов

Сток в широком смысле — это важнейший элемент материкового звена глобального круговорота вещества и энергии. А.Г. Исаченко, подчеркивая интегральную географическую роль стока, отмечает, что это процесс одновременно гидрологический, геоморфологический, геохимический [Исаченко, 1991, с.167]. Речной сток, как фундаментальный вид поверхностного стока включает несколько компонентов [Гидрология, 2008, с.326]. Первый и основополагающий компонент речного стока — сток воды. Это одновременно процесс стекания воды в речных системах и характеристика количества стекающей воды. Сток воды формируется на водосборе как результирующий компонент его водного баланса (в простейшем случае как разность между атмосферными осадками и испарением). Помимо стока воды, составляющими речного стока являются сток взвешенных и влекомых наносов (процесс перемещения наносов в речных системах и характеристика их количества), сток растворённых веществ (процесс переноса в речных системах растворённых в воде веществ — ионов солей, биогенных и органических веществ и характеристика их количества), сток теплоты (процесс переноса вместе с речными водами теплоты и его количественная характеристика).

Согласно Н.И. Алексеевскому, в термин «речной сток», с учетом различной размерности его составляющих, возможно включать только вещественные составляющие стока (водный сток, сток наносов, сток растворенных веществ⁷), а для качественной характеристики суммарного процесса переноса водными потоками вещества, тепла и энергии использовать термин «географический сток» или «геосток» [Алексеевский, 2012, с.49].

Среди указанных компонентов речного стока главным является водный сток. Он определяет другие виды перемещения вещества и энергии в речных системах, является их движущей силой,

7 Н.И. Алексеевский отмечает, что в числе вещественных компонентов речного стока возможно выделение в качестве самостоятельного компонента биологической составляющей, которая «дает представление о результирующем переносе в основном планктонных организмов через поперечное сечение русла реки» [Алексеевский, 2012, с.49].

фундаментальным физико-географическим и геологическим фактором [Алексеевский, 2012, с.49; Гидрология, 2008, с.326].

Водный сток, а также другие компоненты речного стока, являются связующим звеном в совокупности взаимодействующих элементов природных ландшафтов. В.А. Николаев отмечает сток как фактор объединения катенарных рядов фаций, подурочищ в целостную геосистему [Николаев, 2006, с.43]. Закономерности динамики составляющих речного стока тесно сопрягаются с характерным набором природных условий, которые присущи конкретным водосборным территориям. Наряду с обменом веществом и энергией между компонентами природных и антропогенных ландшафтов, речной сток, по Н.И. Алексеевскому, приобретает смысл признака изменений состояния окружающей среды, в т.ч. на уровне речного бассейна. Под влиянием сочетаний климатических, орографических, литологических, почвенно-ботанических факторов речной сток, в т.ч. сток воды изменяется, что определяет его индикационные свойства. «Использование информации о пространственной и временной изменчивости компонентов речного стока и ее интерпретация — реальный путь к организации мониторинга над природными и антропогенными изменениями окружающей среды, выявлению реакции компонентов природных и техногенных ландшафтов на климатические изменения и хозяйственные нагрузки» [Алексеевский, 2012, с.68]. Н.Л. Фролова с коллегами отмечает, что неравномерность внутригодового распределения стока является одним из основных факторов гидроэкологической безопасности территорий. Это в свою очередь непосредственно связано с исследованиями, направленными на поиск зависимостей, связывающих характеристики неравномерности стока рек с метеорологическими и гидрографическими характеристиками речных бассейнов [Фролова и др., 2010].

При рассмотрении геоэкологических индикационных свойств стока актуально использование ландшафтно-гидрологического подхода, истоки которого восходят к предложенному В.Г. Глушковым географо-гидрологическому методу, который «устанавливает причинную связь всех вод данного района... с географическим ландшафтом в целом, включая сюда кроме климата геологию, геоморфологию, почвы, растительность» [цит. по: Ландшафтно-гидрологический..., 1992 г., с.8]. Гидрологические процессы таким образом рассматриваются не только как продукты климата, но и всего ландшафта [Гидрологическая роль..., 1989, с.4].

В связи с этим отметим введенное А.Н. Антиповым понятие ландшафтно-гидрологических систем (ЛГС), под которыми подразумевается «часть земной поверхности, где взаимодействие гидрологических процессов и природных структур обладает локализовано специфическими

закономерностями, predeterminedенными одним географическим фактором или их рядом». При этом «каждому пространственному уровню ЛГС свойственен свой набор факторов и своя специфика закономерностей» [Ландшафтно-гидрологический..., 1992, с.8; Антипов, 2003, с.48]. В основе выделения ЛГС лежит определение характера взаимодействия между гидрологическими процессами и природными структурами, выделения признака (группы признаков) или синтеза представлений, отражающих связь между гидрологическими процессами и объектами и природными компонентами и комплексами [Ландшафтно-гидрологический..., 1992, с.11]. При этом между ЛГС и элементами ландшафтной дифференциации нет полного соответствия, но в основе их выделения лежит представление о геосистемной predeterminedенности гидрологических процессов [Антипов, 2003, с.12; Антипов и др. 2007, с.57].

Процесс познания ландшафтно-гидрологической организации включает, согласно А.Н. Антипову, следующие направления: познание ландшафтной структуры территории, гидрологических процессов в границах бассейнов, пространственное сопоставление полученных гидрологических бассейновых обобщений с различными ландшафтными характеристиками и в целом с ландшафтной дифференциацией, определение гидрологических функций природных систем путем их сопряженного анализа с полученными представлениями о ЛГС разного иерархического уровня [Ландшафтно-гидрологический..., 1992, с.13].

Приемы ландшафтно-гидрологического анализа можно в общем случае подразделить на эмпирические и индикационные. Эмпирические приемы опираются на экспериментальные измерения элементов водного баланса в репрезентативных выделах и дальнейшее установление связей между полученными величинами и природными факторами, которые затем используются для экстраполяции гидрологических характеристик. Индикационные же приемы базируются именно на использовании данных по речному стоку в замыкающем створе. Характеристики стока при таком подходе являются основным аргументом, а результатом — характеристики стокоформирования в элементах комплексной или специализированной дифференциации водосбора, т. е. индикационные приемы ландшафтно-гидрологического анализа сопряжены с определением и целевой оценкой ландшафтных характеристик, индицирующих механизмы влагооборота. При этом значения оцениваемых признаков допускаются не точными, а «размытыми» в определенных интервалах. [Антипов, 2003, с.14-15; Антипов и др., 2007, с.57]

С точки зрения индикационного значения речного стока важно, что он является по сути многофакторным процессом. Сочетание разнообразных природных факторов, как отмечает Г.Уайт, определяет разнообразие рек [Уайт, 1990, с.65]. При этом иерархия факторов, определяющих

развитие малых рек, может быть иной, чем у более крупных и различаться для самих малых рек [Чернов, 1988, с.23].

А.М. Комлев отмечает, что широкое признание получило подразделение факторов формирования стока по Д.Л. Соколовскому на две группы: климатические⁸ и местные (они же — факторы подстилающей поверхности, факторы бассейна). Первая группа факторов предопределяет норму стока, а вторая, совместно с первой, режим стока, т. е. процессы внутригодового распределения стока, его минимальных и максимальных значений [Комлев, 2002, с.8], при этом степень влияния различных факторов проявляется дифференцировано в разные гидрологические фазы [Владимиров, 2008; Владимиров, 2009]. Кроме того, имеет значение фактор масштаба исследуемой территории, поскольку на разных пространственных уровнях степень влияния различных факторов варьирует [Гидрологическая роль..., 1989, с.19].

Характеризуя гидрологическую роль стокоформирующих факторов необходимо особо подчеркнуть тесные причинно-следственные взаимодействия между ними, в основе которых лежат межкомпонентные ландшафтные связи. Отдельно следует выделить антропогенный фактор. Его влияние, как отмечает Н.И. Коронкевич с коллегами, косвенно, т. к. хозяйственная деятельность влияет на совокупность естественных стокоформирующих факторов [Коронкевич и др., 2017, с.79]. В этой связи важным представляется замечание А.А. Тишкова о разноуровневом характере связи гидрологического режима с состоянием экосистем. Последствия нарушения природных экосистем (включая их водорегулирующие функции) на региональном и особенно на местном уровнях не всегда заметны и принимаются во внимание. Однако именно совокупность локальных, очаговых нарушений в силу взаимосвязей во многом определяет перестройки в процессах массо-энергообмена, включая гидрологические, на более высоком масштабном уровне [Тишков, 2005, с.139].

Совокупность взаимосвязанных стокоформирующих факторов определяет ландшафтно-экологические условия водосборов. Их влияние на сток в части его внутригодового распределения схематически иллюстрирует рис. №2.

Функция внутригодового перераспределения стока (стокорегулирования) связана с предотвращением и сглаживанием экстремальных гидрологических явлений, проявляющихся как в избытке, так и в дефиците природных вод [Тишков, 2005]. В свою очередь это тесно связано с

⁸ А.М. Комлев вместе с тем предлагает разделять собственно «климатические» факторы и «метеорологические». Климатические факторы определяют норму (средние многолетние значения) характеристик стока, а метеорологические — значения характеристик стока в определенный момент времени или за определенный срок (конкретные годы или более короткие промежутки времени) [Комлев, 2002, с.10-11].

функционированием естественного динамического коллектора влаги в системе «растительность-почва-подпочвенный грунт» [Горшков, 2001]. Поэтому внутригодовое распределение стока является косвенным индикатором состояния бассейновых геосистем, их экологического потенциала.

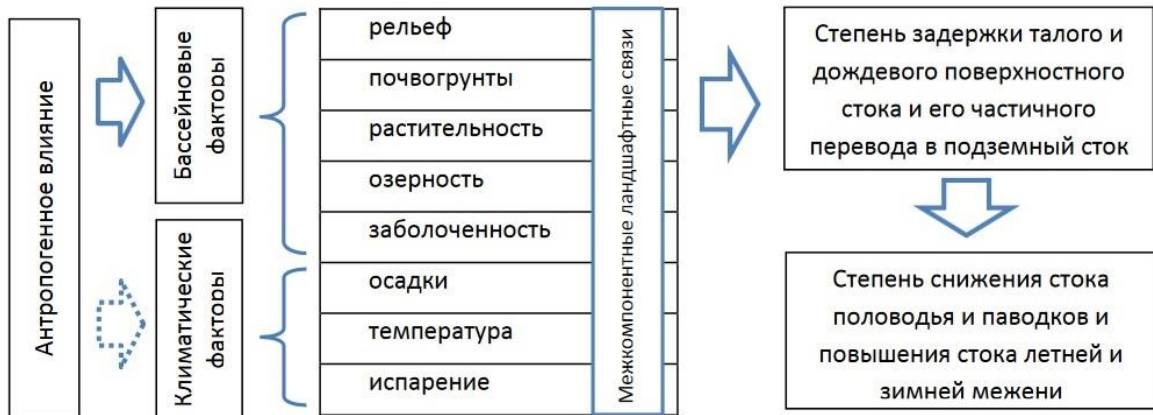


Рис. №2. Схема влияния ландшафтно-экологических условий на внутригодовое распределение стока

Структура блоков на рис.№2 отображает собственно ландшафтно-экологические условия в бассейне, когда на естественные стокоформирующие факторы «накладывается» антропогенное влияние [Бортновский, 2021].

К факторам климата относятся атмосферные осадки, испарение и температура воздуха. Для анализа влияния осадков имеет значение их распределение по сезонам и разделение на жидкие (дождевые) и твердые (снеговые). Жидкие осадки в летний период расходуются преимущественно на испарение, частично инфильтруются и (обычно) лишь незначительная их часть поступает в поверхностный сток. Осенние жидкие осадки, при выпадении на увлажненную почву, создают поверхностный сток и имеют определяющее значение для такой фазы водного режима как дождевые паводки, частично пополняют запасы подземных вод, поддерживающих питание рек в зимний период. Твердые осадки, хотя и не участвуют в формировании стока в холодный период, но, после длительного накопления, являются главным агентом весеннего половодья и во многих случаях являются основным источником питания рек. Весенние жидкие осадки также включаются в половодный сток [Андреянов, 1960, с.57; Комлев, 2002, с.14]. Косвенное влияние обусловлено воздействием жидких осадков на потенциал эрозионных процессов на водосборе. С усилением интенсивности дождя размеры капель увеличиваются, вследствие чего при одинаковом количестве

осадков ливень оказывает в несколько раз большее механическое воздействие на почву, чем моросящий дождь [Маккавеев, 2003, с.36].

Фактор испарения, складывающегося из испарения с поверхности и транспирации влаги фитомассой, оказывает влияние на режим стока преимущественно в фазу летней межени. В условиях зоны избыточного увлажнения, к которой относится район исследования, лимитирующим фактором испарения является тепло (на испарение расходуется столько влаги, сколько позволяют энергетические ресурсы) и связь стока с испарением выражена меньше, чем с осадками [Комлев, 2002, с.15-17; Гидрологическая роль..., 1989, с.43; Владимиров, 1990, с.20]. При этом следует отметить, что испарение тесно связано с состоянием растительности на водосборе, о чем будет сказано далее. При этом испарение – важный средообразующий процесс, поскольку является компонентом водообмена в ландшафте, поддерживающим механизм биосферного гомеостаза [Горшков, 2015, с.72-73].

Значение температуры воздуха наиболее выражено в части влияния на режим стока, поскольку ход температуры определяет сроки холодного и теплого периодов, которые различаются по условиям формирования стока. В теплый период осадки в жидком виде сразу участвуют в формировании стока, включая пополнение запасов подземных вод. В холодный период, в особенности при отсутствии выраженных оттепелей, осадки накапливаются. С температурой воздуха в этот период связана глубина промерзания почвогрунтов, влияющая на их фильтрационную способность, которая в свою очередь определяет условия дренирования реками подземных вод (а также пополнение их запасов в теплый период). Ход температуры также определяет сроки и интенсивность половодья, как важнейшей фазы водного режима рек [Комлев, 2002, с.17-20, с.68].

Факторы подстилающей поверхности являются по сути бассейновыми. Специфика речного бассейна определяет особенности трансформации поступающих осадков в сток. К факторам речного бассейна относятся: особенности рельефа, растительного покрова, почв и горных пород, а также наличие иных объектов гидросферы (озер, болот) [Комлев, 2002, с.41]. Возможно разделение этих факторов на две категории — склоновых и русловых [Гидрологическая роль..., 1989, с.80]. Рассмотрим далее бассейновые факторы подробнее, принимая во внимание, что в некоторых случаях они очень тесно взаимосвязаны (например, почвы и растительность).

Достаточно многопланово влияние *морфологических* факторов. Так, влияние размера бассейна проявляется тем, что в сходных природных условиях глубина вреза русла, которая определяет полноту дренирования подземных вод, при прочих равных условиях, тем больше, чем

больше собственно река и ее водосбор. Форма бассейна может оказывать влияние на режим стока через скорость добегания воды до расчетного створа. Например, при вытянутой форме бассейна волны половодий и паводков вниз по реке «распластываются» ввиду незначительной боковой приточности, а в случае широкого симметричного бассейна максимумы стока обычно повышаются. Вместе с тем, влияние формы бассейна на малых и средних реках менее заметно, чем на крупных [Андреянов, 1960, с.62; Комлев, 2002, с.51].

С точки зрения влияния на сток представляют интерес такие особенности рельефа как высотное положение, экспозиция, показатели вертикальной и горизонтальной расчлененности, с которыми связана крутизна склонов (уклон), длина путей склонового стока. Вертикальная расчлененность с гидрологической точки зрения сопрягается с глубиной вреза речных долин и русел. Горизонтальная расчлененность приближенно отображается коэффициентом густоты речной сети. Густая речная сеть, пересеченный рельеф, большие уклоны поверхности — катализаторы стекания поверхностных вод, вследствие чего распределение стока становится менее равномерным [Андреянов, 1960, с.62; Комлев, 2002, с.52-53]. Наличие возвышенностей на в общем равнинной территории, переход от низменностей к возвышенностям влияет на перераспределение осадков наветренных и подветренных склонов; экспозиция и крутизна склонов корректируют интенсивность снеготаяния [Владимиров, 1990, с.26].

Прямое влияние *почвогрунтов* бассейна на сток связано с процессами инфильтрации вод. Перевод атмосферных осадков в подземные воды в значительной степени контролируется особенностями почвогрунтов. Они являются «аккумуляторами» влаги, накапливая ее в периоды повышенной водности и отдавая (главным образом в форме подземного стока в реки) при маловодье. Эти процессы определяются гидрогеологическими условиями водосбора (литологическим составом пород, геологическим строением территории) [Владимиров, 1990, с.27].

Гидрологические особенности почвогрунтов во многом определяются их гранулометрическим составом. В этой связи целесообразно рассмотреть такие свойства как водопроницаемость (т. е. способность пропускать воду) и водоемкость (водоудерживающая способность, т. е. удержание влаги от стекания под влиянием капиллярных и сорбционных сил). Оба эти свойства непосредственно зависят от гранулометрического состава. При низкой водопроницаемости почвенно-грунтового покрова снижается пополнение подземных вод при увеличении поверхностного стока. В таких условиях сток рек менее зарегулирован. Вместе с тем, от водопроницаемости зависит не только пополнение, но и интенсивность расходования подземных вод при их дренировании речной сетью. При высокой водоемкости большая часть влаги проникшей

в почву может расходоваться на испарение. Это характерно для грунтов с малой водопроницаемостью. При увеличении размеров частиц снижается водоудерживающая способность и повышается водопроницаемость. [Комлев, 2002, с.61-62; Коронкевич, 1976, с.31].

Представление о дифференциации водно-физических свойств почв в зависимости от механического состава и обобщенных типов растительности дает таблица №1.

Таблица №1. Водно-физические свойства почвогрунтов [по А.М. Владимирову, 1990, с.28].

Механический состав почв	Угодье	Водопроницаемость, мм/мин	Водоудерживающая способность, % полной влагоемкости	Водоотдача, % полной влагоемкости
Суглинистые	Поле	0,19	88,0	12,0
	Лес	0,24	86,5	13,5
Супесчаные	Поле	0,23	66,5	33,5
	Лес	0,51	52,0	48,0
Песчаные	Поле	0,99	42,7	57,3
	Лес	2,93	38,3	61,7

Эти данные показывают, что водопроницаемость и водоотдача песчаных почв в несколько раз больше, чем суглинистых, а лесные почвы имеют бóльшую водопроницаемость и водоотдачу в сравнении с полевыми, что объясняется их большей скважностью. При большей водопроницаемости, соответственно, больше пополнение подземных вод. В связи с этим весьма существенным может быть влияние антропогенного фактора. Так, в работе [Маккавеев, 2003, с.18] отмечается, что в результате удаления подстилки, вспашки и боронования водопроницаемость для супесчаной почвы соснового бора снизилась в два раза, а для суглинистой почвы елового леса – более чем в пять раз.

Фильтрация воды в грунт является одним из важнейших факторов, определяющих объем склонового стока. Чем меньше фильтрационная способность грунта, тем (при прочих равных условиях) больше слой воды на склоне, больше скорость течения склоновых потоков [Маккавеев, 2003, с.38].

М.И. Львович считал почвы важнейшим фактором гидрологического режима, наряду с климатом. «Почва – среда, в которой формируются элементы водного баланса. Без участия почвы, ее фильтрационных и водоудерживающих свойств, гидрологические явления следовали бы климатическим условиям. Почва – своего рода посредник между климатическими и гидрологическими явлениями» [Львович, 1986, с.142].

Н.И. Коронкевич обращает внимание на гидрологическую роль агротехнических почвенных мероприятий, в частности на влияние зяблевой осенней пахоты. Вспаханная под зябь почва к началу снеготаяния обладает повышенной инфильтрационной способностью по сравнению со стерней, залежью, озимыми, что уменьшает поверхностный талый сток⁹ [Коронкевич, 1976, с.30].

Почвенные коллоиды органического происхождения обладают способностью разбухать при увлажнении, что влияет на снижение фильтрационной способности влажной почвы в сравнении с сухой [Комлев, 2002, с.64].

В связи с температурным фактором, в условиях холодного периода гравитационная влага почвогрунтов превращается в лед, что, как отмечалось ранее, снижает их фильтрационную способность. В связи с этим имеет значение не только глубина промерзания грунтов, но и степень их предзимнего увлажнения [Комлев, 2002, с.68].

Пористость водопроницаемых пород, мощность их толщи, дренируемой водотоком, имеет прямую связь с их емкостью и регуляторным влиянием. Наиболее благоприятные условия для аккумуляции подземных вод и питания ими рек характерны для водосборов с рыхлыми и пористыми либо трещиноватыми породами (известняки, песчаники). Если бассейн сложен более сцементированными породами, питание рек подземными водами снижается. Вместе с тем, наряду с механическим составом имеет значение степень обводненности пород. Так, реки, бассейны которых слагаются песками, могут иметь сток меньший, чем реки, протекающие в плотных, но пористых породах. [Владимиров, 1990, с.28].

Существенное значение имеет наличие в области формирования речного стока карстовых пород. Их влияние на сток, в особенности для малых рек и в маловодный период года, может быть определяющим относительно других факторов. Чем больше водопоглотительная способность карстовых пород и медленнее их водоотдача, тем существеннее их влияние. Вместе с тем, в областях интенсивного развития карста возможна и существенная инфильтрация речного стока, вплоть до полного исчезновения его поверхностной составляющей [Андреянов, 1960, с.58]. В условиях интенсивного карста, сформировавшиеся на этой территории подземные воды обычно принимают участие в формировании речного стока прилегающих районов [Владимиров, 1990, с.29]. Карстовые процессы на водосборе в общем случае повышают внутригодовую зарегулированность стока. Вместе с тем, при сложном геологическом строении водосбора,

⁹ Наряду с этим, имеются данные о смыве почв, существенно различающемся, в т.ч. с зяби, в зависимости от конфигурации локальных водосборов, шероховатости поверхности склонов и разрыхленности пахотного горизонта [Ажигиров и др., 1988, с.56-57].

чередовании пластов с различной проницаемостью, на степень дренирования закарстованных горизонтов может влиять и глубина вреза речной долины [Комлев, 2002, с.65].

С почвой тесно связана *растительность* на водосборе как гидрологический фактор. Растительность оказывает влияние на процессы накопления и стаивания снежного покрова. От нее зависят интенсивность испарения (транспирации и физического испарения с поверхности). Корни растительности влияют на структуру почвы, улучшая условия фильтрации вод. [Комлев, 2002, с.57]. Особое внимание в гидрологической оценке растительности уделяется лесам, при этом гидрологическая роль леса остается сложным, дискуссионным вопросом, на что обращают внимание ряд исследователей [Фролова, 2016, с.57; Гидрологическая роль..., 1989, с.3; Воронков, 1976, с.122]¹⁰. Одновременно отмечается, что в вопросах влияния леса на гидрологические процессы необходим учет совокупности стокоформирующих факторов, а не только растительности. Кроме того, ее влияние может быть косвенно, посредством связи с другими компонентами, как например почвы или микроклимат. Вместе с тем, в бассейнах малых рек роль лесного покрова, как фактора формирования стока, повышена [Гидрологическая роль..., 1989, с.19; Воронков, 1981, с.98].

При различных суждениях о влиянии леса на сток, многие исследователи сходятся в оценке регулирующей роли леса при прочих равных стокоформирующих факторах. В этих условиях при возрастании лесистости распределение стока становится более равномерным. Причины этого разноплановы, но показывают тесные взаимосвязи между компонентами ландшафта, прежде всего растительностью и почвой.

Для лесной среды характерно улучшение условий для фильтрации влаги в почву, что снижает поверхностный сток и улучшает условия питания рек в меженный период. В этом процессе имеет значение и меньшая глубина промерзания почвы в лесу, что также улучшает условия фильтрации талых вод и дренирования подземных вод в зимний период [Андреянов, 1960, с.76; Комлев, 2002, с.59].

10 Н.А. Воронков обращает внимание, что разнообразие суждений о гидрологической роли растительного покрова, в т.ч. леса, отчасти связано с терминологическим разночтением. В связи с этим предложено различать качественный (влияние на качество воды) и количественный (влияние на объем стока) аспекты водоохранной роли леса. Вместе с тем, отмечается, что содержание термина «водорегулирующая роль» более конкретно и отображает способность фитоценозов оказывать влияние на фазы стока, соотношение между его поверхностной и подземной составляющей [Воронков, 1976, с.122]. Похожая терминологическая дифференциация дана в [Антипов, 2003, с.42], где отмечается, что в процессе трансформации осадков проявляются две гидрологические функции ландшафтов. Водоохранная, определяющая сохранение физико-химических свойств (качества) воды, а также стокорегулирующая, определяющая возможности перераспределения стока в сезонном разрезе и снижение коэффициентов стока за счет снижения его поверхностной составляющей.

Гидрологическая роль лесов варьирует в зависимости от породного состава, возраста древостоя и других особенностей его структуры [Воронков, 1981, с.107]. Гидрометеорологические различия лесов различного породного состава для суглинистых почв достаточно подробно иллюстрирует таблица №2, составленная по данным 10-летних наблюдений (1964-1974 гг.) в условиях Подмосковья (Истринский стационар).

Таблица №2. Гидрометеорологические характеристики насаждений различного состава [по: Воронков, 1976, с.132].

Гидрометеорологические показатели		Открытый участок (50-70 м от леса)	Лиственный лес	Смешанный лес	Чистый ельник
Атмосферные осадки на высоте 1.5, мм	Годовые	619	538	508	382
	Твердые	117	117	103	89
	Жидкие	388	309	315	224
	Смешанные (весна, осень)	114	104	90	69
Глубина промерзания почвы, см	Средняя	35,8	25,5	43,9	59,1
	Максимальная	96 (1972)	106 (1969)	125 (1969)	139 (1969)
	Минимальная	0 (1967)	0 (1967)	0 (1967)	0 (1967)
Интенсивность снеготаяния, мм/сут (1964-1972)	Средняя	9,1	5,1	4,5	4,1
	Максимальная	16,7	11,5	9,0	9,4
Проникновение радиации под полог насаждений, %	Летом	-	7	4	4
	Зимой	-	32	14	6
Температура почвы на глубине 20-320 см, °С	Средняя	6,6	5,4	5,0	4,7
Температура воздуха, °С	Годовая	4,3	3,9	3,8	3,5
	За теплый период	11,8	11,2	11,1	10,5
	За холодный период	-6,2	-6,4	-6,4	-6,4
	Абсолютный максимум	35,0	32,9	32,0	32,0

	Абсолютный минимум	-34,7 (1967)	-32,6 (1969)	-32,0 (1967)	-34,5 (1970)
Осенние запасы влаги в метровом слое почвы (1966-1974 гг.), мм		411	376	354	345

Согласно этим данным среднегодовые величины задержания осадков снижаются в ряду от еловых к лиственным древостоям. В холодный период года перехват осадков снижается, а в лиственных древостоях практически прекращается. Отмечается, что для смешанных насаждений перехват осадков (как и другие показатели гидрологического режима) примерно соответствуют доле хвойных и лиственных пород в древостое.

Осенние запасы влаги в почве значительной степени влияют на ее фильтрационные свойства в период формирования весеннего стока. Эти запасы максимальны на открытом участке, а в лесу снижаются от лиственных к еловым древостоям. На основании таких данных делается вывод, что транспирация в ельнике выше, чем в лиственном древостое, и что последние несколько повышают значение суммарного стока относительно елового леса [Воронков, 1976, с.133]. Вместе с тем, Я.А. Маркус и Л.Т. Павлушкин, проводя исследования в том же стационаре считают, что меньшие запасы влаги для ельников могут быть связаны с локальными особенностями участка, где дренированность лучше в силу больших уклонов дневной поверхности [Гидрологическая роль..., 1989, с.23].

Глубина промерзания почвы наибольшая в ельнике и снижается в лиственном лесу более чем в 2 раза (таблица №2). При этом за указанный период в лиственном лесу чаще, чем в еловом отмечались случаи талой или промерзшей менее чем на 10 см почвы. Различия промерзания приводят к тому, что в лиственном лесу формирование стока идет на фоне талых почв, что в ельниках (где оттаивание происходит позже) наблюдается реже. На основании этого Н.А. Воронков считает, что лиственные насаждения благоприятно сказываются на питании грунтовых вод [Воронков, 1976, с.131-132]. Я.А. Маркус и Л.Т. Павлушкин приводят данные по глубине промерзания в зависимости от мощности зимних осадков (при приблизительно одинаковой влажности почв и глубине залегания грунтовых вод). В многоснежную зиму показатели высоты снежного покрова/промерзания составили: в лиственном лесу — 80/10 см, в ельнике — 50/45 см. В малоснежную зиму в лиственном лесу при высоте снега 45 см почва промерзла на 25 см, в ельнике при вдвое меньшем снежном покрове промерзание приблизилось к 70 см [Гидрологическая роль, 1989, с.24].

Зависимость проникновения твердых осадков под лесной полог от породного состава древостоя иллюстрирует таблица №3.

Таблица №3. Среднемноголетние (1966-1980) максимальные снегозапасы в различных фациях [по: Гидрологическая роль..., 1989, с.24].

Фация	Местоположение	Состав древостоя	Сомкнутость древостоя зимой	Мощность снежного покрова, см	Запас воды в снеге, мм
Лиственный лес	Вершинная поверхность	6Б4Ос ед.ДЛп	0,1	60	127
Елово-лиственное насаждение со II ярусом ели	То же	5Е4Ос1Б	0,4	48	98
Ельник чистый	То же	10Е	0,8	40	89
Приопушечный луг	Пологий склон	-	-	46	110

Так, под пологом чистого ельника снегозапасы наименьшие относительно смешанного древостоя, запасы в котором, в свою очередь меньше, чем в лиственном лесу. Аналогичные сведения приводит Н.А. Воронков, отмечая, что под пологом еловых и смешанных древостоев снегозапасы меньше, чем в лиственном лесу и на полянах [Воронков, 1976, с.130].

Дополняют картину данные (таблица №4), приводимые Н.Н. Шевелевым и В.В. Комиссаровым для условий Вологодского района (февраль 1982 г.).

Таблица №4. Влияние лесных и полевых угодий на высоту снежного покрова и водозапасы в снеге [по: Шевелев, Комиссаров, 1994, с.60].

Характер пробной площади	Средняя высота снега, см	Средний водозапас, мм
Разреженный березняк	72	177
Еловый лес (10Е+Ос., 50 лет)	51	143
Поляна (100х100 м)	64	163
Поле (300х100 м)	57	162
Поле (2х3 км)	45	120

Результаты этих наблюдений также указывают, что мощность снежного покрова и снегозапасы под пологом лиственных древостоев, больше, чем в хвойных. Авторы обращают внимание на связь между размерами поля и снегозапасами. При увеличении размеров поля средние

снегозапасы снижаются, как и мощность снежного покрова (вследствие сдувания снега к опушкам и увеличения испарения). При меньшей мощности снежного покрова увеличивается глубина промерзания, что в период весеннего снеготаяния увеличивает поверхностный сток [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.60-61].

Средняя интенсивность снеготаяния в поле примерно в 2 раза выше, чем в лесу (см.табл.№2). Для различных по составу лесов она близка, но в целом снижается от лиственного (5,1 мм/сут) к еловому древостою (4.1 мм/сут). Отметим, что указанные зависимости отвечают радиационному и адвективному (тепло воздушных масс) типам снеготаяния. Так, проникновение радиации под полог древостоя выше в лиственном лесу (вне вегетационного периода), т. к. кроны хвойных деревьев обладают большим эффектом ее задержания. Отметим также, что в работе [Гидрологическая роль, 1989, с.25] в качестве фактора, препятствующего поступлению радиации на поверхность снега, отмечается различие в опаде (хвоя, мелкие ветви) зимнего периода: в ельниках он превышал 100 г/кв.м., в елово-мелколиственном древостое составил 30-36 г/кв.м., а в мелколиственном — лишь 10-12 г/кв.м. Средняя температура теплого периода повышается от елового древостоя к лиственному и достигает максимума на открытом участке.

Интенсивность снеготаяния также варьирует для лесов разного возраста. Так А.В. Побединский приводит следующие сведения (на примере Южного Урала): минимальная интенсивность снеготаяния наблюдалась в разновозрастном елово-пихтовом лесу, в 25 летнем хвойном молодняке интенсивность снеготаяния на 30%, а в 15 летнем лиственном молодняке — на 80% выше [Гидрологическая роль, 1989, с.108].

Гидрометеорологические характеристики лесных и полевых насаждений исследованы А.М. Рубцовым с коллегами для экспериментальных малых водосборов (от 20 до 678 га) в условиях средней тайги в Республике Коми за период 1974-1984 гг. [Гидрологическая роль..., 1989, с.56-66]. По снегозапасам, с использованием соответствующего коэффициента снегозапасов (отношения снегозапасов на различных типах угодий к наибольшим снегозапасам на водосборе), древостои были ранжированы в порядке его убывания следующим образом: березняки, сосняки, ельники. Запасы воды в ельниках близки к таковым на пашне. Максимальные снегозапасы характерны для лесных прогалин площадью 300-400 кв.м.

По интенсивности снеготаяния в порядке убывания угодья расположились следующим образом: пашня (10,8 мм/сут), березняки (8,3 мм/сут), ельники (6,8 мм/сут). Сроки снеготаяния на пашне меньше, чем в лесу. В ельнике и березняке они близки, что объясняется «взаимокомпенсацией» снегозапасов и интенсивности снеготаяния. Отмечается, что интенсивность

снеготаяния тесно коррелирует с максимальной суточной температурой воздуха (коэффициенты корреляции 0,73-0,98).

Также представляют интерес данные о промерзании и оттаивании почв в условиях суглинистых и супесчаных почв (таблица №5).

Таблица №5. Характеристики промерзания и оттаивания почв [по: Гидрологическая роль..., 1989, с.59].

Категория земель, насаждения	Глубина промерзания, см		Интенсивность оттаивания, см/сут	
	максимальная	средняя	максимальная	средняя
Суглинистые почвы				
Ельники	100	35	2,8	1,1
Пашня	68	34	6,1	2,8
Супесчаные, песчаные почвы				
Ельники	138	44	4,2	1,7
Березняки	60	9	3,3	1,2
Прогалины	49	8	2,5	1,1

Наибольшее промерзание в лесу (как максимальное так и среднее) характерно для ельников, при этом для ельников, произрастающих на супесчаных почвах, глубина промерзания больше, чем для произрастающих на суглинистых почвах. Для супесчаных почв средняя глубина промерзания в ельниках почти в 5 раз больше, чем таковая в березняках и на прогалинах, где ее значения близки. Для суглинистых почв средняя глубина промерзания ельника и пашни близка, хотя максимальная — выше в ельнике (вместе с тем следует принять во внимание ранее отмеченный фактор размеров поля и его влияние на высоту снежного покрова). Также отмечается, что в березняках чаще, чем в ельниках наблюдалась непромерзшая почва.

Оттаивание почвы имеет эпизодический характер до схода снега и активизируется после снеготаяния. В условиях суглинистой почвы средняя интенсивность оттаивания на пашне выше, чем в еловом лесу. В условиях супесчаных и песчаных почв средняя интенсивность оттаивания в ельниках больше, чем в березняках и на прогалинах, т. к., ввиду большей глубины промерзания, оттаивание происходит позже и, в условиях больших температур воздуха, с большей интенсивностью [Гидрологическая роль..., 1989, с.59].

Н.И. Маккавеев отмечает в целом регулирующее влияние леса на талый сток, что объясняется факторами, замедляющими сток (повышенная фильтрационная способность почвы ввиду каркаса

древесных корней и рыхлой подстилки), а также задержкой снеготаяния вследствие частичного перехвата кронами солнечных лучей и снижения скорости ветра. Поэтому запасы грунтовых вод под лесом пополняются весной значительно больше, чем на открытых полевых участках [Маккавеев, 2003, с.18].

Растительный покров существенным образом влияет на испарение. Расход влаги на суммарное испарение с лесных и безлесных территорий происходит в основном в период интенсивной вегетации. При этом в фазы замедленной вегетации, т. е. условного начала и окончания вегетационного периода, испарение над лесом значительно ниже испаряемости, а в период активной вегетации эти значения близки [Гидрологическая роль..., 1989, с.36]. В период активной вегетации существенную часть суммарного испарения составляет транспирация, и определяющим фактором этого процесса являются климатические характеристики¹¹ [Гидрологическая роль..., 1989, с.37]. Вместе с тем, для леса испарение зависит также от таксационных показателей, о чем будет указано далее. С точки зрения гидрологии это влияние сильнее на малых водосборах [Гидрологическая роль..., 1989, с.15].

В контексте гидрологической роли почвенно-растительных комплексов актуальным является вопрос о влиянии вырубок, который рассматривался многими исследователями [Побединский, 1976; Крестовский, 1986; Гидрологическая роль..., 1989; Карпечко, Бондарик, 2010; и др.]. Одним из негативных следствий лесозаготовок является нарушение почвенного покрова, в т.ч. лесной подстилки, уплотнение верхних горизонтов почв при использовании лесозаготовительной техники. В результате ухудшаются водно-физические свойства почвы, что проявляется в понижении их инфильтрационной способности, уменьшении пополнения подземных вод, возрастании поверхностного стока, в том числе при осадках малой интенсивности, активизации эрозионных процессов. Увеличивается глубина промерзания почвы и объем поверхностного сброса талых вод, что повышает внутригодовую неравномерность стока. Другое направление воздействия вырубок на гидрологический режим связано с изменением условий поступления осадков (практически полном прекращении их задержания кронами), существенным снижением поглощения суммарной солнечной радиации растительным покровом. В результате перестраиваются процессы испарения и стока, т. е. меняются звенья тепло- и влагооборота в лесных геосистемах.

А.В. Побединский отмечает [Гидрологическая роль..., 1989, с.102-108], что влияние различных способов вырубок на формирование стока неодинаково. Так, в древостоях, пройденных

¹¹ При этом отмечается, что с учетом сравнительно мощной корневой системы лесных древостоев лимитация испарения запасами почвенной влаги выражена для безлесных участков в большей степени, чем для лесных [Гидрологическая роль..., 1989, с.37].

выборочными рубками снегозапасы, вследствие снижения сомкнутости крон, обычно больше, чем в не затронутом рубками лесу. На сплошных концентрированных рубках, особенно при отсутствии подроста, запас воды в снеге меньше, чем в лесу, вследствие сдувания снега к опушкам. Есть разница и в интенсивности и продолжительности снеготаяния. На сплошных вырубках интенсивность снеготаяния возрастает в 1,5-2 раза по сравнению с выборочными рубками, которые в свою очередь сравнительно мало влияют на указанный процесс¹². На сплошных вырубках происходит перераспределение стока. Так, в условиях ельника на суглинистых почвах соотношение поверхностного и внутрипочвенного стока составило под пологом леса 28% и 72% соответственно, а на сплошной вырубке, даже при малом нарушении почвы, соотношение изменилось, поверхностный сток возрос — 58% и 42% соответственно. Вместе с тем влияние сплошных вырубок отличается в разных почвенно-литологических условиях: песчаные и супесчаные почвы даже после проведения рубок сохраняют повышенную водопроницаемость и влияние вырубок на режим стока в этих условиях выражено меньше.

В контексте стокорегулирующей роли лесов, сформировавшихся на месте вырубок, А.В. Побединский указывает на ее зависимость от состава, возраста и сомкнутости древостоев. Так, в редкостойном лесу снегозапасы больше, чем в сомкнутом; при одинаковой сомкнутости снегозапасы в лиственном молодняке выше, чем в хвойном. Интенсивность снеготаяния в лиственном молодняке существенно превышает таковую в хвойном [Побединский, 1976, с.177].

Влияние рубок и последующих сукцессий на ряд гидрометеорологических параметров исследовались В.А. Анисеевой и Н.И. Курбак применительно к условиям северной тайги Архангельской области на примере ельника-черничника свежего и производных древостоев на разных стадиях восстановления после сплошных рубок [Гидрологическая роль..., 1989, с.118-124]. С точки зрения задержания древостоями осадков исследования показали, что в сравнении с ельником черничником свежим, для которого перехват осадков в теплый период составил 38%, в смешаном лесу I класса возраста, сформировавшемся с участием подроста и тонкомера ели, перехват осадков снизился до 16%, а для III класса возраста возрос до 22%. Для холодного периода показатели задержания указанных сообществ составили 22%, 8% и 16% соответственно. Для березовых насаждений I, V и X классов возраста перехват осадков в указанном ряду возрастает и составляет в теплый период 7%, 24% и 35% соответственно, а в холодный период — 4%, 8% и 21% соответственно. Таким образом, задержание осадков растет с увеличением возраста производных древостоев. Перехват жидких осадков в целом больше (7-38%), чем твердых (4-22%). По

¹² Вместе с тем, для выборочных рубок имеет значение их интенсивность, влияющая на показатель сомкнутости древостоев [Побединский, 1976 с.171].

результатам наблюдений за снежным покровом (вторая половина марта 1985 г.) установлено, что его высота наибольшая на полянах (68 см), а наименьшие значения наблюдаются в еловом лесу (44 см). Одновременно отмечается, что для сплошных вырубок в сравнении с лесом происходит более интенсивное испарение с поверхности снега. Кроме того, указывается, что разница в плотности снега для разных фитоценозов минимальна.

Велико влияние вырубок и последующих сукцессий на процессы испарения (что также подчеркивает взаимосвязи между различными стокоформирующими факторами). Важное место в исследовании этого вопроса занимают работы по таежной зоне Европейского Севера [Крестовский, 1986; Карпечко, Бондарик, 2010], в которых испарение исследуется в зависимости от возраста и таксационных характеристик леса и в связи и показателями стока. В этих работах показано, что со сменой фаз лесного растительного покрова после вырубок изменяются его водопотребление (суммарное испарение) и водоотдача (суммарный сток), при этом такие изменения не только нелинейны, но и знакопеременны. Так, согласно исследованиям О.И. Крестовского, в первые 15 лет после вырубки леса испарение снижается, а сток увеличивается. В 20-25 лет испарение и сток приближаются к значениям характерным для древостоя 100 летнего возраста (условно принимаемым за норму). В период с 25 до 50-60 лет испарение увеличивается, а годовой сток снижается. Далее испарение вновь снижается, а сток возрастает, достигая условной нормы (см. Рис. №3) [Крестовский, 1986, с.77].

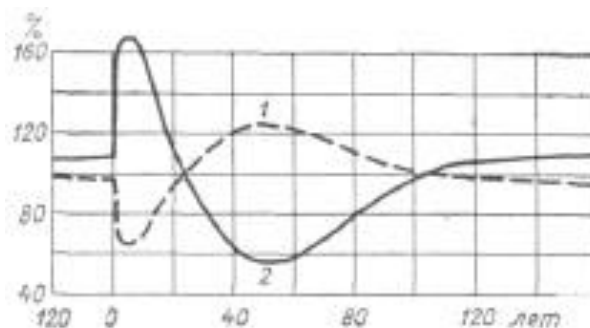


Рис. №3. Влияние возраста леса на средние многолетние значения суммарного испарения за год (1) и годового стока (2) (в % к норме)

Ю.В. Карпечко и Н.Л. Бондарик, анализируя динамику суммарного испарения для древостоев разного породного состава, отмечают, что общей особенностью является уменьшение возраста максимального расхода влаги при улучшении лесорастительных условий (см. Рис. №4), при этом для коренных лесов характерно поддержание устойчивых условий формирования элементов водного баланса [Карпечко, Бондарик, 2010, с.145-146, 160].

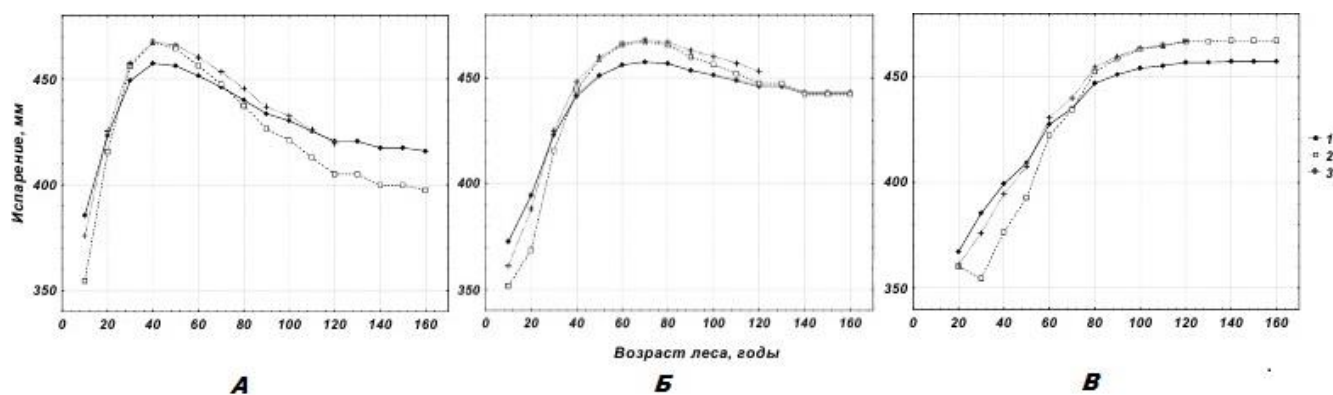


Рис. №4. Суммарное испарение с сосняка (1), ельника (2) и березняка (3) соответственно I (А), III (Б) и V (В) класса бонитета

Рассмотрим влияние на сток озер и болот. При наличии на водосборе *озер*, в особенности проточных, их влияние на сток регуляторное, т. к. они служат временным аккумулятором воды в фазы повышенного стока, которая затем подпитывает реки в меженный период. Таким образом, озера с гидрологической точки зрения служат естественными водохранилищами. Вместе с тем, их регулирующая роль зависит от морфологических характеристик, включая объем, и для малых озер может нивелироваться [Комлев, 2002, с.70,72]. Кроме того, отмечается, что регулирующее влияние озер зависит от пространственного размещения и сильнее «выравнивающий» эффект проявляется для озер, расположенных в нижней части основной реки, в отличие от озер в верховьях гидрографической сети [Андреянов, 1960, с.66].

Наряду с озерами, в качестве гидрологического фактора рассматриваются *болота*, которые также оказывают регулирующее действие (в основном в период половодья), хотя и в меньшей степени относительно озер. А.М. Комлев объясняет это наличием в структуре болот двух различных по мощности слоев — относительно тонкого деятельного (до 60-70 см от поверхности на верховых болотах), с которым связаны быстротекающие процессы водообмена и колебания уровня болотных вод, а также инертного, в котором влагообмен практически отсутствует. Кроме того, следует учитывать характерные для болот малые уклоны местности. Степень регуляции также зависит от увлажнения деятельного слоя в предзимний период, что важно с точки зрения соотношения процессов аккумуляции/стока талых и дождевых вод [Комлев, 2002, с.75-76]. В.Г. Андреянов указывает, что и верховые и «низовые» (низинные) болота способствуют растягиванию половодья, снижая максимальные расходы, за счет фильтрации и аккумуляции талых вод [Андреянов, 1960, с.76].

Завершая обзор стокоформирующих факторов, отметим следующее: их влияние с разной степенью проявляется для разных фаз водного режима рек, а в некоторых случаях может носить взаимокомпенсирующий характер. Так, на «взаимосглаживающий» эффект обращает внимание М.И. Львович на примере снегозапасов и глубины промерзания почв, как факторов фазы весеннего половодья. Большие снегозапасы снижают глубину почвенного промерзания, т. е. больший объем талых вод имеет более благоприятные условия инфильтрации. В противоположном случае объем талых вод меньше, однако больше величина поверхностного стока [Львович, 1986, с.97].

Имеет значение комплексная оценка факторов стокоформирования. Так, Н.И. Воронков указывает на важность всестороннего учета географических особенностей водосбора (геоморфологических особенностей, климатических и метеорологических условий, водно-физических свойств почвогрунтов, биологических особенностей фитоценозов) [Воронков, 1976, с.122]. А.М. Комлев акцентирует, что «при анализе гидрологических процессов всегда следует учитывать не какой-то один фактор, а по возможности весь комплекс этих факторов» [Комлев, 2002, с.63]. Я.А. Маркус и Л.Т. Павлушкин, подчеркивая ландшафтный характер взаимосвязей факторов стокоформирования, отмечают, что «процесс перераспределения свободной влаги характеризуется значительным пространственно-временным разнообразием, предопределенным природными свойствами фаций, закономерно сочетающихся в урочищах» [Гидрологическая роль..., 1989, с.27].

Автором [Бортновский, 2021] обобщены сведения о функциональных особенностях геосистем бассейнов малых рек, позволяющих использовать данные о пространственно-временной изменчивости их стока как экологическом индикаторе.

Таким образом, исследование стока малых рек в контексте его внутригодового распределения и в связи со стокоформирующими факторами, среди которых именно для малых рек повышена значимость неклиматических факторов, находит свое обоснование. Обновленные возможности для этого предоставляют современные технологии геоинформатики и космического землеведения.

Глава 2. Материалы и методы

2.1. Общее описание методического подхода

Ключевыми компонентами анализа выступают внутригодичное распределение стока малых рек и ландшафтно-экологические условия в их бассейнах. При этом внутригодичное распределение стока выступает в качестве «зависимой переменной», т.к. является результатом действия комплекса естественных стокоформирующих факторов (в той или иной степени подверженных антропогенному влиянию), в совокупности определяющих ландшафтно-экологические условия в бассейне. Последние выступают как «независимая переменная» в связи между указанными компонентами.

Влияние ландшафтно-экологических условий на внутригодичное распределение стока рассматривается с позиций прямого и косвенного воздействия. К первой группе относятся факторы, непосредственно определяющие формирование и внутригодичное распределение стока: погодные-климатические условия и специфика неклиматических ландшафтных условий в бассейне, складывающаяся в том числе под влиянием хозяйственной деятельности. Косвенное влияние определяется потенциалом денудационных процессов в бассейне, интенсивность которых также во многом зависит от особенностей природопользования.

Методический подход опирается на дифференцированную информационную базу. Гидрометеорологические данные представляют информационную основу методического подхода. Они же являются и главным лимитирующим фактором его применения ввиду ограниченного пространственного охвата данными фактических наблюдений, а также их продолжительности. Это касается прежде всего стационарных наблюдений за стоком, выражаемых измерениями расхода воды на гидрологических постах в заданном временном промежутке. А также температуры воздуха и количества осадков, измеряемых в рамках регулярных наблюдений на метеостанциях. Для большинства элементов, определяющих ландшафтно-экологические условия, подобные «измерения» (с той или иной периодичностью) не проводятся, в т.ч. потому, что могут использоваться различные критерии, которые в свою очередь будут определять различную методику наблюдения. Способом оценки таких элементов является анализ литературно-справочных данных по территории исследования. Однако этот подход имеет ограничения, связанные с неполной и/или неоднородной по детальности и охвату информационной картиной. Восполнить

этот пробел помогает привлечение данных, полученных с использованием технологий космического земледения, в сочетании с применением инструментов геоинформационного анализа. При решении задач диссертационного исследования этому направлению уделялось особое внимание.

Космическое земледение получило значительное развитие за последние десятилетия. Оно представляет собой «интегральную научно-технологическую дисциплину в области изучения глобальных и региональных изменений природной среды» [Наука..., 2010, с.7]. Использование данных дистанционного зондирования, образуя сферу космического земледения, по-своему обновляет возможности научных исследований оболочек Земли. Источник ДДЗ — электромагнитное излучение, которое отражается от исследуемых объектов или излучается ими. Дистанционные методы позволяют судить о свойствах наблюдаемых объектов по косвенным признакам, без непосредственного с ними контакта. Вместе с тем, при решении задач интерпретации ДДЗ по разным природно-антропогенным объектам важное место занимает наземная сеть контрольно-измерительных полигонов (тестовых участков), которые необходимы для верификации, уточнения моделей и алгоритмов обработки ДДЗ [Козодеров, Кондранин, 2008, с.14,16].

Основными исходными материалами дистанционного зондирования в настоящей работе были мультиспектральные космоснимки (КС), а также созданные с использованием технологий космического мониторинга цифровые модели рельефа (ЦМР). Эти материалы были обработаны средствами геоинформационных технологий для получения данных о ландшафтно-экологических условиях в бассейнах исследованных рек. Унификация исходных данных и единая методика их обработки определяют сопоставимость результатов анализа для разных территорий и на разных временных интервалах.

Важное место в реализации методического подхода занимает интерпретация связи стока малых рек с ландшафтно-экологическими условиями в их бассейнах. Она связана с ранее указанным (раздел 1.3) индикационным подходом ландшафтно-гидрологического анализа. В настоящей работе подход реализуется через интерпретацию пространственно-временной изменчивости внутригодового распределения стока в связи с ландшафтно-экологическими условиями. Пространственная изменчивость определяется анализом внутригодового распределения стока в бассейнах, располагающихся в районах с различными ландшафтно-экологическими условиями (в т.ч. по специфике природопользования). Временная изменчивость

выявляется через анализ отклика внутригодового распределения стока на изменение динамических компонентов ландшафтно-экологических условий.

Результатом такой интерпретации является получение сведений о местной специфике связи в системе "ландшафтно-экологические условия водосборов – внутригодовое распределение стока". Эти сведения помогают понять, как на местном уровне проявляется водорегулирующая функция экосистем [Горшков, 2001; Тишков, 2005]. С практической точки зрения они актуальны для разработки мероприятий по корректировке существующих практик природопользования в бассейнах, в т.ч. в рамках адаптации к вероятным климатическим изменениям.

Практическая реализация методического подхода включает следующие этапы:

1. Предварительный выбор районов (кластеров) исследования с учетом общих ландшафтно-экологических условий.
2. Изучение территориальной обеспеченности гидрометеорологическими данными для выбора речных бассейнов и опорных метеостанций.
3. Определение границ водосборных бассейнов с использованием геоинформационного моделирования.
4. Изучение бассейновых физико-географических условий и особенностей природопользования по литературным данным, в т.ч. предполевая рекогносцировка.
5. Полевые исследования ландшафтно-экологических условий в бассейнах для целей последующего камерального анализа.
6. Сравнительный пространственно-временной анализ факторов стокоформирования с применением данных дистанционного зондирования, цифровых карт, моделей рельефа и геоинформационного моделирования.
7. Анализ абсолютных и относительных гидрометеорологических параметров по данным осреднения в годовых и фазовых выборках с учетом оценки водности анализируемых периодов.
8. Интерпретация реакции внутригодового распределения стока на пространственно-временное изменение ландшафтно-экологических условий.

2.2. Материалы исследования

2.2.1. Цифровая модель рельефа

Для цифрового отображения данных о рельефе используются векторное, растровое представление и триангуляционная модель. Триангуляционная сеть (triangulated irregular network,

TIN) аппроксимирует рельеф многогранной поверхностью, где высоты находятся в узлах треугольной сети. TIN сети применяются для моделирования небольших областей с повышенной точностью. Векторная модель представляет собой совокупность отметок высот (глубин) и изолиний. Растровое представление, использовавшееся в настоящем исследовании, представляет собой матрицу высот в виде ячеек регулярной сетки, каждая из которых имеет установленное значение высоты [Шихов и др., 2017, с.31; Яковченко, 2007, с.15].

В качестве исходных данных о рельефе использовались ЦМР¹³ SRTM3 [Earthdata..., URL], GMTED2010 [USGS..., URL] и ALOS [ALOS..., URL]. SRTM3 с пространственным разрешением 90 м является одной из наиболее широко используемых общедоступных ЦМР, но применительно к району исследования имеет значимый недостаток — в Северном полушарии эта модель охватывает только территории южнее 60° с.ш., что оставляет вне покрытия Прионежский кластер водосборов. Эта особенность повлекла привлечение модели GMTED2010, созданной по материалам различных источников и имеющей несколько версий пространственного разрешения (максимальное — 250 м — использовалось в данной работе). После завершения работ по выделению границ водосборов с использованием SRTM и GMTED2010 был открыт доступ к ЦМР ALOS, которая, имея более высокое пространственное разрешение (30 м), полностью покрывает районы исследования. Поэтому дальнейший морфометрический анализ в установленных границах водосборов проводился уже с использованием этой ЦМР.

2.2.2. Космоснимки

Основным источником данных космического мониторинга послужили материалы съемки со спутников Landsat 5TM (для анализа состояния водосборов к середине 1980-х) и Landsat 8OLI TIRS (к середине 2010-х). Оба спутника имеют мультиспектральную аппаратуру, т. е. проводят съемку в нескольких диапазонах ЭМ-спектра, включая видимый, ближний и коротковолновый ИК, а также дальний ИК диапазоны. Выбор указанных спутников обусловлен рядом факторов: программа Landsat является одной из наиболее длительных в дистанционном зондировании, съемка земной поверхности осуществляется с 1972 г. (запуск КА Landsat 1); начиная со спутников Landsat 4-5 (запущены в 1982 и 1984 г.) съемочная аппаратура имеет близкие технические характеристики — диапазоны спектральных каналов съемки и пространственное разрешение (таблица №6), что

13 В настоящей работе, с учетом выбранного масштаба и детальности данных, понятие ЦМР используется без дифференциации собственно цифровой модели рельефа (высоты непосредственно земной поверхности) и цифровой модели местности (высоты с учетом наземных объектов). Вместе с тем, проведена обработка исходной ЦМР (см. 2.3.1), с целью снижения «шумовой» компоненты от наземных объектов.

позволяет унифицировать процедуры обработки и способствует улучшению интерпретации ретроспективной информации с опорой на современные подспутниковые наблюдения.

Таблица №6. Основные характеристики съемочных систем Landsat 5 и 8 [Landsat satellite missions, URL].

Landsat 5 TM			Landsat 8 OLI TIRS		
Канал	Спектральная зона, нм	Пространственное разрешение, м	Канал	Спектральная зона, нм	Пространственное разрешение, м
-	-	-	1 Visible	0,43-0,45	30
1 Visible	0,45-0,52	30	2 Visible	0,45-0,51	30
2 Visible	0,52-0,60	30	3 Visible	0,53-0,59	30
3 Visible	0,63-0,69	30	4 Red	0,64-0,67	30
4 Near-Infrared	0,76-0,90	30	5 Near-Infrared	0,85-0,88	30
5 Near-Infrared	1,55-1,75	30	6 SWIR 1	1,57-1,65	30
7 Mid-Infrared	2,08-2,35	30	7 SWIR 2	2,11-2,29	30
-	-	-	8 Panchromatic	0,50-0,68	15
-	-	-	9 Cirrus	1,36-1,38	30
6 Thermal	10,40-12,50	120	10 TIRS 1	10,6-11,19	100
-	-	-	11 TIRS 2	11,5-12,51	100

Снимки были выбраны и получены через каталог [EarthExplorer..., URL]. При подборе снимков был задан ряд условий:

- безоблачность сцен в районе интереса (территория водосборов).
- наличие разносезонных сцен.
- сцены отсняты в середине или конце 5 летних периодов гидрологических наблюдений.

Дополнительно были использованы более ранние снимки с КА Landsat 1-3MSS. Они применялись без специализированной обработки, только для визуального дешифрирования с целью обобщенного ретроспективного анализа состояния водосбора. Это в частности позволило установить приблизительный возраст современных производных древостоев в районе водосборов Прионежского кластера, где вырубки являются существенным фактором антропогенной трансформации земельного покрова. Кроме того, для оценки сезонного регулирующего влияния русловых озер в Прионежском кластере использовались KC Sentinel 2MSI, полученные через веб-интерфейс [Sentinel-hub..., URL]. Эти данные за счет более высокой периодичности съемки и

пространственного разрешения позволили проследить относительное изменение площади зеркала озер в течение одного вегетационного сезона¹⁴.

2.2.3. Специализированные геоинформационные ресурсы

При исследовании физико-географических условий водосборов были задействованы отраслевые геоинформационные источники: картографический портал ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, предоставляющий по протоколу WMS доступ к разномасштабным геопривязанным картам и схемам геолого-гидрогеологического содержания [Всероссийский..., URL], а также Единый государственный реестр почвенных ресурсов России Почвенного института им. В.В. Докучаева [Единый..., URL], предоставляющий доступ к цифровой векторной карте почвенно-экологического районирования России М 1:2500000. Использование этих источников позволило анализировать соответствующую информацию непосредственно в ГИС с учетом рассчитанных границ водосборов и других данных.

2.2.4. Гидрометеорологические данные

Гидрологические данные включали среднемесячные расходы воды на выбранных гидропостах, ограничивающих вышележащие водосборы. Были задействованы два периода наблюдений 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг. 5-летние ряды наблюдений использованы с целью сглаживания колебаний отдельных лет. Выбор периодов обусловлен возможностью ретроспективного анализа состояния земельного покрова водосборов по данным Landsat 5 с учетом сопоставимости по прошествии 30 лет с современными данными Landsat 8. Выбор водосборов производился с опорой на каталог гидрологических постов [Предоставление..., URL] при этом в первую очередь учитывалось наличие рядов наблюдений за оба рассматриваемых периода, а также удаленность от метеорологических станций не более 100 км для обеспечения сходства климатических условий в группе (кластере) водосборов. Использовались архивные данные Государственного водного кадастра СССР (серия «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» для соответствующих речных бассейнов) и данные государственного водного реестра России, предоставленные фондодержателем (ВНИИГМИ МЦД) по запросу для научной работы. Метеорологические данные [Доступ к..., URL] включали среднемесячные значения суммы осадков в разных фазах с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов, а также среднемесячные и среднесуточные (для учета оттепелей и

14 Использовались данные 2018 г., т.к. первый спутник семейства Sentinel 2 был запущен только в 2015 г. а также с учетом условия безоблачности данных в периоды половодья и межени.

весенне-осенних переходов через 0°C) температуры воздуха за периоды аналогичные гидрологическим наблюдениям для метеостанций, расположенных в окрестностях исследовавшихся водосборов. Дополнительно, для оценки влияния геоморфологических особенностей на среднемесячные значения осадков и температуры, с учетом сравнительно высокой вертикальной расчлененности в районе Прионежского кластера и расположения опорной метеостанции на сравнительно низких гипсометрических отметках была задействована модель WorldClim v2 [Fick, Hijmans, 2017]. Данные модели содержат набор растровых сеток (grids) с максимальным разрешением ~1 кв.км со среднемесячными значениями климатических параметров, включая температуры и осадки. Модель построена по данным временного диапазона 1970-2000 гг. с опорой на стационарные метеонаблюдения и ряд дополнительных переменных.

2.3. Методика обработки данных

При обработке пространственных данных исследования использовались следующие программы:

- QGIS (Quantum GIS) (v.1.x-v.3.x) – одна из ведущих свободных географических информационных систем (ГИС), обладающая обширным функционалом обработки растровых и векторных данных и включающая пакет дополнительных модулей анализа пространственных данных. Использовалась для обработки и анализа ДДЗ (включая ЦМР); подготовки выходных картографических материалов.
- GRASS (Geographic resources analysis support system) (v.6-v.7) – свободная ГИС, использовалась в оболочке QGIS при проведении гидрологического анализа ЦМР.
- SAGA (System for automated geoscientific analysis) (v.2) – свободная ГИС, использовалась для предобработки ЦМР и морфометрических расчетов.
- SIP (Scanex image processor) (v.4.2) – коммерческая¹⁵ ГИС, использовалась для обработки и анализа ДДЗ.

Для обработки рядов данных гидрометеорологических наблюдений использовались табличные процессоры в составе пакетов MS Office и LibreOffice (v.6).

Тематические компоненты анализа данных рассматривались в работах автора [Бортновский, 2015, 2017, 2019].

¹⁵ Лицензионная копия программы получена по результатам участия автора в школе-олимпиаде по дешифрированию ДДЗ, проводившейся ГК «Сканэкс» и СибГАУ им. М.Ф. Решетнева в 2015 г.

2.3.1. Использование ЦМР для определения границ водосборов по замыкающим створам гидрологических постов и морфометрического анализа

Обработка ЦМР для целей определения границ водосборов включала несколько этапов:

- предварительная фильтрация рельефа
- гидрологическая коррекция
- создание раstra направления стока
- оконтуривание водосбора по замыкающему створу

Этап фильтрации рельефа призван уменьшить шумовую компоненту исходных данных, убирая мелкие неровности при сохранении характерных черт рельефа местности [Свидзинская, URL]. На этапе фильтрации был использован инструмент SAGA Mesh Denoise, который использует двухступенчатую обработку по методике [Sun et al., 2007]. С учетом различий пространственного разрешения ЦМР для исследуемых районов, параметры настройки фильтра выбирались экспериментальным путем. Поскольку фильтр Mesh denoise на момент анализа не был встроен в оболочку QGIS, а исходные данные о рельефе в формате GeoTIFF непосредственно в SAGA не обрабатываются, была выполнена конвертация GeoTIFF/SGRD.

Этап гидрологической коррекции является стандартным для гидрологического анализа ЦМР. Его основной задачей является устранение замкнутых локальных понижений [Свидзинская, URL; Пьянков, Шихов, 2017, с.37]. Это реализуется различными алгоритмами. Наиболее распространен (и использовался в настоящей работе) метод заполнения впадин (Fill Sinks), реализованный во многих ГИС пакетах. Вместе с тем, его недостатком является снижение точности моделирования сети тальвегов на участках с плоским рельефом [Пьянков, Шихов, 2017, с.38]. Альтернативной является метод «разрушения» замкнутых понижений (Breach depressions), реализованный в пакете WhiteboxGAT, но по результатам экспериментального использования в настоящей работе выявилась нехватка имевшейся вычислительной мощности для его применения. Поэтому на этапе гидрологической коррекции был использован модуль SAGA Fill Sinks, использующий методику [Planchon, Darboux, 2001]. Инструмент выполняет коррекцию путем виртуальной «заливки» ЦМР слоем воды, а, после удаления «излишков» оставляет локальные понижения заполненными, при этом для дальнейшего анализа (извлечения дренажной сети) следует активировать в настройках инструмента возможность заполнения не до горизонтальной поверхности, а с сохранением минимального (0,01 градуса) наклона. После завершения обработки в SAGA, данные были конвертированы обратно в GeoTIFF для дальнейшего использования в оболочке QGIS.

Этап создания растра направления стока в общем случае основывается на следующем модельном представлении: вода, «вытекающая» из ячейки ЦМР, распределяется между теми из соседних ячеек, высота которых меньше центральной [Пьянков, Шихов, 2017 с.39]. Существует несколько способов реализации расчета направлений стока. В настоящей работе использовался инструмент GRASS `r.watershed`¹⁶, производящий расчет по умолчанию по методу множественного направления потока (Multiple Flow Direction), суть которого в учете различного уклона к соседним ячейкам с меньшей высотой как весового фактора «доли потока» к соответствующим соседним нижележащим ячейкам [GRASS GIS..., URL; Кошель, Энтин, 2016, с.27]. Инструмент GRASS `r.watershed` позволяет создать и ряд других производных продуктов. Так, возможно воспользоваться опцией создания растра суммарного стока (Flow accumulation) Number of cells that drain through each cell в настройках инструмента. Выходной растр содержит в каждом пикселе количество ячеек, по которым перемещается условный водный поток к данной ячейке и позволяет определить линии тальвегов [Шихов и др., 2014, с.12-13].

Этап автоматизированного оконтуривания водосбора по замыкающему створу проводился с использованием инструмента GRASS `r.water.outlet`. В качестве входных параметров он использует растр направления стока и координаты¹⁷ замыкающего створа (т.е. в нашем случае гидрологического поста). Для корректной работы инструмента важно, чтобы точка створа находилась на оси модельной гидросети, маркируемой растром суммарного стока. В результате генерируется бинарный растр водосбора. Для удобства дальнейшей работы произведена векторизация растра стандартными инструментами QGIS, т.е. получены векторные контуры границ водосбора.

После получения результатов автоматизированной обработки рекомендуется оценить их достоверность, принимая во внимание, что точность результатов обработки ЦМР зависят как от качества самой модели, включая ее пространственное разрешение, так и от местных особенностей рельефа (так, на участках со слаборасчлененным рельефом точность обработки снижается, т.к. на поверхности с близким к нулю уклоном направление стока может быть определено некорректно) [Шихов и др., 2014, с.6]. Для проверки полученный контур границ водосбора совмещался с растровыми подложками карт, содержащих гидрологическую сеть района интереса. В качестве источника карт использовался дополнительный модуль QGIS QuickMapServices, а также общедоступные картографические сервисы. В случае выявления некорректного участка границы

16 В работе [Кошель, Энтин, 2016, с.32] отмечается, что использование данного модуля допустимо также без проведения предварительной гидрологической коррекции ЦМР.

17 Используется система координат растра направления стока.

водосбора, выделенного в автоматическом режиме, векторный контур корректировался вручную с опорой на изогипсы топографических карт, а также ЦМР.

Для водосборов в установленных границах вычислялась стандартная морфометрическая статистика: минимальная, максимальная и средняя высоты, а также стандартное отклонение значений высот по водосбору. Последнее, как показатель отклонения (рассеяния) высот относительно средних значений, косвенно характеризует потенциал гравитационных и водно-эрозионных процессов, поскольку их энергия зависит от изменчивости высот [Погорелов, Думит, 2009, с.92]. Расчет производился по ЦМР ALOS, для которой была проведена дополнительная предобработка с использованием инструмента SAGA DTM Filter. Его суть состоит в поиске и последующей корректировке (инструмент SAGA Close Gaps with SR) участков с высоким пороговым углом в заданной окрестности, что в равнинных условиях с высокой вероятностью является особенностями не собственно рельефа, а расположенных на нем объектов. На рассматриваемой территории это соответствует границе между лесом и вырубками (на момент создания модели) или полями. Далее ЦМР приведена к разрешению 50 м (заглубление в данном случае имело технический характер и связано с вычислительной мощностью для одновременных расчетов по всем водосборам) и отфильтрована с использованием инструмента SAGA Mesh Denoise.

Вычисление статистики возможно производить различными инструментами (в зависимости от типа входных данных). Был использован инструмент QGIS «Зональная статистика», на вход которому поступает растр ЦМР и векторные полигоны водосборов, а результат записывается в атрибутивную таблицу входного векторного слоя.

Также был проведен расчет глубины эрозионного вреза реки, принятый согласно [Владимиров, 2008, с.20] как разность между средней отметкой водораздела и отметкой тальвега русла в створе наблюдений. Указанные характеристики рассчитаны с помощью инструмента GRASS v.rast.stats., использующего на входе векторный линейный слой границ водосборов и растр ЦМР с возможностью выбора расчетных статистических величин, т.е. в данном случае среднего и минимального значения. Далее собственно глубина вреза рассчитана в калькуляторе полей QGIS. Кроме того, с использованием ЦМР построены гипсографические кривые водосборов для анализа их высотной структуры. Гипсографические кривые показывают, какая часть площади находится выше/ниже заданной высотной отметки. Для расчета использовался специализированный инструмент QGIS «Гипсометрические кривые» с шагом вертикальной ступени 10 м и опцией расчета долей площади вместо абсолютных значений, что актуально для совместного анализа

водосборов неодинакового размера. В результате генерируется набор таблиц (по количеству объектов входного векторного слоя) с парными значениями высот и соответствующих долей площади, лежащих ниже соответствующей высотной отметки. Собственно кривые построены с использованием дополнительного модуля DataPlotly в среде QGIS.

Еще одним направлением использования ЦМР была пространственная классификация рельефа для использования при создании карт ландшафтной структуры и денудационной дифференциации водосборов. Были задействованы показатели (индексы) TPI (Topographic Position Index), предложенный [Weiss, 2001] и TRI (Terrain Ruggedness Index), предложенный [Riley et al, 1999].

Алгоритм расчета индекса топографической позиции TPI основывается на вычислении разности между значением высоты ячейки ЦМР и значением средней высоты заданной окрестности, значение которой определяет степень детальности/генерализации результата. Оно было подобрано экспериментальным путем с учетом степени детальности ЦМР и размеров водосборных бассейнов. В результирующем растре TPI ячейкам с положительными значениями соответствуют положительные формы рельефа, отрицательным — отрицательные; нулевые и близкие к ним значения TPI соответствуют плоским участкам либо средним частям склонов¹⁸ [Токарев, Рощина, 2015]. Расчет проводился с использованием модуля SAGA TPI, при этом была задействована опция стандартизации TPI в единицах стандартного отклонения высоты в заданной окрестности (DEV), что позволило применить с учетом схемы [Weiss, 2001; Токарев, Рощина, 2015] следующую категоризацию стандартизированных значений TPI (Таблица №7).

Таблица №7. Граничные значения индекса TPI для элементов рельефа.

№ класса	Элементы рельефа	Граничные значения интервала
1	Гребни, холмы и верхние части склонов	DEV>0.5
2	Пологие участки, средние части склонов ¹⁹	-0.5<DEV<0.5
3	Днища долин, котловин и нижние части склонов	DEV<-0.5

В соответствии с таблицей, растр стандартизированного TPI был реклассифицирован и отфильтрован (SAGA Majority Filter) для улучшения визуального представления, а затем

¹⁸ Разделение собственно средних частей склонов от пологих участков непосредственно с помощью индекса TPI не проводится, однако это, с известной степенью генерализации, возможно в комбинации с привлечением других данных, например углов уклона или индекса TRI.

¹⁹ Эта категория непосредственно в карты не включалась.

векторизован с использованием стандартных инструментов QGIS, что позволило получить пространственные контуры соответствующих элементов рельефа.

Индекс пересеченности (TRI) является показателем неровности (шероховатости) поверхности вычисляемой по данным ЦМР. Оригинальный алгоритм [Riley et al, 1999] определяет значения индекса для каждой ячейки растра путём суммирования изменения высот в пределах окна 3x3 пикселя (как суммарное изменение высот центральной и восьми прилегающих ячеек). Современные реализации алгоритма, в том числе в модуле SAGA TRI, использованном в настоящем исследовании, позволяют варьировать размер окна, что актуально для возможности расчета на разных масштабных уровнях. Размер скользящего окна подобран экспериментальным путем. Расчетные значения TRI применительно к заданной территории были (с учетом характера распределения совокупности значений) классифицированы следующим образом (Таблица №8).

Таблица №8. Локальная классификация по TRI.

№ класса	Граничные значения интервала	Пересеченность рельефа
1	$TRI < 5$	Незначительная
2	$5 \leq TRI < 10$	Повышенная
3	$10 \leq TRI < 20$	Высокая
4	$TRI \geq 20$	Очень высокая

Аналогично индексу TPI, в соответствии с таблицей была проведена реклассификация, фильтрация и векторизация растра TRI с получением пространственных границ выделенных классов.

2.3.2. Использование космоснимков для оценки состояния и динамики земельного покрова водосборов

С развитием технологий дистанционного зондирования в эколого-географических исследованиях получил распространение термин «land cover» (иногда определяется как «ландшафтный покров»), который по сути означает совокупность (био)физических свойств земной поверхности, формирующих дистанционное изображение. При этом «land cover»-карты показывают пространственную информацию о различных типах физического покрытия на земной поверхности (например: леса, болота, пахотные земли и т.п.), т.е. земельного покрова. [Козлов, 2006, с.124; Пузаченко и др., 2014, с.5; FAO Land cover..., URL(a); Land cover..., URL(б)].

Оценка состояния и динамики земельного покрова проводилась путем классификации КС по заданному набору классов в границах водосборов с расчетом долей, занятых соответствующими классами.

Схема классификации учитывала деление анализируемой территории на два обобщенных «макрокласса» лесных и нелесных земель, внутри которых в свою очередь выделялись заданные классы (таблица №9).

Таблица №9. Структура классификации.

Макрокласс	№ класса	Наименование класса	
Лесные угодья	1	Нормального увлажнения	Преимущественно темнохвойные
	2		Смешанные
	3		Преимущественно мелколиственные
	4	Заболоченные	
Нелесные угодья	5	Болота	
	6	Вырубки необлесенные	
	7	Вырубки зарастающие ²⁰	
	8	Сельскохозяйственные угодья (пашни, пастбища, сенокосы)	
	9	Водные объекты (озера)	

В качестве основного метода использовалась классификация с обучением (управляемая), на промежуточных этапах также задействовались методы неуправляемой (без обучения) классификации. Основная классификация базировалась на КС вегетационного периода, на промежуточных этапах использовались также зимние снимки.

Исходные данные Landsat (сцена) представляют собой архив с отдельными изображениями в каждой спектральной зоне в формате GeoTiff (с пространственной привязкой) и файлом метаданных (MTL) с технологической информацией, используемой для дальнейшей обработки.

²⁰ В данный класс при классификации включены также ветровально-буреломные комплексы появившиеся в бассейне р Большая Ельма в период 2010-х и имеющие незначительное распространение.

Важным шагом предварительной обработки является этап радиометрической калибровки. Его необходимость обусловлена тем, что полученные для дальнейшего анализа исходные данные содержат «сырые» безразмерные значения яркости (DN, digital number). Эти значения не несут непосредственного физического смысла и не сопоставимы для независимых наборов данных (разных сцен). Метаданные отдельной сцены позволяют пересчитать значения DN в один из двух физических параметров — спектральную энергетическую яркость (radiance) или отражательную способность (reflectance) [Казаков и др., URL; Landsat 8..., URL]. При классификации использовался пересчет DN – reflectance. Эта и большинство последующих операций с КС проводились с использованием дополнительного модуля полуавтоматической классификации (Semi-Automatic Classification Plugin, SCP) [Congedo, 2016] в среде QGIS. Радиометрическая калибровка входит в блок предобработки КС модуля SCP, которая также позволяет провести процедуру атмосферной коррекции и расчета яркостной температуры в Цельсиях для тепловых каналов. Для проведения предобработки (радиометрическая калибровка — по умолчанию, остальные — опционально) достаточно указать расположение директории с исходными данными (включая файл метаданных) и директории для поканальной записи результатов.

Для ускорения последующей обработки, в модуле SCP была произведена обрезка растров с учетом границ водосборов (с буферным запасом), полученных с использованием ЦМР.

Для проведения классификации с обучением следует осуществить настройку набора каналов (band set) с указанием типа КА и длин волн из предустановленного списка. Эти данные модуль SCP использует как входные для классификации [Congedo, 2016, p.38]. Далее создается файл, в который затем записывается информация об «эталонах» выделяемых классов и их спектральных сигнатурах (особенностях отражения излучения на разных участках ЭМ спектра, т.е. в разных каналах). Следующим шагом задаются собственно «эталонные» (Training areas, ROI) каждого определяемого класса. Каждый эталон представляет собой группу пикселей с близкими спектральными сигнатурами. Для одного класса возможно указать несколько «эталонных». Выделение «эталонных» происходило с использованием «опорных точек», отмеченных автором в специализированных полевых маршрутах: летом 2013 г. в Вологодском районе (Вологодский кластер водосборов) при участии А.А. Медведкова; летом 2014 г. в Вытегорском районе (Прионежский кластер водосборов) и Вологодском районе с участием д.г.н. С.П. Горшкова и к.г.н А.А. Медведкова. Опорные точки включали краткую характеристику рельефа, почвенно-растительного покрова (видовое разнообразие растительных ярусов, почвенные прикопки). Их координаты были зафиксированы с

помощью GPS приемника. Схема маршрутов непосредственно в районе водосборов представлена на Рис. №5.

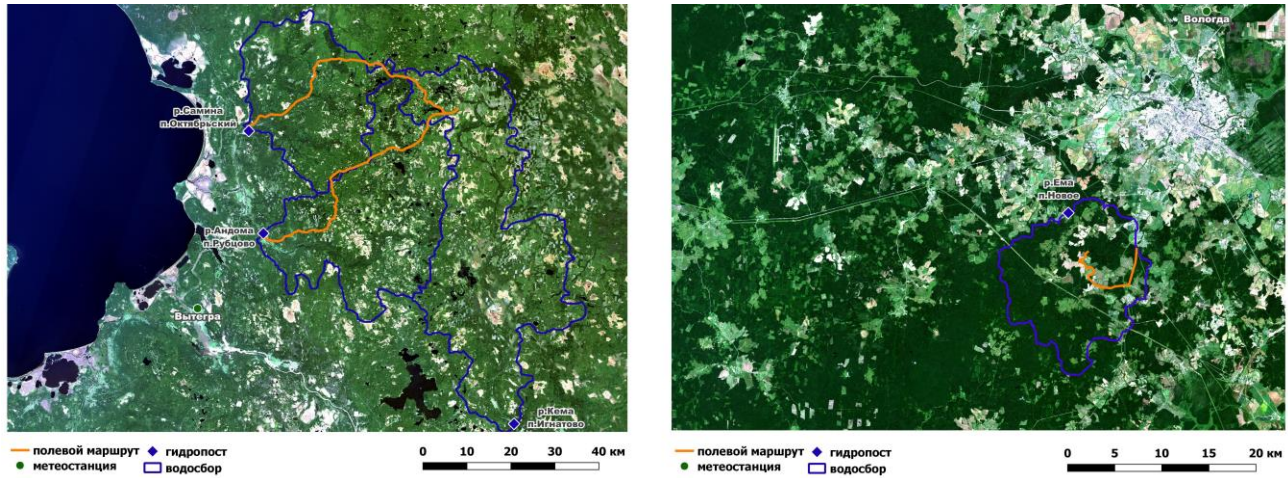


Рис. №5. Полевые маршруты в границах водосборов Прионежского (слева) и Вологодского (справа) кластеров (Landsat, 2013 г., 2014 г., синтез каналов видимой зоны спектра, Red-Green-Blue)

Маршрутные «опорные точки» охватили большинство выделенных классов земельного покрова. В качестве дополнительной информации при выделении «эталонов» использовались материалы общедоступных картографических интернет-сервисов. Далее выполняется собственно классификация, т.е. отнесение каждого пикселя исходного растра КС к тому или иному классу из ранее заданного перечня. Модуль SCP поддерживает несколько способов классификации с обучением. Исходя из опыта проведенных автором экспериментальных классификаций, был выбран способ максимального правдоподобия (*maximum likelihood*). Для этого способа в двумерном пространстве признаков классы моделируются как эллипсы (в многомерном - эллипсоиды) с центром в точке со средними для класса значениями спектральной яркости, вытянутые в направлении их наибольшего разброса. Вероятность принадлежности к какому-либо классу тем выше, чем ближе значение спектральной яркости конкретного пикселя к центру соответствующего эллипса [Малышева, 2012, с.99]. Была задействована возможность модуля SCP для проведения классификации по векторной маске, в качестве которой использовались установленные границы водосборов.

Постобработка результатов классификации включала отсеивающую фильтрацию полученного растра стандартным инструментом (GDAL sieve) для удаления «шумовой» компоненты (небольшая группа пикселей одного класса внутри ареалов другого класса) и фильтрацию (SAGA Majority Filter) для улучшения визуального отображения. Кроме того, для водосборов Вологодского

кластера была проведена дополнительная классификация без обучения для зимних снимков, позволившая разграничить макроклассы. Это вызвано тем, что для указанного района характерна повышенная доля сельскохозяйственных земель с неоднородной спектральной яркостью, обусловленной различным состоянием подстилающей поверхности (интенсивностью вегетации в момент съемки), при этом доля других классов в составе макрокласса нелесных угодий по результатам предварительного визуального дешифрирования минимальна. В этих условиях из полученного контура нелесного макрокласса удалены участки несельскохозяйственных угодий, после чего он использован в качестве маски для присвоения в ее пределах классифицированному растру значения класса сельскохозяйственных земель. Данная операция проведена с использованием инструмента редактирования растра (edit raster) модуля SCP.

Завершающим шагом классификации являлся расчет статистики (classification report в модуле SCP), показавший доли каждого класса в классифицируемой площади.

2.3.3. Использование космоснимков для относительной оценки испарения с различных типов земельного покрова

Оценка испарения проводилась косвенным методом по данным КА Landsat 8 в летний период (июль) с использованием показателя температуры подстилающей поверхности для преобладающих типов земельного покрова, выделенных на водосборах. Оценка опиралась на упрощенное уравнение теплового баланса (1):

$$R=LE+P \quad (1)$$

где LE – скрытое тепло испарения, P – явное тепло от подстилающей поверхности к атмосфере [Будыко, 1977]. Принималось, что чем ниже значение явного тепла, выражаемое температурой, тем выше значение скрытого тепла, как показателя испарения. Ввиду связи параметра LE с состоянием растительного покрова дополнительно произведен расчет нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), как относительного показателя фотосинтетически активной биомассы, и нормализованного разностного индекса влажности (NDMI) как относительного показателя влагосодержания в почвенно-растительном покрове [Landsat Surface..., URL].

Расчет температуры подстилающей поверхности проводился с использованием модуля Land Surface Temperature в среде QGIS для теплового канала съемки КА Landsat 8 (band 10). Алгоритм, согласно [Isaya Ndossi, Avdan, 2016], включал перевод «сырых» значений яркости (DN) в спектральную энергетическую яркость (radiance), последующую конвертацию в яркостную температуру (at-sensor brightness temperature) и расчет собственно температуры подстилающей

поверхности с использованием показателя отражающей способности (emissivity). Поскольку съемка районов кластеров ведется с разных орбитальных траекторий (съемка не одновременная), расчет температур подстилающей поверхности проведен для районов кластеров с разницей в 5 суток. Расчет индексов NDVI и NDMI проводился позднее на обновленных данных Landsat 8, прошедших дополнительную процедуру атмосферной коррекции по методу LaSRC от поставщика (USGS). Использованы инструменты растровой алгебры QGIS по стандартным методикам (2,3):

$$\text{NDVI}=(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}) \quad (2)$$

$$\text{NDMI}=(\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR}) \quad (3)$$

где: SWIR – отражение в среднем ИК-диапазоне (band 6), NIR – отражение в ближнем ИК-диапазоне (band 5), RED – отражение в красном диапазоне (band 4) [Landsat Surface..., URL].

Определение значений температуры подстилающей поверхности, NDVI и NDWI для разных типов земельного покрова включало следующие процедуры. Векторизация раstra классификаций земельного покрова с последующим применением обратного (отрицательного) буфера размером 50 м с целью минимизировать влияние локальных экотонов между классами. Далее – объединение полигонов по признаку общего типа земельного покрова и расчет медианных значений и стандартного отклонения выборки по растрам соответствующих показателей, с записью в атрибутивную таблицу слоя. Операции проведены с использованием стандартных инструментов QGIS для векторной обработки и зональной статистики.

2.3.4. Картографирование денудационной дифференциации водосборов для зонирования режимов природопользования

Оценка денудационной неоднородности опиралась на использование данных о геоморфологических и почвенно-литологических особенностях территории, а также о растительном покрове. Она включала следующие этапы. Сначала произведена теоретическая классификация по относительной шкале в категориях «высокого», «умеренного» и «низкого» денудационного потенциала применительно к морфометрическим и почвенно-литологическим условиям исследуемых водосборов согласно определенным параметрам. Для дифференциации по геоморфологической неоднородности использован индекс пересеченности (Terrain Ruggedness Index) (см. раздел №2.3.1). Классификация проведена по таблице №8, с учетом объединения категорий «высокий» и «очень высокий». Соответствующие категории внесены в качестве атрибутов в ранее полученный векторный слой. Дифференциация почвогрунтов по денудационному потенциалу выполнена следующим образом. Основным источником исходной

информации послужили карты четвертичных отложений исследуемой территории (М-ба 1:1 000000 и, частично, 1:200 000) ВСЕГЕИ, дополненные данными о почвенном покрове [Комиссаров, 1987; Единый..., URL; Национальный..., 2011]. Был составлен общий перечень почвогрунтов для обоих кластеров. Их относительная дифференциация по категориям денудационного потенциала (см. гл. 3.3) опиралась на литературные данные [Почвенно-геологические..., 1984; Маккавеев, 1998]. Категории также внесены как атрибуты контуров, оцифрованных с опорой на карты четвертичных отложений.

Далее на основе дифференциации по почвенно-литологическим и морфометрическим критериям проведена авторская оценка «синтетического» денудационного потенциала (см. гл. 3.3, табл. №13). Согласно таблице №13, с использованием операций векторного оверлея построена карта, отображающая «статический компонент» денудационного потенциала, который непосредственно не контролируется антропогенной деятельностью, в отличие от третьего важного фактора денудационных процессов — растительного покрова.

Далее проведено совмещение карты «статической» денудационной дифференциации и слоя растительного покрова, созданного по результатам классификации космоснимков (см. раздел №2.3.2) с соответствующей модификацией (см. табл. №14). Полученные данные использованы как основа для зонирования режимов природопользования (см. раздел №3.3.2).

2.3.5. Обработка гидрометеорологических данных

Исходные гидрометеорологические данные были структурированы в формате электронных таблиц. Для корректности сопоставления стока рек с исходно неодинаковой водоносностью был осуществлен пересчет абсолютных значений стока, выраженных в куб.м./сек, к относительным, выраженным долей каждого месяца в общегодовом стоке, принятом за 100%. Для указанных 5-летних рядов проведена оценка водности относительно многолетних (1970-2014 гг.) рядов по р.Ема для Вологодского кластера и по р.Андома для Прионежского кластера. Для этого использовано среднее значение водности в 5-летнем ряду относительно среднемноголетней водоносности.

Относительные среднемесячные значения, наряду с абсолютными, использованы также при оценке внутригодового распределения осадков. Средние значения за каждый из двух 5-летних периодов получены осреднением соответствующих месячных значений, за исключением значений среднесуточной температуры, с помощью которых проанализированы оттепели за оба периода как количество дней с положительной температурой в период с ноября по март за все годы внутри

каждого периода. Расчеты и графическая визуализация гидрометеорологических данных проводились с использованием стандартного инструментария табличного процессора.

При оценке влияния геоморфологического фактора на значения температуры и осадков в районе Прионежского кластера по данным WorldClim, было проведено единовременное вычисление и сравнение средних значений осадков и температуры по векторным полигонам водосборов и «микрополигона» (субпиксельного) метеостанции с использованием инструмента QGIS «Зональная статистика».

Таким образом, исследование опирается как на классические данные мониторинга, так и на данные, полученные с использованием средств космического земледения, а также геоинформационных технологий. Это позволило провести важные для достижения цели исследования этапы, связанные с пространственным разграничением бассейнов, оценкой их природных условий, состояния земельного покрова и его изменений.

Глава 3. Природные условия и освоение ландшафтов в районах водосборов

Одним из сторонников концепции «единой географии» В.А. Анучиным отмечалось, что «познание географической среды на основе изучения действия в ней одних только законов природы ... совершенно недостаточно. Ее сущность и специфика состоит во взаимодействии разнокачественных закономерностей (естественных и общественных). Вот почему для своего познания она требует широкого системного подхода как к особой общественно-природной системе, требует концентрации внимания на происходящих внутри нее проявлениях взаимодействия общественных и естественных закономерностей» [цит. по: Сдасюк..., 2006, с.30]. С другой стороны, В.Б. Сочавой в учении о геосистемах определено, что они являются природными образованиями, но вместе с тем обозначено, что, будучи в основе природной, геосистема включает преобразования, внесенные социально-экономическими факторами, т. к. последние влияют на внутренние связи геосистемы [Сочава, 1978, с.19-20]. Такой подход позволяет раскрыть особенности ландшафтно-экологических условий в районах водосборов.

3.1. Физико-географическая характеристика

3.1.1. Геологическое строение

Тектоника. Оба кластера располагаются в северной части Русской плиты Восточно-Европейской платформы и относятся к структурному элементу платформы — Онежско-Сухонской моноклинали. Здесь фундамент погружается к юго-востоку. Вследствие этого мощность осадочного чехла в районах водосборных кластеров существенно отличается. На территории Прионежского кластера, вблизи Балтийского щита, фундамент залегает преимущественно на глубинах менее 0,5 км. Только в южной части водосбора²¹ р.Кемы, в районе Индоманской впадины, залегание фундамента по данным бурения более 0,6 км. Наименьшая мощность осадочного чехла наблюдается в северо-западной части кластера. Так, по данным опорной скважины в районе гидрологического створа на р.Самина фундамент вскрыт на глубине 0,21 км. На территории Вологодского кластера глубина залегания фундамента в районе водосбора р.Большая Ельма уже 1,8 км, а р.Ема — более 2 км [Природа..., 2007, с.9; Атлас..., 2007, с.20].

21 Здесь и далее «водосбор» и «бассейн» употребляются относительно створов гидропостов, если не указано иное.

Стратиграфия. Породы от архея до силура включительно на территории Вологодской области, в т.ч. в районах водосборных кластеров, вскрыты только буровыми скважинами [Природа, 2007, с.12].

В районе Прионежского кластера непосредственно под четвертичными отложениями залегают породы девонской, каменноугольной и пермской систем [Государственная..., 2000 (а); Атлас..., 2007, с.22]. Породы девонской системы выходят на дочетвертичную поверхность в западной части водосбора р.Самины (~1/3 водосбора). Они представлены верхнедевонскими песками, песчаниками с прослоями глин, алевролитов, мергелей. Мощность девонских отложений на северо-западе Вологодской области более 100 м [Геология..., 2014, с.22,24; Геологическое..., 2001, с.28]. Максимальное распространение на территории водосборов Прионежского кластера имеют породы каменноугольной системы, которые имеют северо-восточное простирание и представлены всеми тремя ярусами. Их мощность в западных районах области 60-190 м. Нижнекарбоновые отложения распространены на дочетвертичной поверхности водосборов р.Самина, в меньшей степени — р.Мегра и р.Андома. В нижнем карбоне преобладают песчаники и глины, с прослоями известняков, доломитов и мергелей, при этом доля карбонатных пород возрастает вверх по разрезу нижнекаменноугольных пород. Среднекарбоновые отложения имеют наибольшее распространение на водосборе р.Андома, р.Мегра, в меньшей степени — р.Самина и р.Кема. Они представлены преимущественно карбонатными породами со следами древней фауны — известняками, доломитами, мергелями с редкими прослоями песчаников, алевролитов, глин. Вверх по разрезу увеличивается загипсованность карбонатных пород. Верхний карбон под четвертичным чехлом имеет наибольшее распространение в бассейне р.Кема. Это отложения также главным образом карбонатные (известняки, доломиты), нередко с линзами гипса, включениями кремня. Отложения среднего и верхнего карбона в значительной степени закарстованы. [Природа..., 2007. с.14,15; Геология..., 2014, с.26-29; Геологическое..., 2001, с.29,30]. Минимальное распространение имеют нижнепермские отложения, которые залегают только на юго-востоке водосбора р.Кемы (~1/8 водосбора). Они представлены ассельским ярусом, сложенным преимущественно карбонатными породами — известняками, доломитами с прослоями ангидрита, гипса, реже — галита [Природа..., 2007. с.15; Геология..., 2014, с.29-30].

В районе Вологодского кластера дочетвертичная поверхность образована отложениями верхней перми и нижнего триаса [Государственная..., 2016 (а); Атлас..., 2007, с.22]. Верхнепермские образования полностью охватывают водосбор р.Большая Ельма. Это отложения глин, мергелей, алевролитов, доломитов, песчаников. Дочетвертичная поверхность водосбора

р. Ема покрыта отложениями нижнего триаса, сложенного преимущественно глинами, алевролитами, песчаниками [Природа..., 2007. с.15,16; Геология..., 2014, с.32-35].

Развитый чехол четвертичных отложений в целом отличается пестротой. Его формирование связано с неоднократным наступлением ледниковых покровов, размывом предыдущих осадков водноледниковыми потоками, эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек и озер [Геологическое..., 2001, с.31].

Состав четвертичных образований тесно связан с их генезисом. Так, плейстоценовые гляциальные отложения представлены в основном суглинками, в т.ч. валунными; лимногляциальные отложения имеют более «пестрый» состав, включая «ленточные глины»; флювиогляциальные образования сложены песками с гравием и галькой. Голоценовые аллювиальные отложения представлены песками и галечниками; биогенные — торфом [Государственная..., 2000 (б); Государственная..., 2016 (б)].

В районе Вологодского кластера четвертичные отложения связаны в основном с московским оледенением. Так, на водосборе р.Ема преобладают гляциальные отложения основной морены, которым сопутствуют лимногляциальные образования. Для всей территории водосбора характерен чехол покровных суглинков. Мощность четвертичных отложений с опорой на данные разрезов и скважин, прилегающих к району водосбора, — 100 м и более. Со средним и нижним течением главных рек обоих водосборов связаны аллювиальные отложения. Водосбор р.Большая Ельма находится в пограничной зоне московского и валдайского оледенения. Границы последнего маркируются цепочкой конечно-моренных холмов, «языкообразно» вдающихся на территорию водосбора со стороны Кубенского озера. В целом на водосборе р.Большая Ельма преобладают гляциальные образования основной московской морены, а также краевой и основной валдайской морены, которым сопутствуют валдайские лимногляциальные отложения. Покровные суглинки занимают менее половины площади водосбора. Мощность четвертичного чехла по данным скважин 50-70 м, по данным разреза в 1 км ниже гидропоста — около 20-30 м [Государственная..., 2000 (в); Государственная..., 2016 (а), (б)].

Четвертичный покров водосборов Прионежского кластера связан с валдайским оледенением. На всех водосборах этого кластера преобладают гляциальные и лимногляциальные отложения, а на водосборе р.Кема заметно также участие флювиогляциальных образований. Фрагментарное распространение в Прионежском кластере имеют биогенные отложения. Аллювиальные отложения приурочены к наиболее крупным водотокам. Мощность чехла четвертичных образований водосборов по данным [Государственная..., 2000 (б)] различна. Так, наиболее мощный чехол — в

диапазоне 50-100 м отмечается на большей части водосбора р.Самина. Для водосбора р.Мегра характерны мощности 20-50 м. На водосборе р.Кема мощность четвертичных отложений наименьшая — в основном 10-20 м, за исключением верховий, где она возрастает. Для водосбора р.Андома характерна наибольшая амплитуда колебаний от более 50 м до менее 10 м в низовьях, преобладают мощности 20-50 м. По данным [Геологическая..., 1971; Геологическая..., 1973; Государственная..., 1998; Государственная... 1999 (а), (б)], р.Кема, р.Андома, р.Мегра на отдельных участках в нижних частях водосборов вскрывают дочетвертичные отложения (для р. Самины соответствующие листы карты на момент обследования отсутствовали). При этом для этих водосборов, за исключением р.Кемы, низовья бассейнов располагаются в зоне распространения девонских и/или нижнекарбоновых отложений.

3.1.2. Гидрогеологические условия

С точки зрения гидрогеологического районирования Прионежский кластер располагается в районе преимущественно трещинно-пластовых и карстово-пластовых подземных вод в основном в карбонатных породах, а Вологодский — преимущественно поровопластовых подземных вод в основном в терригенных слабосцементированных породах. [Картография..., URL].

Водоносными являются горизонты с преобладанием песков, супесей, песчано-гравийного материала, а также трещиноватые известняки, мергели, доломиты, песчаники и алевролиты. Местными водоупорами являются глины озерного происхождения.

В толще четвертичных отложений разнообразие генетических типов и различия в литологии обуславливают различную, но в целом невысокую водообильность (наибольшая во флювиогляциальных и аллювиальных горизонтах), тяжелый механический состав не способствует инфильтрации и накоплению грунтовых вод.

Наименьшая водообильность дочетвертичных пород характерна для триасовых отложений, а наибольшая для каменноугольных [Филенко, 1966, с.14; Природа, 2007, с.91; Авдошенко, Труфанов, 1989, с.64-67]. По данным [Государственная..., 2000 (б), Природа..., 2007, с.58] в районе низовий водосборов р.Кема и р.Андома отмечаются участки с формами покрытого карста в виде ложбин, воронок; а вблизи границ водосбора р.Мегра располагается несколько групп карстовых «периодически исчезающих» озер, на дне которых имеются воронки просасывания, иногда с понорами [Природа, 2007, с.128; Особо охраняемые..., 1993, с.108]²². Для акватории одного из

22 О связях карстовых подземных вод рассматриваемого района с поверхностными свидетельствует случай, описанный в одном из томов капитального труда рубежа XIX-XX века «Россия: полное географическое

таких озер — Шимозера изменение площади зеркала в результате спуска воды в воронку было зафиксировано при проведении анализа состояния бассейна р.Мегра с использованием КС (Рис. №6)²³.

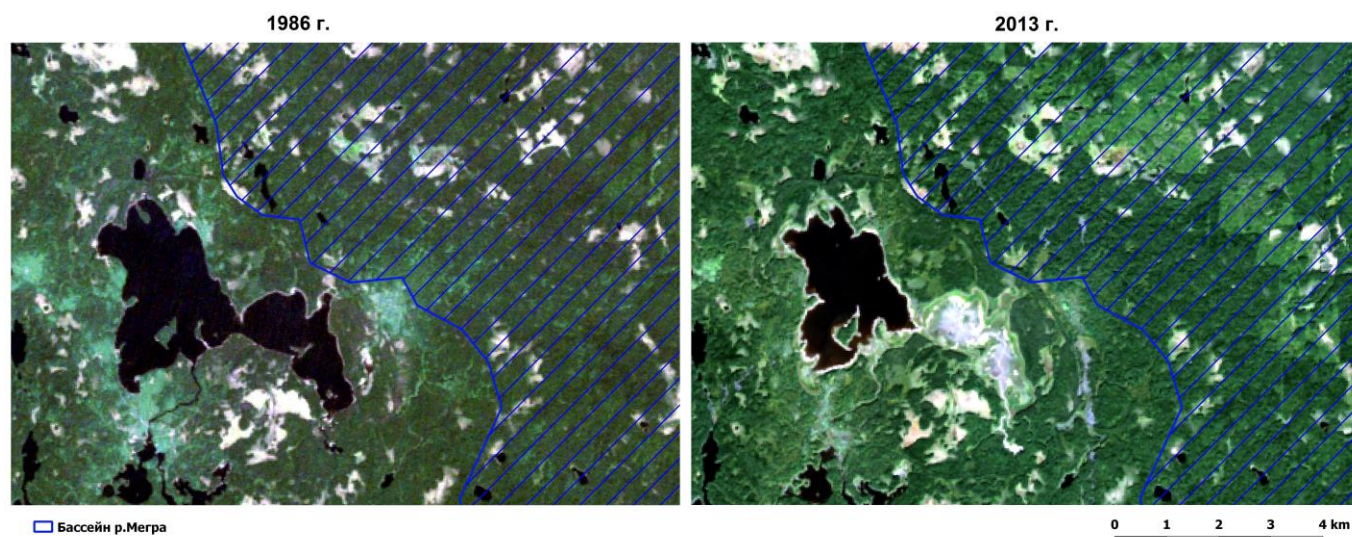


Рис. №6. Гидрологические проявления карстовых процессов в акватории оз.Шимозеро вблизи границ бассейна р.Мегра (Landsat, синтез каналов видимой зоны спектра, Red-Green-Blue)

Карстовые воды в западных районах области (к которым относится район Прионежского кластера) участвуют в питании рек [Филенко, 1966, с.14] (вместе с тем следует принять во внимание фактор генерализации).

3.1.3. Геоморфологические особенности

Структурная основа рельефа в районе обоих кластеров сложилась в дочетвертичное время. Связь с дочетвертичным рельефом наиболее выражена на северо-западном крыле Московской синеклизы (район Прионежского кластера), где образованию возвышенностей способствовали выступы карбонатных отложений, устойчивых к денудации. Плейстоценовые оледенения трансформировали структурно-денудационный дочетвертичный рельеф в ледниково-

описание нашего Отечества» (цит. с современной орфографией): «В августе 1872 года река Мегра, впадающая в Онежское озеро, выступила из берегов и понеслась шумным потоком, заливая покосы, снося стоги сена и постройки; причиной такого необычайного разлития оказался прорыв наружу подземной реки, обнаружившийся среди сенокоса и доставивший на дневную поверхность огромное количество воды, бившей фонтаном в 2 сажени вышиной. Теперь на этом месте образовался пруд с ручейком, текущим из него» [Россия..., 1900, с.31].

23 Отметим, что район Шимозера и близлежащих озер (т.н. «озера Шимозерской группы») площадью около 150 кв.км. является бессточным по поверхностному стоку. Вопрос о путях подземного стока однозначно не решен, но в [Озерные..., 1982, с.75] отмечается высокая вероятность разгрузки именно через водосбор р.Мегра. Таким образом, вышеуказанные аспекты косвенно свидетельствуют о неполном совпадении поверхностного и подземного водосбора применительно к р.Мегра.

аккумулятивный, образованный комплексом процессов наступления ледника, его деградации, когда на формы рельефа «подвижного» льда, накладывались формы «пассивного» льда, а на ледниковые формы — водно-ледниковые [Природа..., 2007, с.38, с.43; Геологическое..., 2001, с.49].

Согласно геоморфологическому районированию рассматриваемая территория относится к макрорегиону Русской равнины, в пределах Северорусской геоморфологической провинции, для которой характерен ледниковый и водно-ледниковый рельеф [Природа..., 2007, с.61,62; Кичигин, 2007, с.66]. При районировании на уровне геоморфологических областей существует несколько подходов. Так, в работе [Геологическое..., 2001, с.49] разграничение геоморфологических областей проводится по границам оледенений на территории Вологодской области: Днепровского, Московского (большая часть Вологодского кластера) и Валдайского (Прионежский кластер). Альтернативный подход [Природа..., 2007, с.62; Кичигин, 2007, с.66] выделяет две геоморфологические области Западную (район обоих кластеров) и Восточную. Западная область приурочена к району позднеплейстоценового покровного оледенения и к югу от его границы. Отмечается, что в этой области ледниковые и водно-ледниковые формы рельефа выражаются отчетливо. В восточной геоморфологической области рельеф создавался на протяжении нескольких ледниковых эпох. Однако выраженность разновозрастных ледниковых и озерно-ледниковых форм разных оледенений почти одинакова и менее отчетлива, чем в западной области. Отмечается, что использование границ оледенений как маркеров геоморфологических областей в ряде случаев затруднено вследствие неоднозначности в определении границ оледенений, в частности валдайского²⁴. В настоящее время площадь его покрытия определена меньшей [Lunkka et al., 2001], чем считалось ранее. Исходя из указанных представлений, на территории области выделяется в первом случае 24 [Геологическое..., 2001], а во втором 33 [Природа..., 2007] геоморфологических района. При этом наиболее выраженные геоморфологические районы сходны в обеих классификациях.

Крупные геоморфологические единицы в районе Прионежского кластера это Прионежская низина, Вепсовская (Вепсская) и Андомская²⁵ возвышенности, а также Кемская равнина. Прионежье в целом отличается наибольшей степенью вертикального расчленения рельефа. Здесь располагаются наиболее низкая (Онежское озеро, 33 м) и наиболее высокая (Вепсовская

24 Например, различные трактовки границ валдайского оледенения на рассматриваемую территорию можно наблюдать на карте четвертичных образований (лист О-37) изданных ВСЕГЕИ в 2000 и 2016 г. [Государственная..., 2000 (в); Государственная..., 2016 (б)].

25 Андомская возвышенность примечательна тем, что в ее пределах находится точка схождения сразу трех макрорегиональных бассейнов стока: Беломорского (р.Онега), Каспийского (р.Волга), Балтийского (р.Нева). Эта точка прилегает к северо-восточной границе водосбора р.Кема. Подробно данный феномен описан в работе [Великий..., 2000].

возвышенность, г.Мальгора, 304 м) гипсометрические отметки на всей территории Вологодской области.

Прионежская низина (низовья водосборов р.Мегра, р.Андома, западная часть водосбора р.Самина) представляет собой террасированную равнину с комплексом форм озерно-ледникового, озерного и болотного генезиса поздне- и послеледникового возраста. Высотным рубежом служит отметка 140 м — граница распространения террасового комплекса. В рельефе преобладают озерные равнины (нижние террасы, до высоты 60 м) и абразионно-аккумулятивные озерно-ледниковые равнины. Вепсовская возвышенность (водосбор р.Мегра, кроме низовья) и Андомская возвышенность (водосбор р.Андома, кроме низовья, верхняя часть водосбора р.Кема) имеют на рассматриваемой территории сходные геоморфологические особенности. Здесь преобладают моренные холмы в сочетании с камами, озами. Много небольших озер, междуречья нередко заболочены. Долины рек в среднем течении глубоко врезаются. Кемская равнина (нижняя часть водосбора р.Кема) образована плавным переходом от Андомской возвышенности к югу. Здесь также встречаются участки холмисто-моренного и камового рельефа, но меньше вертикальная расчлененность. Встречаются заболоченные участки. Центральная часть водосбора р.Кемы в пределах равнины занята зандровыми полями. Долина реки приурочена к ложбине стока ледниковых вод [Природа..., 2007, с.62,63; Геологическое..., 2001, с.49-51].

Район водосборов Вологодского кластера почти полностью (кроме низовьев р.Большая Ельма) располагается в границах одноименной возвышенности. Вологодская возвышенность выделяется по нижнему гипсометрическому рубежу 150-160 м, соответствующего высоте подъема активно воздействовавших на рельеф приледниковых водоемов. Распространен средне- и мелкохолмистый рельеф в сочетании с полого всхолмленными и плоскими участками. На северо-западе возвышенности в границах водосбора р.Большая Ельма выделяются Леоново-Чуровские гряды. Здесь встречаются элементы конечно-моренного рельефа (моренные холмы, гряды, озы) в т.ч. на границе валдайского оледенения. Низовья водосбора р.Большая Ельма примыкают к озерно-ледниковой террасированной Кубенской низине [Природа..., 2007, с.65,66; Геологическое..., 2001, с.51].

Основные морфометрические характеристики водосборов, вычисленные по данным ЦМР, приведены на рис. №7 и в таблице №10.

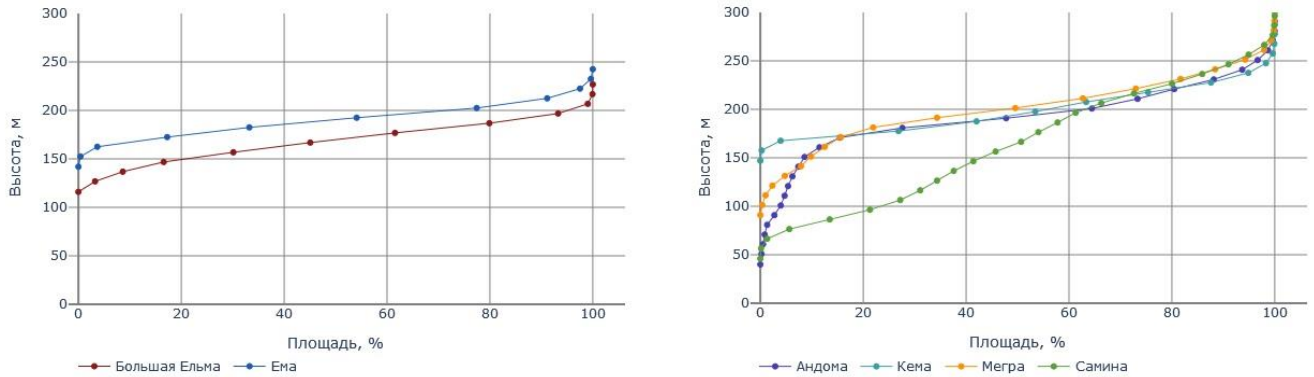


Рис. №7. Гипсографические кривые водосборов Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров

Особенности гипсографических кривых показывают, что на водосборах Вологодского кластера распределение высот более равномерно (и сходно), чем на Прионежском, где более выражены высотные ступени, отражающие небольшую долю площади с наибольшими высотами, и, частично, наиболее низкими.

Таблица №10. Морфометрические показатели водосборов.

Кластер	Водосбор	Высота				Стандартное отклонение	Эрозионный врез
		Мин	Макс	Амплитуда	Средняя		
Прионежский	Андома	41	295	254	192	36	128
	Самина	46	296	249	164	62	127
	Мегра	91	294	202	201	34	116
	Кема	148	282	134	198	23	64
	<i>Среднее</i>	82	292	210	189	39	109
Вологодский	Большая Ельма	117	223	106	168	21	67
	Ема	143	238	95	190	16	58
	<i>Среднее</i>	130	231	101	179	19	63

Водосборы обоих кластеров в целом находятся на близких гипсометрических ярусах. Водосборы Вологодского кластера по совокупности морфометрических показателей похожи друг на друга. В группе Прионежского кластера с ними схож водосбор р.Кема (по показателям относительной высоты, эрозионного вреза и стандартного отклонения), но в целом для водосборов Прионежского кластера, по сравнению с Вологодским, характерна бóльшая вертикальная расчлененность рельефа²⁶. Внутри Прионежского кластера обращает внимание повышенное стандартное отклонение высот на водосборе р.Самина как косвенный показатель более высокого потенциала гравитационных процессов.

3.1.4. Почвенный покров

Рассматриваемая территория располагается в Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной почвенно-биоклиматической области, в пределах которой почвенные зоны объединены сходством радиационных и термических условий, а также сходством общих условий увлажнения. Район Прионежского кластера располагается в зоне подзолистых почв средней тайги. Район Вологодского кластера – в зоне дерново-подзолистых почв южной тайги [Единый..., URL].

Гумидность климата создает условия промывного типа водного режима, а рельеф является агентом перераспределения осадков. Кроме того, почвы во многом наследуют особенности структуры материнских пород, что влияет на их минералогический и химический состав, на воздухо- и водопроницаемость. Так, например, почвы, образованные на флювиогляциальных отложениях (встречаются в районе Прионежского кластера) отличаются повышенной воздухо- и водопроницаемостью, но малым содержанием питательных элементов [Природа..., 2007, с.159]; для покровных суглинков (распространены на территории Вологодского кластера), характерно наличие монтмориллонита, что при выпадении осадков вызывает разбухание и последующее медленное высыхание с образованием поверхностной корки [Комиссаров, 1987, с.12,13; Природа..., 2007, с.159]; близкое к поверхности залегание карбонатов в моренном субстрате (характерно для водосбора р.Большая Ельма, Вологодский кластер) способствует дерновому процессу и гумусонакоплению, в отличие от бескарбонатных морен [Комиссаров, 1987, с.11,с.13].

Почвы рассматриваемых районов сформированы под влиянием трех основных процессов: подзолистого, дернового и болотного. Подзолообразовательный (подзолистый) процесс наблюдается на хорошо дренированных, возвышенных участках под лесами, прежде всего

26 Увеличение глубины (и частоты) эрозионного расчленения в целом улучшает условия питания подземными водами, в т.ч. дочетвертичными [Филенко, 1966, с.14].

хвойными. Здесь атмосферные осадки вымывают продукты разложения вглубь почвенного профиля, формируя специфический белесый горизонт с более кислой реакцией среды. Дерновый процесс развивается главным образом под естественной луговой растительностью, ему также способствует карбонатность почвообразующей породы и наличие в ней илистой фракции. Кроме того, дерновый процесс активизируется под влиянием хозяйственной деятельности на подзолистых почвах — рыхления верхнего горизонта, внесения органоминеральных веществ. Болотный процесс характерен для межхолмных понижений или плоских низин. В условиях постоянного переувлажнения при поступлении в почву большого количества трудноразлагаемых органических остатков наблюдается торфообразование. В более «мягком» варианте, при периодическом переувлажнении, болотный процесс может выражаться оглеением, что характерно для слабодренированных участков [Комиссаров, 1987, с.14-16; Природа..., 2007, с.159].

Анализ данных [Природа..., 2007, с.167; Вологодская..., URL; Единый..., URL] по водосборным кластерам показывает, что Прионежский кластер в целом отличается повышенной мозаичностью и пестротой почвенного покрова. Основными причинами этого, по-видимому, являются более расчлененный рельеф и материнские породы различного генезиса. Основной фон водосборов Прионежского кластера составляют почвы подзолистого типа, причем наряду с автоморфными широко распространены также полугидроморфные, а также гидроморфные (последние — в основном торфяные верховых болот). Кроме того, в Прионежском кластере наряду с почвами на суглинистых моренах, встречаются также участки почв на песчаных флювиогляциальных отложениях. Почвенный покров Вологодского кластера в целом более однороден, сформирован в основном на суглинистом субстрате, характерно почти полное отсутствие гидроморфных почв. На водосборе р.Ема преобладают дерново-подзолистые почвы, на слабодренированных понижениях отмечаются также дерново-подзолисто-глеевые почвы. На водосборе р.Большая Ельма распространены дерново-карбонатные почвы.

3.1.5. Растительный покров

Районы водосборных кластеров располагаются в подзонах средней (Прионежский кластер) и южной тайги (Вологодский кластер) [Зоны..., URL].

Большинство видов флоры являются типичными бореальными. В их числе: ель обыкновенная (*Picea abies*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), линнея северная (*Linnaea borealis*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) и другие виды. В наиболее благоприятных

условиях встречаются неморальные виды (характерные для более южных биомов). Среди них: клен остролистный (*Acer platanoides*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), ландыш майский (*Convallaria majalis*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), сныть обыкновенная (*Aegorodium podagraria*), медуница неясная (*Pulmonaria obscura*) и ряд других. Сравнительно небольшая группа видов, приуроченных в основном к торфяно-сфагновым болотам, представляет более северный арктический и субарктический элемент флоры. Таковы пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*), клюква болотная (*Vaccinium oxycoccos*), багульник болотный (*Ledum palustre*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), береза карликовая (*Betula nana*) и другие. Указанные флористические группы, наряду с космополитными видами, образуют основу растительности рассматриваемой территории. В целом, видовое разнообразие в южнотаежной подзоне выше, чем средней тайге, в основном за счет неморальных видов, образующих подлесок и напочвенный покров [Природа..., 1957, с.220-222; Природа..., 2007, с.177].

Макромасштабным фактором формирования растительности является климат, определяющий на рассматриваемой территории диффузную границу таежных подзон. На более детальных уровнях, в пределах относительно однородных климатических условий, усиливается влияние почвенно-геоморфологических факторов. Вместе с тем, растительный покров существенно изменяется под воздействием хозяйственной деятельности. Ее влияние проявилось по-разному в разные исторические периоды. Так, за несколько веков произошло частичное замещение лесов сельскохозяйственными угодьями, в основном вблизи очагов расселения. Под воздействием экстенсивных лесозаготовок, в основном в XX веке, коренная таежная растительность в значительной степени замещена лесами различных стадий вторичной сукцессии [Природа..., 1957, с.212-218; Природа..., 2007, с.177-178].

Зональные растительные сообщества рассматриваемой территории представлены лесами, а интразональные — болотной и луговой растительностью [Природа..., 2007, с.186].

Леса представляют собой в исследуемых районах главный тип растительности. Они дифференцируются на две основные группы: хвойные и лиственные.

Основные лесообразующие породы хвойных лесов — ель обыкновенная и сосна обыкновенная.

Еловые леса являются основой коренных древостоев. Естественными условиями произрастания ели являются районы распространения суглинков, глин, а также торфяных почв, сформированных под воздействием грунтового и атмосферно-грунтового питания.

Местообитаниям с оптимальными условиями увлажнения соответствуют:

- Ельники-зеленомошники, к которым относятся ельники-черничные (изредка – брусничные), а также ельники-кисличные. Для этой группы обычно развитие покрова зеленых мхов с «пятнами» характерных видов травяно-кустарничкового яруса.
- Ельники сложные характеризуют местообитания с повышенной долей неморальных видов как в древесном ярусе, так и под его пологом, и приурочены обычно к богатым, хорошо дренированным почвам.

Более влажным местообитаниями соответствуют:

- Ельники травянистые, встречающиеся по речным поймам, долинам малых рек, ложбинам стока, участкам выхода на поверхность грунтовых вод, где наблюдается проточное увлажнение в условиях достаточной почвенной аэрации. Характерен густой разнообразный травяной покров.
- Ельники черничные влажные (чернично-долгомошные), приуроченные к ровным пониженным местам, небольшим впадинам на подзолистых глееватых почвах. В напочвенном покрове вместе с зелеными мхами отмечается кукушкин лен.
- Ельники долгомошные характерны для пониженных и равнинных слабодренированных районов на удалении от рек. Почвы подзолистые с оглеением. Покров кукушкина льна, а также сфагновых мхов задерживает атмосферные осадки, способствуя поверхностному переувлажнению и развитию оглеения.
- Ельники заболоченные включают два типа, различающиеся по условиям водно-минерального питания. Питание торфяных почв грунтовыми водами характерно для ельников болотно-травяных, которые при усилении заболачивания сменяются низинными болотами. В условиях переходного заболачивания (атмосферно-грунтового) формируются ельники сфагновые, которые при обеднении почвенного питания обычно трансформируются в сфагновые сосняки верховых болот.

Указанные экотопы влияют на продуктивность древостоев. Для условий оптимального увлажнения продуктивность ельников достаточно высока — I-III классы бонитета. С увеличением увлажненности класс бонитета снижается до IV-V, Va в условиях избыточного увлажнения. [Природа..., 1957, с.231-235; Природа..., 2007, с.211-212]. По данным Н.И.Базилевич для ельников нормального увлажнения средней тайги ЕТР (западные и центральные районы) характерна суммарная фитомасса около 220-228 т/га и продукция 6-7 т/га/год (максимальная в возрасте 50-70 лет), для заболоченных — 128-170 т/га и 5-6 т/га/год соответственно. В южной тайге ЕТР (центральные районы) показатели повышаются. Фитомасса составляет 291-360 т/га (доля

древесины до 75%), продукция — 9-15 т/га/год (доля древесины 40-50%) для незаболоченных еловых лесов [Базилевич, 1993, с.36-37; 41-43].

Сосновые леса обычно приурочены к песчаным и супесчаным, а также к торфяным почвам переходного и верхового типов заболачивания, при этом, по сравнению с елью, сосна более пластична по лесорастительным условиям. Сосновые древостои имеют в рассматриваемых районах значительно меньшее распространение, встречаясь на водосборах Прионежского кластера. В типичных условиях также являются коренными, но могут временно занимать ниши вырубленных или выгоревших еловых лесов. Также как и для ельников, выделяется ряд типов по условиям увлажнения (указаны в порядке его усиления):

- Сосняки лишайниковые характерны для наиболее сухих, хорошо дренированных местообитаний с уровнем грунтовых вод в летний период не менее 1,5-2 м. Древостой обычно «чистый» сосновый, сравнительно редкоствольный, другие виды могут внедряться только на стадиях постпирогенной сукцессии, напочвенный покров лишайниковый. Травяно-кустарничковый ярус редкий, угнетенный.

- Сосняки-зеленомошники в составе брусничников, черничников и кисличников. Они приурочены к почвам нормального увлажнения. В рельефе тяготеют к дренированным ровным участками или склонам. Характерен «ковер» зеленых мхов в сочетании с травяно-кустарничковым ярусом, иногда подлесок можжевельника, рябины. В древостое (особенно кисличников) обычна примесь ели и лиственных пород.

- Сосняки долгомошные соотносятся с неглубокими уплощенными понижениями, низовьями пологих склонов. Грунтовые воды летом обычны на глубине не более 1 м. В напочвенном покрове кукушкин лен, иногда с примесью болотной флоры (осоки, багульник и др.); в подлеске встречается ива, в древесном ярусе примесь березы, ели.

- Сосняки сфагновые приурочены к наименее дренированным равнинным участкам, краям болот. При атмосферном типе заболачивания в напочвенном покрове преобладают сфагновые мхи с участием кустарничков, древостой обычно «чистый» сосновый, изреженный. При участии грунтового питания отмечаются болотные травы, в древостое примесь различных лесообразующих пород (подтип близок заболоченным сфагновым ельникам).

Наибольшая продуктивность — I-III классы бонитета — характерна для сосняков черничных и кисличных, наименьшая — V-Va классы — для сосняков долгомошных и сфагновых. Брусничные и лишайниковые сосняки обычно III-V класса бонитета. [Природа..., 1957, с.225-231; Природа..., 2007, с.209-211]. Запасы фитомассы и продукция сосняков средней тайги ЕТР

(западные и центральные районы) сильно меняются, составляя от 111 т/га фитомассы в лишайниковых до 233 т/га в кустарничковых, продукция составляет 4-8 т/га/год. В заболоченных сосняках (западные районы средней тайги ЕТР) фитомасса около 116 т/га, продукция — 6 т/га/год [Базилевич, 1993, с.88-91; 102-103].

Лиственные леса в рассматриваемых районах являются производными на месте сведенных коренных хвойных древостоев и представлены в основном березой и осиной.

Березняки являются наиболее распространенной формацией мелколиственных лесов. Лесообразующими породами березняков являются береза пушистая — в достаточно- и избыточно увлажненных местообитаниях, а также береза повислая, характерная для более сухих условий произрастания. Березняки получили наибольшее распространение на месте сплошных рубок (особенно в отсутствие целенаправленных лесохозяйственных мероприятий) и гарей. Широкое заселение березой характерно для кислично-черничных условий местообитания, наиболее затронутых лесозаготовками.

По специфике строения выделяется несколько групп березовых лесов:

- Чистые березняки, характерные для сплошных рубок последних десятилетий в условиях слабого обсеменения и плодоношения хвойных пород в течение первых лет после рубки или пожара. Хвойные породы (в основном ель, значительно реже — сосна) под пологом встречаются редко.
- Березняки с елью последующего возобновления характеризуются наличием относительно однородного по возрасту и высоте елового подроста. Распространение елового подроста сравнительно равномерно или определяется мозаичностью локальных лесорастительных условий. Преимущественный возраст этой формации 30-60 лет.
- Березняки с елью предварительного и последующего возобновления. Они соответствуют рубкам, при которых частично сохранился подрост. В подросте выделяется несколько поколений ели, но во втором ярусе древостоя.
- Березово-еловые леса с более выраженной высотно-возрастной структурой ели относительно предыдущего типа и наличием отдельных экземпляров в основном ярусе. Такой тип характерен для гарей первой половины XX века [Природа...,1957, с.236-238; Природа..., 2007, с.212-213].

Для елово-березовых лесов нормального увлажнения в среднетаежной зоне (западные и центральные районы ЕТР) фитомасса составляет 168-184 т/га, продукция около 9 т/га/год, для заболоченных — 65-139 т/га и 6-10 т/га/год соответственно. В южной тайге (западные и

центральные районы ЕТР) для незаболоченных березово-еловых, березово-сосновых лесов, березняков фитомасса в среднем ниже, чем в коренных ельниках, составляя 145-205 т/га (максимальна для березняков), продукция — 6-16 т/га/год (максимальна для березово-сосновых лесов, наибольшая в возрасте 40-60 лет). Запасы фитомассы и продукции в среднем последовательно увеличиваются от кустарничковых березняков к травяно-кустарничковым и далее к травным. Накопление подстилки в березовых лесах ниже, чем в еловых, что связано с лучшим разложением опада березы [Базилевич, 1993, с.118-121; 128-131,133-134].

Осинники аналогично березнякам в большинстве случаев формируются на месте сплошных рубок. Будучи более требовательной к лесорастительным условиям, осина в большинстве случаев приурочена к достаточно дренированным и богатым почвам, однако встречается и в условиях низинного типа заболачивания с мощностью торфяного горизонта до 0,5 м. Чистые по составу осинники отмечаются небольшими выделами в черничных и кисличных типах местообитаний, где под их пологом развивается разнотравье. В других экотопах осина выступает в качестве содоминанта или сопутствующей породы [Природа...,1957, с.238; Природа..., 2007, с.214]. Фитомасса и продукция осинников несколько выше, чем березняков, составляя 206-262 т/га и около 13 т/га/год соответственно. Продукция максимальна (до 16 т/га/год) в возрасте 40-45 лет. [Базилевич, 1993, с.120-123, 134].

Ольшаники и ивняки на рассматриваемой территории не имеют широкого распространения и приурочены к зарастающим сельхозугодьям и поймам местной гидросети [Природа..., 2007, с.214], встречаясь в районе Вологодского кластера.

Болота являются типом растительных сообществ, который получил распространение на водосборах Прионежского кластера. Представляя собой избыточно увлажненные участки, болота различаются по особенностям водно-минерального питания, в соответствии с которыми подразделяются на низинные (эвтрофные), переходные (мезотрофные) и верховые (олиготрофные). На рассматриваемой территории преобладают верховые и переходные болота, менее распространены низинные [Абрамова, 1965, с.73; Великий..., 2000, с.34].

Низинные болота, получая подпитку грунтовых вод, богаты минеральными элементами. Они приурочены к понижениям рельефа: озерным котловинам, припойменным участкам (заливаемые болота), а также местам выхода ключей (ключевые, т. н. «жестководные» болота). Низинные болота имеют плоскую либо вогнутую форму профиля и обычно относительно небольшие размеры. Для них характерны различные виды осок, влаголюбивого разнотравья, древесно-кустарниковый ярус представлен обычно черной ольхой, ивами, но может отсутствовать.

Переходные болота соответствуют фазе развития при переходе от грунтово-атмосферного к питанию только атмосферными осадками. Распространены переходные болота в замкнутых и слабопроточных котловинах холмисто-моренного рельефа со слабым эрозионным расчленением, также встречаются по окраинам верховых болот, где есть контакт с грунтовыми водами. Смешанное питание определяет наличие растительности как низинных, так и верховых болот.

Верховые болота характеризуются обедненным водно-минеральным питанием за счет атмосферных осадков. Типичным признаком является покров верховых сфагновых мхов. Их сравнительно быстрый прирост и превращение отмерших частей в торф обуславливают постепенное прекращение влияния грунтовых вод и выпуклый профиль этого типа болот. В растительном покрове распространены кустарнички (голубика, клюква, подбел, багульник и др.). Древесный ярус представлен сосной. Для верховых болот также типичен грядово-мочажинный микрорельеф, где для вытянутых микроповышений (гряд) характерна сфагново-кустарничковая растительность, а в понижениях между ними (мочажинах) — сфагново-травянистая [Природа..., 1957, с.243-251; Абрамова, 1965, с.66-71; Природа..., 2007, с.218-226; Гидрология, 2008, с.569-570].

В средней тайге ЕТР переходные и верховые болота характеризуются фитомассой 21-45 т/га и продукцией 3-6 т/га/год [Базилевич, 1993, с.148-149].

Луга являются еще одним типом растительных сообществ, распространенным преимущественно на водосборах Вологодского кластера. Почти все местные луга сформировались на месте сведенных лесов, лишь незначительная часть (например, в поймах рек) имеет естественное происхождение.

Основу травостоя большинства лугов составляют злаки. Несколько меньше распространены бобовые, поскольку они более требовательны к почвенным условиям, но их роль велика ввиду обогащения почвы соединениями азота. Различные виды осок приурочены к местообитаниям повышенной влажности. Группа разнотравья объединяет представителей нескольких десятков семейств и преобладает на кормовых пастбищах. Многие луга находятся в «старой» плотнокустовой стадии развития с плотным дерновым слоем, что, в зависимости от положения в рельефе, создает предпосылки к их зарастанию или заболачиванию. Положение в рельефе является ведущим фактором дифференциации лугов. По этому признаку выделяют группы материковых и пойменных лугов. Пойменные луга приурочены к нижним элементам речных долин и заливаются тальными водами. Материковые луга, наиболее распространенные на рассматриваемой территории, располагаются на возвышенных, надпойменных элементах речных долин и на водоразделах. Материковые луга в свою очередь по особенностям увлажнения подразделяются на суходольные,

увлажнение которых происходит за счет атмосферных осадков, и низинные, приуроченные к неглубоким западинам, лощинам и отличающиеся хорошим или избыточным увлажнением как вследствие поверхностного стока, так и подпитки почвенно-грунтовыми водами [Природа..., 2007, с.226-232; Агроклиматические..., 1972, с.13].

В южной тайге ЕТР (центральные районы) продукция и запасы фитомассы материковых лугов составляют 14-19 т/га/год и 12-18 т/га соответственно [Базилевич, 1993, с.156-157, 159].

3.1.6. Климатические условия

Рассматриваемая территория относится к атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса.

Радиационный режим. Солнечная радиация является главным климатообразующим процессом. В исследуемом районе почти половина суммарной солнечной радиации поступает в течение летних месяцев. В ее структуре в течение года преобладает рассеянная компонента Радиационный баланс, приходную часть которого образует суммарная солнечная радиация, а расходную — отраженная радиация и эффективное излучение земной поверхности, положительна с апреля по октябрь. Суммарный радиационный баланс в исследуемых районах около 1200-1300 Мдж/кв.м. [Природа..., 2007, с.74; Радиационный..., URL].

Атмосферная циркуляция. В целом равнинный характер территории создает на макроуровне хорошие условия для поступления воздушных масс различного генезиса, что определяет неустойчивый характер погоды в течение года. Наибольшее влияние на региональный климат оказывают воздушные массы умеренных широт, которые по району формирования могут быть морскими и континентальными. Воздушные массы морского генезиса формируются над умеренными широтами Атлантического океана и поступают на территорию области с циклонами в любое время года, вызывая в зимнее время снегопады и потепление, а в летнее — прохладную и влажную погоду. Воздух континентального генезиса формируется в большинстве случаев в антициклонах над континентом и определяет сухую и летом — жаркую, а зимой — морозную погоду. Также в течение всего года отмечаются арктические морские и континентальные (над арктическими льдами) воздушные массы. Отличаясь по влажности, они характеризуются пониженной температурой. Изредка, в летнее время проникает сухой, жаркий воздух из средиземноморских тропиков и Средней Азии.

В течение года преобладают западные ветры. Зимой усиливается южная составляющая, летом — северная [Природа..., 2007, с.74-76; Агроклиматические..., 1972, с.17].

Температурный режим. Характерные значения приведены для опорных метеостанций: Вологда для Вологодского кластера и Вытегра для Прионежского кластера по данным [Климат..., URL(а); Климат..., URL(б)] с использованием климатической нормы (осреднения) за 30 летний период 1981-2010 гг., принятый ВМО [Руководящие..., URL]. Так, среднегодовая температура составила в Вытегре 3,4°С, в Вологде 3,1°С. Средняя температура января — в Вытегре -9,8°С, в Вологде -10,7°С; июля — 17,5°С на обеих станциях. Отметим, что все эти показатели имеют по сравнению с многолетними данными согласно [Природа..., 2007, с.77] тенденцию к увеличению, в особенности в зимний период. Этот же источник указывает в среднемноголетнем разрезе на несколько большую продолжительность безморозного периода в Вологде (116 дней) относительно Вытегры (107 дней). Вместе с тем отмечается, что при вторжении арктических воздушных масс понижение температуры до нулевых и слабоотрицательных значений возможно во все летние месяцы. Переход среднесуточной температуры через 0°С к отрицательным значениям по усредненным данным приходится на конец октября. В зимний период средняя глубина промерзания почвы 50-70 см. Обратный переход через 0°С происходит в начале апреля. Достижение среднесуточной температуры +10°С приходится на вторую половину мая, обратный переход — в первой половине сентября. Однако в отдельные годы отклонение от «средних» сроков может достигать месяца. Сумма активных температур по порогу 10°С составляет около 1550-1600°С для Прионежского кластера и 1600-1700°С для Вологодского кластера, при колебаниях в отдельные годы от 1000°С до 2000°С [Агроклиматические..., 1972, с.22; Природа..., 2007, с.77,78].

Осадки. На рассматриваемой территории осадки преобладают над испарением, что характерно для гумидного климата. По данным [Климат..., URL(а); Климат..., URL(б)] за 30-летний период осреднения 1981-2010 гг. среднегодовая сумма осадков по метеостанции Вытегра составила 690 мм, по метеостанции Вологда — 563 мм, при этом наибольшее количество осадков отмечается в июле и августе (86 и 88 мм в Вытегре, 74 и 76 мм в Вологде соответственно). Около 30% осадков выпадает в холодный период, накапливаясь в виде снега. Продолжительность залегания снежного покрова в районах обоих кластеров близка (в районе Прионежского несколько больше, чем в районе Вологодского) и составляет около 150-160 дней [Природа..., 2007, с.81; Атлас..., 2007, с.36]. Вместе с тем, отмечается [Агроклиматические..., 1972, с.18], что наиболее крупные региональные возвышенности, в т.ч. Вепсовская и Андомская, находящиеся в пределах Прионежского кластера водосборов, влияют на распределение осадков, увеличивая их на наветренных склонах и снижая на подветренных.

Климатограммы районов кластеров за период гидрологических наблюдений и данные по динамике осадков и температуры приводятся в главе 4.

3.1.7. Гидрологические особенности

Особенности рек и частных водосборов. Районы водосборных кластеров приурочены к главным водоразделам Европейского Севера. В Прионежском кластере р.Мегра, р.Андома и р.Самина²⁷ относятся к бассейну Онежского озера, а р.Кема входит в состав Верхневолжского бассейна, являясь самой северной его частью. По границе водосборов р.Кема и р.Андома проходит водораздел между бассейнами Каспийского и Балтийского морей. Оба водосбора Вологодского кластера относятся к бассейну р.Северная Двина, при этом участки их границ образуют водораздел Каспийского (Верхневолжского) и Беломорского бассейнов. Таким образом, рассматриваемые реки и их водосборы представляют собой верхние звенья крупнейших макрорегиональных гидрологических систем, что усиливает их геоэкологическое значение.

В таблице №11 представлены характеристики рек и их частных водосборов относительно створов постов.

Таблица №11. Площадь и протяженность рек [Каталог..., URL; Государственный..., URL].

Река	Протяженность, км		Площадь, кв.км	
	Общая	До створа поста	Общая	По створу поста
Самина	79	63	976	848
Андома	156	125	2570	1260
Кема	150+69	49+69²⁸	4480	1610
Мегра	93	46	1730	660
Большая Ельма	61	51	Нет данных	312
Ема	51	28	255	179

Данные показывают, что реки и их частные водосборы относительно створов гидропостов отвечают критериям малых по площади и протяженности.

Гидрологическая сеть водосборов Прионежского кластера включает большое количество озер. Среди них количественно преобладают небольшие с площадью зеркала до 0,5 кв.км, некоторые из которых являются истоками речной сети. Имеются и сравнительно крупные, обычно

27 Р.Самина является крупным правым притоком р.Андома, но водосборы по створам гидропостов обеих рек являются обособленными.

28 Сумма включает длину р.Кема, вытекающей из проточного Кемского озера и р.Сойда впадающей в это озеро и образующей верхнюю часть водосбора р.Кемы.

проточные озера. Наиболее крупное проточное озеро – Кемское расположено в средней части водосбора р.Кемы, но озеро мелководно — преобладают глубины до 1 м, поэтому его площадь колеблется. Сравнительно большие по площади зеркала озера располагаются также в среднем течении р.Андомы (оз.Айнозеро, 4,9 кв.км), в верховьях водосборов р.Кема (оз.Сойдозеро, 3,4 кв.км) и р.Самина (оз. Куржинское, 2,7 кв.км) [Озерные..., 1981, с.77,102; Государственный..., URL]. На водосборах Вологодского кластера озера отсутствуют.

Питание и водный режим. Гумидный климат определяет положительный водный баланс, создавая условия для повышенного стока. В питании рек ведущая роль принадлежит талым снеговым водам, что особенно характерно для рек Вологодского кластера. Доля дождевого питания в среднем около 20-30%. Удельный вес питания подземными водами в целом сравнительно невысок, но в Прионежском кластере более значителен, чем в Вологодском, ввиду различия гидрогеологических условий. Соотношение между видами питания (как и сроками характерных гидрологических фаз) зависит от погодно-климатических особенностей конкретных лет [Природа..., 2007, с.115,116].

В целом водный режим рек относится к восточно-европейскому типу, характеризующемуся высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенной водностью осенью.

Весеннее половодье является основной, наиболее водной фазой стока. Начинается обычно в середине апреля и сопровождается сравнительно быстрым подъемом уровней воды. Пик половодья в среднем отмечается в конце апреля. Спад уровней более медленный и продолжается обычно 1-1,5 месяца [Природа..., 2007, с.116]. Весеннее половодье сменяется фазой летней межени, иногда переходящей в осеннюю. Минимальные уровни отмечаются обычно в июле-августе. При этом повышенные осадки в этот период интенсивно расходуются на испарение и просачивание воды почву. Вместе с тем, в случае обильных ливневых дождей в отдельные годы возможны и кратковременные подъемы уровней воды [Природа..., 2007, с.117]. Осенние дожди в обложной форме в сочетании с сезонным уменьшением испарения являются причиной регулярных осенних подъемов воды на реках. Осенние паводки обычно отмечаются с сентября и продолжаются 1,5-2 месяца. С установлением ледостава (в среднем — в середине ноября), наступает зимняя межень, длящаяся 4,5-5 месяцев, в течение которых реки питаются подземными водами [Природа..., 2007, с.118].

Данные об относительном среднемесячном стоке, стоке основных гидрологических фаз для каждой рассматриваемой реки и по кластерам приводятся в главе 4.

3.1.8. Ландшафтная структура

Ландшафтное районирование территории Вологодской области, включая районы водосборных кластеров, основывается на результатах комплексных и отраслевых экспедиций исследователей Ленинградского университета и Вологодского педагогического института, проведенных в 1950-1960-х годах, а впоследствии — экспедиций связанных с созданием и развитием региональной сети ООПТ, построение которой велось на основе учета ландшафтных особенностей территории [Особо охраняемые..., 1993, с.12-15, Природа..., 2007, с.300]. Современное районирование [Максутова, 2006] выделяет 33 ландшафтных района в пределах 4 физико-географических областей. Области выделяются по возрасту ландшафтов и особенностям послеледникового и современного стока, а ландшафтные районы, как узловые категории иерархии ПТК на региональном уровне — по единству рельефа, почвенно-растительных условий, своеобразию сочетания урочищ [Максутова, 2006, с.4, Природа..., 2007, с.301].

Современное ландшафтное районирование применительно к районам водосборных кластеров следующее. Прионежский кластер относится к Северо-Западной ландшафтной области, которая охватывает район, покрывавшийся наиболее поздним валдайским оледенением. В пределах кластера располагаются 3 генетических типа ландшафтов, включая моренно-холмистые ландшафты (ландшафтные районы): Андомский (водосборы р.Андома, р.Самина, верхняя часть водосбора р.Кемы), Мегорский и Вепсовский (оба — водосбор р.Мегра), а также моренно-равнинный Кемский ландшафт (нижняя часть водосбора р.Кема) и озерно-ледниковый Южноонежский ландшафт (низовья водосборов р.Андома, р.Самина). В Андомском, Вепсовском и Мегорском ландшафтах наряду с доминантными урочищами моренных холмов, распространены урочища переходных болот, озерных котловин. В Кемском — содоминантами являются урочища моренных и озерно-ледниковых равнин. В Южноонежском ландшафте преобладают урочища озерных и озерно-ледниковых террас, субдоминантными являются урочища низинных, переходных и верховых болот.

Вологодский кластер располагается преимущественно в Сухоно-Двинской ландшафтной области, объединяющей равнинные ландшафты области московского и, отчасти, валдайского оледенения в основном в пределах западных верховий бассейна Северной Двины. Оба водосборных бассейна кластера относятся к Вологодско-Грязовецкому ландшафтному району, где преобладают урочища полого холмистых равнин. Водосбор р.Большая Ельма непосредственно примыкает к Леоново-Чуровскому моренно-грядовому ландшафту Верхневолжской ландшафтной области.

На Рис. №8-9 представлены авторские карты ландшафтной структуры водосборов по состоянию к середине 2010-х. Принцип их составления базировался на сочетании результатов геоморфологического анализа, анализа подстилающей поверхности (преобладающих почвенно-растительных ассоциаций)²⁹, проведенных автором с использованием ГИС и ДДЗ (см. гл. 2) и регионального ландшафтного районирования [Максутова, 2006; Природа..., 2007]. Геоморфологический блок включал пространственную дифференциацию территории по показателям относительной пересеченности рельефа с помощью индекса TRI, а также классификацию элементов рельефа с использованием индекса TRI. Почвенно-растительный блок основывался на результатах классификации ландшафтного покрова по данным мультиспектральных снимков Landsat 8 в сочетании со специализированными почвенно-геологическими картами.

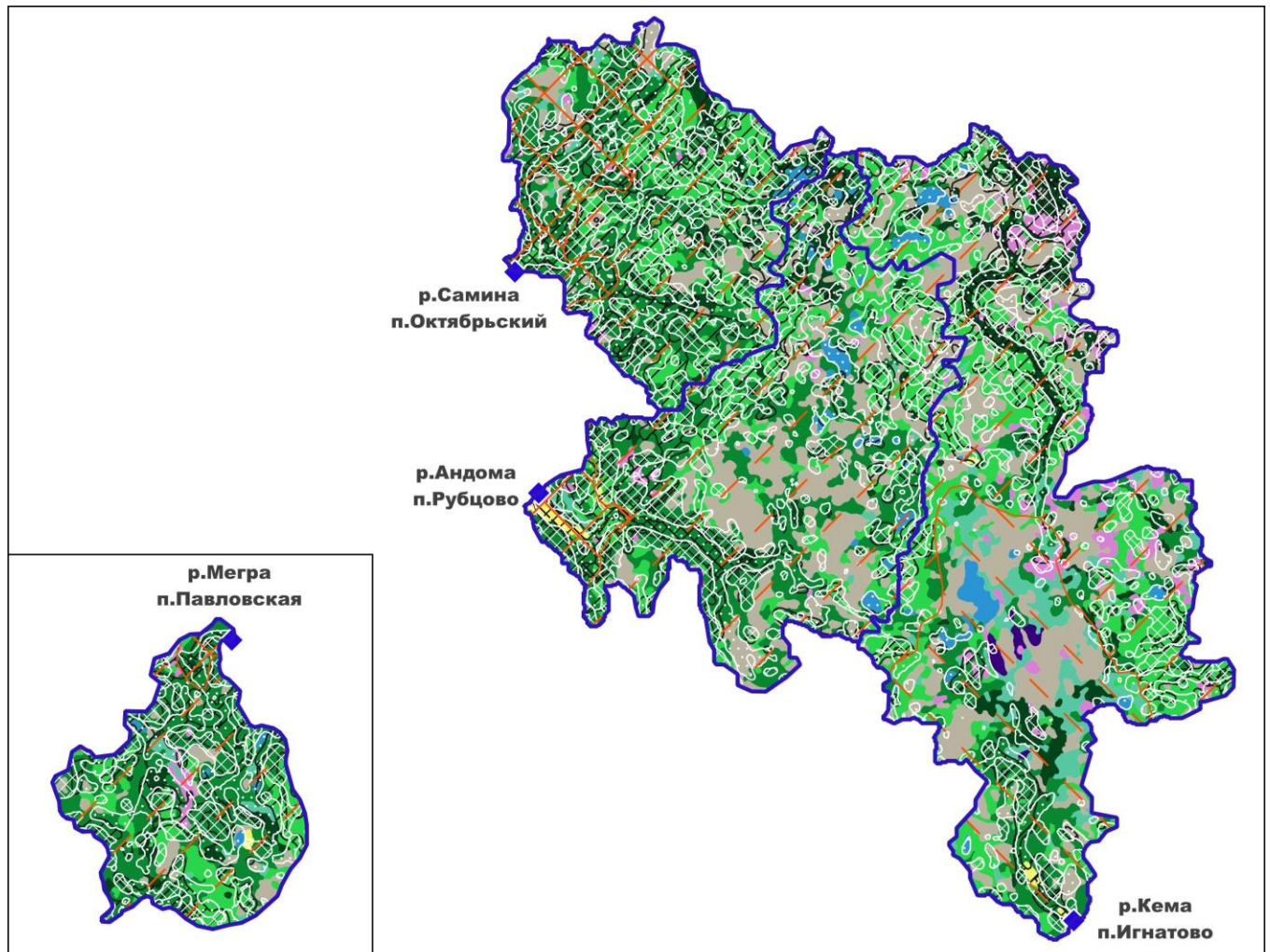
При создании карт ландшафтной структуры из различных подходов к разработке легенды [по А.Г. Исаченко, 1980], выбран тип расчлененной легенды, который позволяет при использовании нескольких признаков сохранить ее относительно компактной.

Легенда карт позволяет идентифицировать геосистемы уровня сложных урочищ.




Такой масштабный уровень примерно соответствует ландшафтно-гидрологическим участкам, как элементу иерархической классификации ландшафтно-гидрологических (ЛГ) систем, предложенной А.Н. Антиповым [Ландшафтно-гидрологический..., 1992, с.9-10]. Согласно этой классификации районы водосборных кластеров можно рассматривать как ЛГ провинции, под которыми понимается «индивидуальная система региональной размерности, отражающая модификацию зонального типа ландшафтно-гидрологических закономерностей, определенных пространственно-временным наложением климатического фона (тепло-влагообеспеченности) и крупных орографических элементов рельефа». По пространственному уровню ЛГ провинция приблизительно соответствует речному бассейну площадью до 10 тыс. кв. км.

На ступень ниже — уровень ЛГ района, где при однообразии форм рельефа в сочетании с закономерным сопряжением различных по дренированности участков отображается «однотипный характер взаимодействия гравитационных вод и литогенного субстрата на фоне однородного мезоклимата и единого геологического фундамента».



29 В этой связи отметим, что В.Н. Федоров и И.И. Терентьев, рассматривая в рамках ландшафтно-гидрологического подхода геосистемы различного ранга как единицы стокообразования и ориентируясь на наработки А.Г. Исаченко, обращают внимание на согласованность, близость содержания ландшафтных (отображающих геосистемы) и геоботанических карт и предлагают в качестве однородных ландшафтных единиц использовать «ареалы сочетаний растительных и почвенных условий на водосборах, которые непосредственно индицируют различные механизмы стокоформирования» (Федоров, Терентьев, 2012, с.95).





среднетаежные равнинные ландшафты

-  низменный (40-130м) с преобладанием урочищ озерно-ледниковых террас
-  возвышенный (130-290м) с доминированием урочищ моренных холмов, межхолмных ложбин и котловин
-  средневýсотный (140-180м) с преобладанием урочищ плоских и волнистых моренных и озерно-ледниковых равнин

элементы рельефа по Topographic Position Index (TPI)

-  днища долин, нижние части склонов (TPI DEV < -0,5)
-  местные водоразделы, верхние части склонов (TPI DEV > 0,5)

относительная пересеченность рельефа по Terrain Ruggedness Index (TRI)

-  низкая (TRI < 5)
-  умеренная (5 < TRI < 10)
-  высокая (10 < TRI < 20)
-  очень высокая (TRI > 20)

преобладающие почвенно-растительные ассоциации












-  еловые леса на подзолистых почвах
-  сосновые леса на подзолах
-  заболоченные хвойные и мелколиственные леса на торфяно-подзолисто-глеевых почвах
-  болота переходные и верховые на торфяных почвах
-  смешанные елово-березовые с примесью осины леса на подзолистых, местами оглееных почвах
-  мелколиственные березово-осиновые леса на подзолистых, местами оглееных почвах
-  вырубки необлесенные и зарастающие на подзолистых почвах
-  сельхозугодья (пастбища, сенокосы) на дерново-подзолистых почвах
-  крупные озера
-  граница бассейна
-  гидропост

Рис. №8. Ландшафтная структура водосборов Прионежского кластера

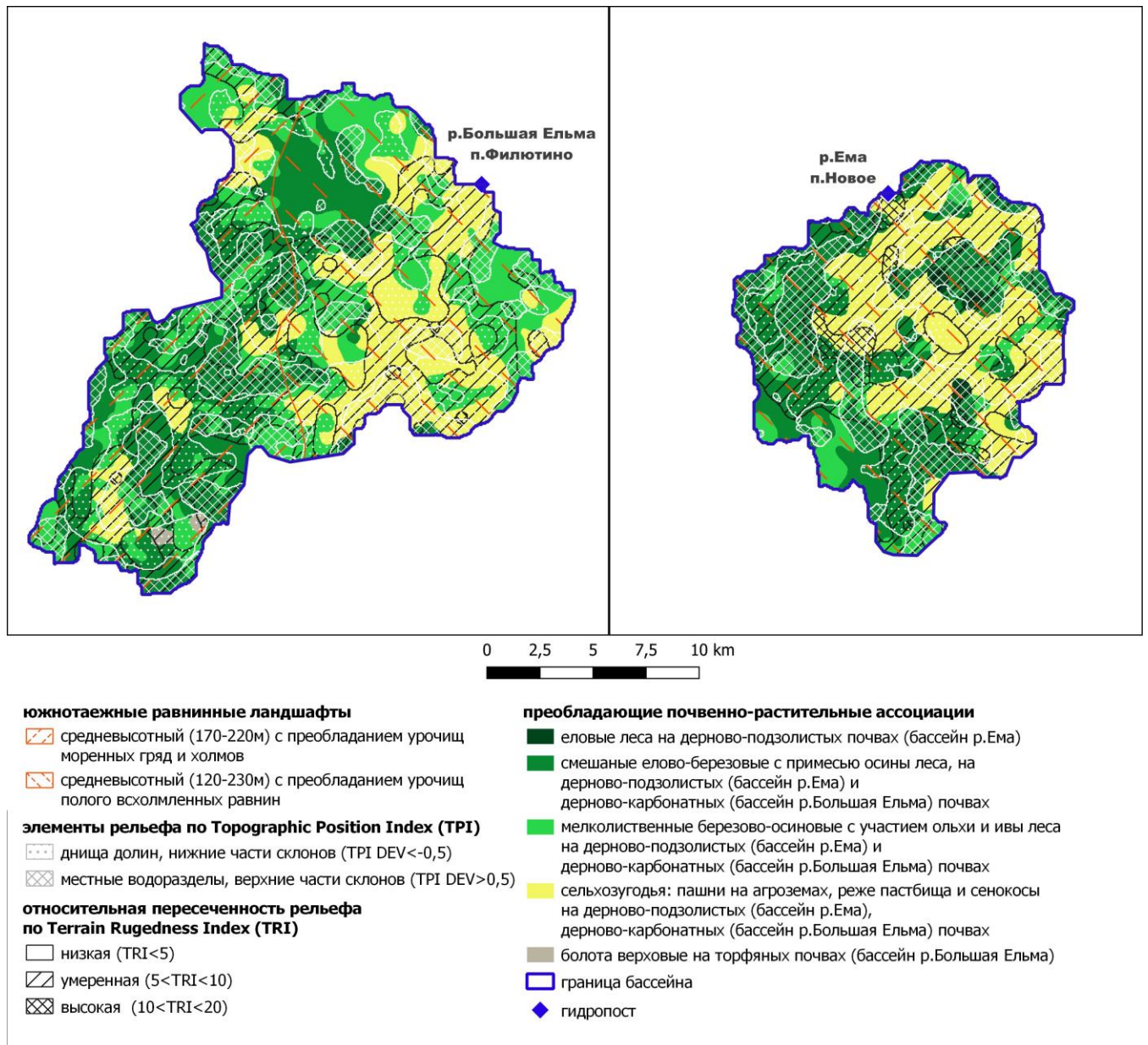


Рис. №9. Ландшафтная структура водосборов Вологодского кластера

В свою очередь, ЛГ район представляет собой единство разнокачественных ЛГ участков, которые выделяются «по признакам внутренней однородности гидрологических взаимосвязей и однонаправленности гидрологических процессов, устанавливающих специфическое сопряжение природных образований». ЛГ участки (например, автономные заболоченные, склоновые транзитно-аккумулятивные, пойменно-прирусловые и т. п.) приблизительно соответствуют рангу сложного урочища.

Указанные особенности позволяют отметить, что районы водосборных кластеров в целом и водосборы внутри кластеров (прежде всего Прионежского) обладают рядом отличий по комплексу физико-географических условий, что, как показано в главе 4, находит отклик во внутригодовом распределении стока дренирующих их малых рек.

3.2. Особенности природопользования

3.2.1. Эволюция природопользования на региональном уровне

Природопользование на исследуемой территории в своей основе тесно связано с освоением таежных ландшафтов. Направления и формы этого освоения менялись с течением времени, но лес так или иначе занимал важное место в жизни людей. На рубеже XIX-XX веков в книге «Вологодская губерния³⁰» отмечается [цит. по: Очерки..., 2009, с.12]: «Главный промысел в Вологодской губернии — лесной, все остальное служит подспорьем».

Наиболее ранние заметные в региональном масштабе формы природопользования связаны с расчисткой таежных лесов под сельскохозяйственные угодья, что отмечается уже к XV-XVI векам вблизи очагов расселения [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.6]. Этот процесс задал историческую основу природопользования в районе Вологодского кластера, где вблизи регионального центра — г.Вологды (основан в XII веке) сельхозугодья получили сравнительно большое распространение.

С XVIII века постепенно усиливается направление освоения тайги, связанное с лесозаготовками, которые были приурочены к транспортным путям. Роль таких путей долгое время выполняли сплавные реки³¹. Однако постепенно сооружались и искусственные пути. Так, в начале XIX века была введена в строй Мариинская водная система (современный Волго-Балт), соединившая Санкт-Петербург с городами Волги и ставшая важнейшим транспортным путем в районе Прионежского кластера. В районе Вологодского кластера, наряду со старыми трактами, связывавшими столицу губернии с другими городами, в 1872, 1898 и 1905 были построены ЖД, соединившие Вологду с Ярославлем, Архангельском и Санкт-Петербургом соответственно [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.7]. Дореволюционный период лесозаготовок с одной стороны

30 Вологодская губерния включала восточную часть современной Вологодской области (в том числе район Вологодского кластера водосборов). Прионежский кластер располагался в границах Олонецкой губернии. В период 1917-1937 гг. административное деление на рассматриваемой территории неоднократно менялось, завершившись установлением современных границ Вологодской области.

31 К таковым в частности относились и реки Прионежского кластера, где сплав был особенно активным в XX веке и продолжался до рубежа 1980-х.

характеризовался преобладанием выборочных способов рубки [Очерки..., 2009, с.45], но с другой, интенсивность лесопользования вблизи транспортных коммуникаций и районов «старого освоения» была на рубеже XIX-XX веков довольно высокой³².

После революций 1917 г. степень освоения лесов нарастает. До начала 20-х гг. рубки производились в значительной степени бессистемно³³, резко возросло число лесных пожаров, в т.ч. крупных [Очерки..., 2011, с.52-54,66]. В процессе дальнейшего становления модели лесного хозяйства постепенно обострялось противоречие между, с одной стороны, принципами неистощительности и постоянства лесопользования, а с другой — возрастающими потребностями в древесине и ее экспортного значения как источника валюты, что во многом и определило вектор дальнейшего экстенсивного расширения лесозаготовок³⁴ [Очерки..., 2011, с.77,78]. С 30-х гг. начинают преобладать сплошные концентрированные рубки [Сохранение..., 2011, с.47]. С конца 40-х гг. усиливается механизация лесозаготовок с применением тяжелой техники. Это обстоятельство имело с геоэкологической точки зрения несколько следствий: хуже сохранялся хвойный подрост и напочвенный покров, ухудшались гидрофизические свойства почвы. В свою очередь эти процессы повлияли на менее успешное возобновление хвойных пород, рост удельного веса мелколиственных пород (березы, осины) в структуре лесов, а также на ухудшение гидрологического режима малых рек, обмеление которых уже в 60-70-е годы на территории Вологодской области стало обычным явлением [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.8,12,54,61]³⁵.

В послевоенный период планы лесозаготовок наращивались, часто устанавливались без учета состояния лесов, не уделялось должного внимания мероприятиям по лесовосстановлению и уходу за лесом. В условиях экстенсивной эксплуатации последовательный рост объемов лесозаготовок наблюдался до середины 70-х годов, после чего стал снижаться, в особенности по хвойным породам (с 2003 общие объемы лесозаготовок вновь стали расти) (Рис. №10)

32 Так, в работе [Леса..., 1999, с.16-17] приводятся материалы докладных записок предводителей уездного дворянства по вопросу введения в действие в полном объеме на территории губернии «Закона о сбережении лесов» 1888 г., в частности по Вологодскому уезду (территория Вологодского кластера) отмечается низкая лесистость как следствие интенсивной рубки прежде всего строевого леса.

33 Вместе с тем, отмечается, что управление лесной отраслью стало ослабевать с 1914 г. (начало Первой мировой войны).

34 Интересно, что перед ликвидацией Вологодской губернии, предшествовавшей созданию в 1929 г. Северного края с центром в Архангельске, руководство губернии выступало за ее диверсифицированную специализацию, включавшую помимо лесопромышленного и сельскохозяйственное производство, поставки продукции как на внутренний рынок, так и на экспорт. Архангельское руководство делало ставку на экспортные лесозаготовки. Из письма секретаря Севкрайкома ЦК ВКП(б) в Госплан СССР: «Мы из кожи лезем, чтобы увеличить лесоэкспорт, чтобы превратить наш Север во всесоюзную экспортную “лесопилку”... тут мы готовы идти в смертный бой с Вологдой за их стремление ... не создавать экспортной зоны лесов» [цит. по. Очерки..., 2011, с.69].

35 Кроме того, следует отметить, что уплотнение почвенных горизонтов наряду с удалением древостоя, выполняющего роль транспирационного «насоса», создает условия для застоя влаги на слабодренированных участках.

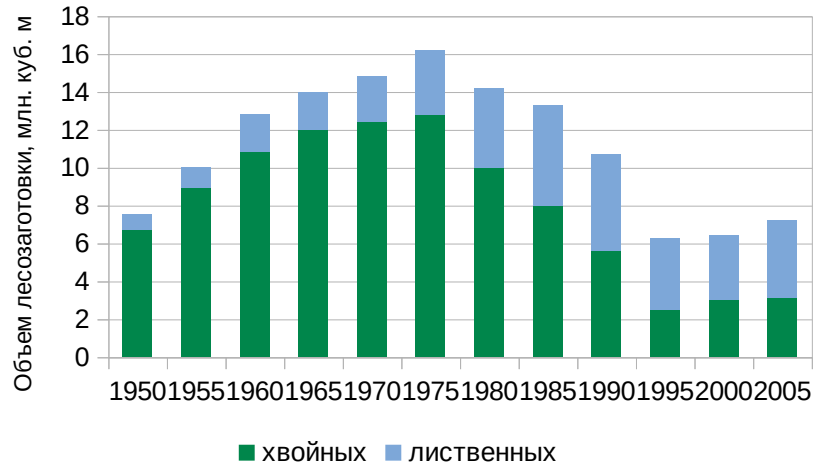


Рис. №10. Динамика лесозаготовок на региональном уровне во второй половине XX века [по: Очерки..., 2011, с.110]

Отмечается, что с конца 50-х до конца 80-х гг. систематически допускался переруб расчетной лесосеки по хвойным лесам третьей группы (эксплуатационным). Все это в значительной степени истощило лесосырьевые ресурсы³⁶. Важно, что при этом не было обеспечено долговременное социально-экономическое развитие территории: в связи с истощением лесного фонда было ликвидировано 16 леспромхозов и закрыто более 100 лесных поселков, в т.ч. обжитых и обустроенных. [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.52; Очерки..., 2011, с.110, 111]. В оставшихся лесных поселках одним из главных вопросов является безработица [Проблемы..., URL].

3.2.2. Природопользование в районе Прионежского кластера

Район Прионежского кластера водосборов представляет собой территорию, на которой общие особенности регионального лесопользования нашли свое отображение на местном уровне.

Очаги расселения здесь весьма четко приурочены к рекам и озерам; некоторые поселения имеют многовековую историю³⁷. В настоящее время почти все населенные пункты тяготеют к

³⁶ Интересно, что в условиях истощения сырьевой базы хвойного хозяйства имели место следующие административно-технологические подходы: 1) изменение лесоустроительных инструкций на понижение доли хвойных в составе древостоя при отнесении последнего к хвойному хозяйству; 2) попытки понизить возраст хвойных лесов, считающихся спелыми и отводимых в рубки; 3) применение в 70-х (запрещено в 1983 г.) химической обработки для уничтожения лиственных пород в хвойно-лиственных молодняках [Шевелев, Комиссаров, 1994, с.55, 80; Очерки..., 2011, с.116].

³⁷ Так, например, д.Макачево в низовьях водосбора р.Андома известна с XVI века [Чайкина, 1988, с.138].

низовьям водосборов³⁸. Отличительной особенностью водосборов Прионежского кластера является малая доля сельхозземель. Единичные угодья приурочены к рекам и озерам вблизи поселений.

Анализ архивных космоснимков Landsat, начиная с первой половины 1970-х, позволил установить, что лесозаготовки осуществлялись методом сплошных вырубок, в т.ч. концентрированных³⁹. «Фронт» рубок продвигался со стороны основных транспортных путей, что наиболее заметно для смежных водосборов р.Самина, р.Андома, р.Кема, где «вектор» вырубок направлен со стороны Волго-Балта, автодорог Вологда-Вытегра, Вытегра-Пудож, Пудож-Каргополь.

В районе Прионежского кластера, согласно литературным данным [Воробьев, Куликов, 2000, с.318] и анализу космоснимков по спектральной яркости, на рубеже 1980-х еще сохранялись сравнительно большие участки коренной средней тайги, а также условно коренных старовозрастных массивов, связанных с «ареалами природопользования» бывших деревень. Вместе с тем, все водосборы кластера в той или иной степени уже были затронуты промышленными рубками. Коренные таежные массивы были характерны прежде всего для верхней части водосбора р.Кема, в меньшей степени — р.Андома, условно коренные — в основном для верхней и, фрагментарно, средней части водосбора р.Андома, в меньшей степени — р.Мегра. Водосбор р.Саминь к середине 1980-х был в основном пройден рубками, за исключением отдельных категорий защитных лесов, в т.ч. нерестоохраннх⁴⁰.

Три десятилетия (в рассмотренном временном промежутке) лесозаготовок изменили характер растительного покрова: практически полностью исчезли коренные среднетаежные леса, на их месте формируются производные сообщества различного возраста (Рис. №11-12). Вблизи лесной дороги в полевом маршруте часто встречались густые мелколиственные насаждения. Их состояние косвенно свидетельствует о недостаточном уходе за молодняками (осветление, прочистки) (Рис. №13).

В условиях экстенсивных лесозаготовок заслугой природоохранного сообщества было обоснование создания ряда ООПТ регионального значения, в т.ч. расположенных в рассматриваемом районе и сохранивших участки коренных и старовозрастных растительных сообществ (Рис. №14).

38 Вместе с тем, анализ архивных карт [Старые..., URL] показывает, что ранее отдельные деревни располагались также в среднем и верхнем течении р.Андомя, а также, вблизи последнего, в верховьях водосборов р.Саминь, р.Кема. Эти населенные пункты перестают отмечаться на картах со второй половины XX века.

39 Так, по данным снимков Landsat 2 установлен участок в границах водосбора р.Саминь площадью около 500 га, пройденный сплошной рубкой в течение 1 года между 1975-1976 гг.

40 р.Андомя, р.Саминь, р.Мегра являются местом нереста лососевых рыб [Особо охраняемые..., 1993, с.10; Об утверждении..., URL (6)].



Рис. №11. Возобновление мелколиственного леса на сплошных вырубках начала 1980-х. Верховья водосбора р.Андымы. Фото автора, 2014 г.



Рис. №12. Зарастающая сплошная вырубка середины 2000-х. Верховья водосбора р.Кема. Фото автора, 2014 г.

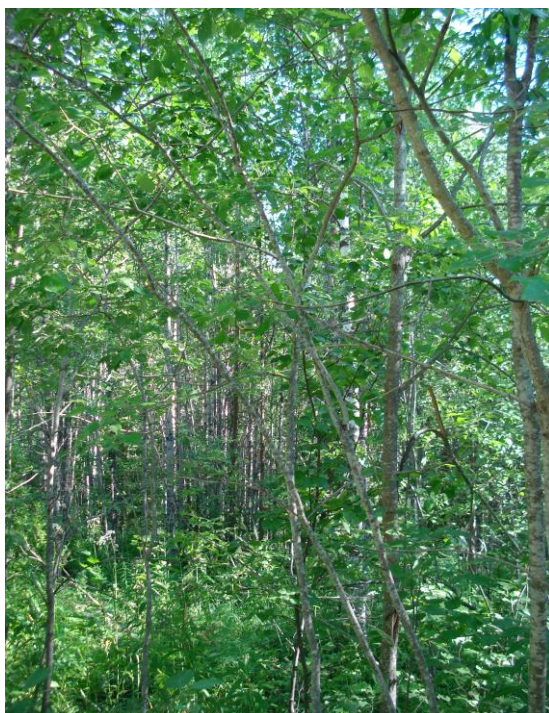


Рис. №13. Мелколиственный лес в верховьях водосбора р.Самина на месте сплошных вырубок конца 1970-х - начала 1980-х. Фото автора, 2014 г.

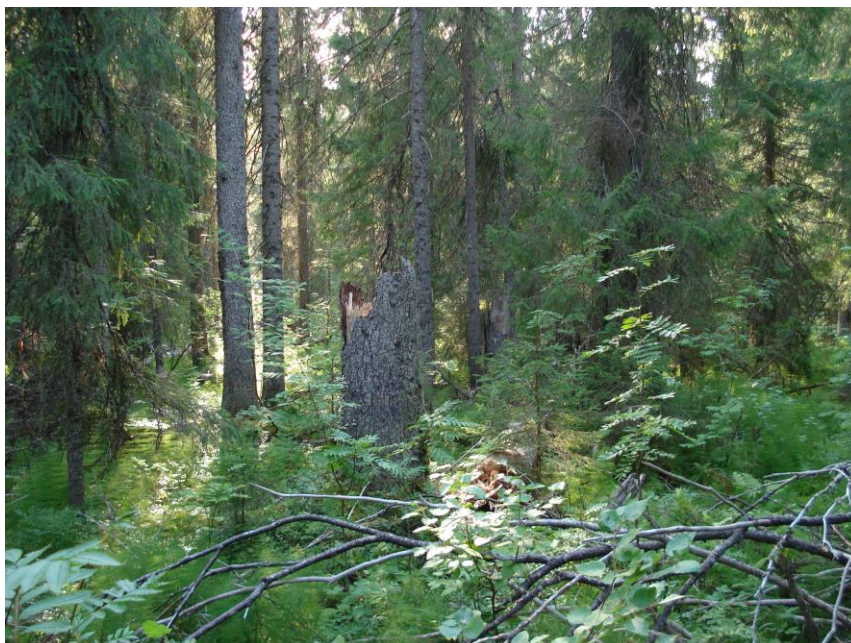


Рис. №14. Условно коренной среднетаежный ельник папоротниково-хвоцево-зеленомошный. Верхне-Андомский ландшафтный заказник. Фото автора, 2014 г.

Таковы ландшафтные заказники «Верхне-Андомский» в верховьях водосборов р.Анды и р.Самины; «Сойдозерский», «Атлека» - в районе верховьев водосбора р.Кемы, «Янсорский» - в средней его части. Однако их площадь в целом невелика. Наряду с заказниками условно коренные леса частично сохранились в других категориях защитных лесов (в т.ч. нерестоохранных и запретных полосах вдоль некоторых водных объектов⁴¹).

Вместе с тем, совместный анализ космоснимков и топографических карт выявил целый ряд случаев отсутствия признаков сохранения буферной водоохранной зоны при вырубках, в особенности для самых малых водотоков. Рис. №15 иллюстрирует данную ситуацию на примере верховьев водосбора р.Кема.

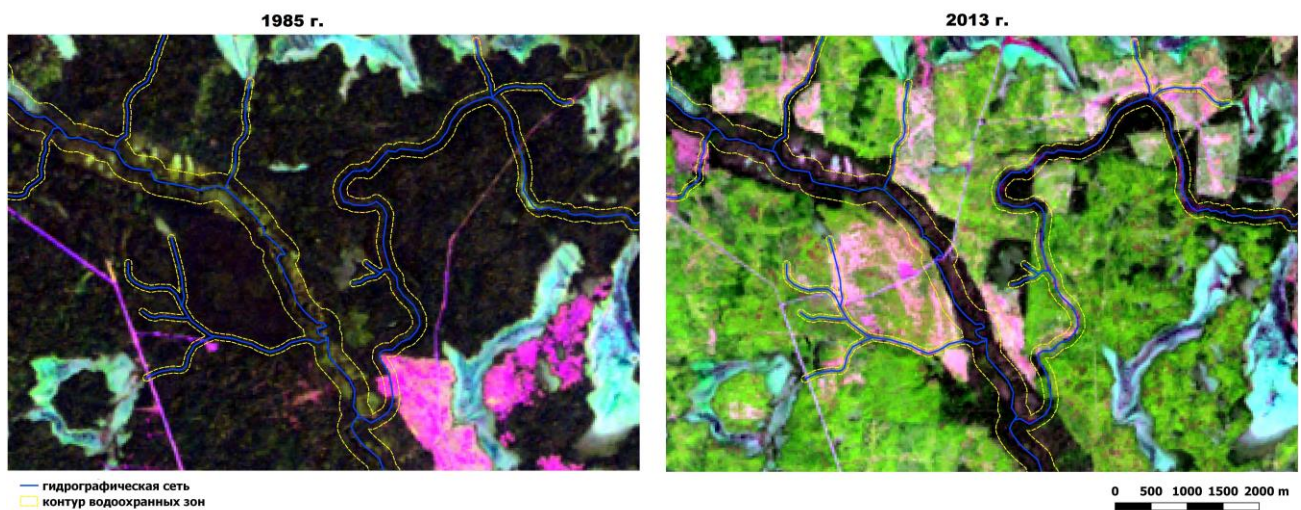


Рис. №15. Вырубки лесной защиты гидрологической сети (Landsat, синтез инфракрасных и красного каналов, SWIR1-NIR-Red)

В представленной комбинации спектральных каналов темным цветом отображается коренная тайга, оттенками зелено-голубого и лазурного — болота, оттенками розового — в основном необлесенные вырубки, оттенками зеленого и ярко-зеленого — вторичные преимущественно мелколиственные леса на месте бывших вырубок.

Отчетливо заметно, что наряду с участками соблюдения водоохранной зоны, рассчитанной с учетом различной протяженности водотоков согласно Водному кодексу (ст.65), имеют место многочисленные признаки сплошных вырубок без учета водотоков, в особенности самых малых (при этом наиболее уязвимых к антропогенному вмешательству). Возможно, это обусловлено

41 Некоторыми исследователями справедливо отмечается, что «охрана одних лишь нерестоохранных и запретных полос совершенно недостаточна для поддержания стабильности стока и качества воды» [Ландшафтное..., 2013, с.13]. При этом ширина таких полос часто превышает ширину «стандартных» водоохранных зон водотоков.

отсутствием сведений о таких водотоках в Государственном водном реестре, однако фактически они существуют и являются частью гидрологической сети ландшафта. С геоэкологической точки зрения это принципиально, т.к. состояние таких самых малых водотоков воздействует на качественные и количественные характеристики стока более крупных рек, которые используются в различных сферах хозяйства.

В этой связи, с учетом того, что аналогичные случаи выявлены и на других водосборах кластера, следует отметить, например, сильное снижение рыбопромыслового значения р.Самина, р.Андома, р.Мегра, как мест нереста ценных видов рыб: лосося, сига, форели. Причины этого связаны, помимо собственно рубок, также и с длительным молевым сплавом, но имеют и общий механизм влияния через засорение и заиливание водотоков [Болотова, 1997, с.307-309; Харькина, 2000, с.331].

Смежным геоэкологическим аспектом является проведение рубок без дифференциации по локальным геоморфологическим условиям. В качестве примера рассмотрен участок в южной части водосбора р.Самина. Здесь долина одного из притоков — р.Куржекса — выработана в западном макросклоне Андомской возвышенности (рис. №16).

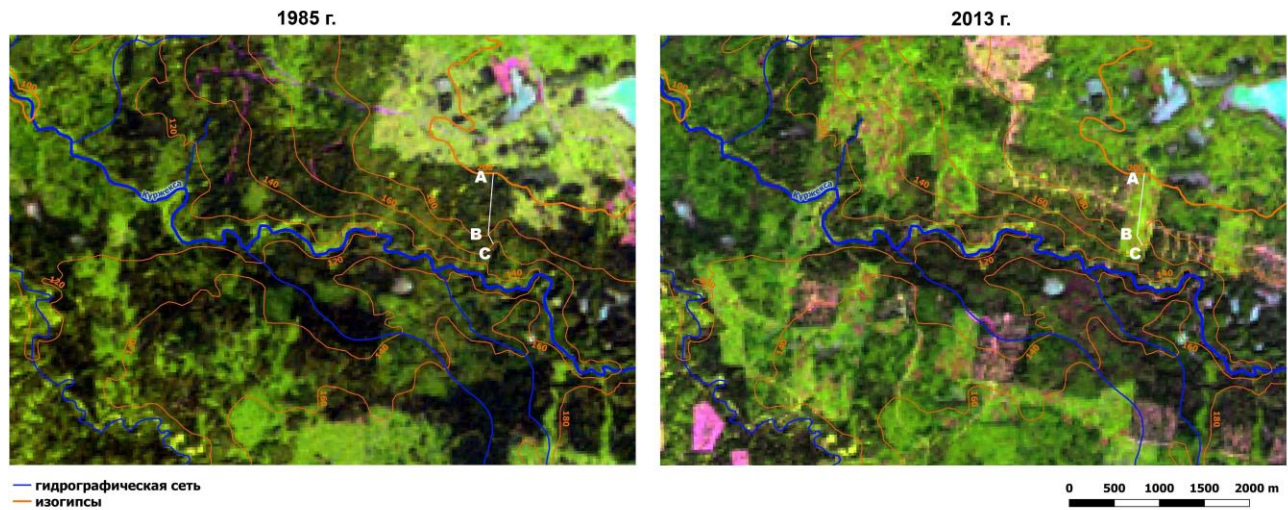


Рис. №16. Вырубки в различных геоморфологических условиях (Landsat, синтез инфракрасных и красного каналов, SWIR1-NIR-Red)

Сравнение снимков 1985 и 2013 гг. показывает, что вырубки проводились безотносительно геоморфологической неоднородности участка, при этом на примере профиля А-В-С отчетливо заметно увеличение крутизны склонов, составляющих на участке В-С $9-11^\circ$ с учетом отметок горизонталей, снятых с топокарт масштаба 1:200000. Следствием является усиление потенциала

эрозионных процессов и рост нагрузки на имеющуюся почвенно-растительную барьерную защиту гидрологической сети⁴². Сходные с приведенным примером случаи отмечены и на других водосборах Прионежского кластера.

Экстенсивный характер лесопользования иллюстрирует лесной поселок Озеро, созданный в 1959 г. в южной части водосбора р.Самина. В поселке находились основная школа, детский сад, ФАП, 2 магазина [Вологодская..., 2006, с.358]. Во время полевого маршрута 2014 г. поселок имел вид заброшенного, часть построек находилась в полуразрушенном состоянии.

3.2.3. Природопользование в районе Вологодского кластера

Район водосборов Вологодского кластера имеет длительную историю природопользования⁴³, истоки которого, как отмечалось, связаны с преобразованием тайги под сельскохозяйственные земли вблизи поселений. Количество населенных пунктов и по архивным и по современным данным заметно выше, чем на территории Прионежского кластера. Развитию сельского хозяйства способствовали, по-видимому, как физико-географические особенности (плодородные дерново-карбонатные почвы на водосборе р.Большая Ельма), так и социально-экономические (близость водосборов, в особенности р.Ема, к г.Вологде и транспортным путям). Из данных по Вологодскому уезду (в границах которого расположена большая часть площади обоих водосборов кластера) последней четверти XIX века [Вологодский..., URL] следует, что в структуре земель преобладали луга, выгоны и «прочие удобные земли» — около 40% территории. На этих угодьях получило развитие молочное животноводство. Доля пашни составляла около 20%, основными посевными культурами были рожь и овес. Леса занимали 1/3 площади уезда и были вовлечены в хозяйственный оборот. В первые десятилетия советского периода леса в районе водосборов Вологодского кластера, имевших сравнительно хорошую транспортную доступность, еще больше трансформировались под влиянием рубок и пожаров.

Анализ космоснимков Landsat с середины 1970-х до 2010-х показал на макроуровне стабильное состояние земельного покрова водосборов, хотя на более детальном уровне установлено зарастание отдельных сельхозугодий. «Типовые» сплошные вырубki почти отсутствуют, что объясняется в том числе тем, что с 1945 г. большая часть лесов водосбора р.Ема вошла в зеленую зону г.Вологды [Воробьев и др., 1997, с.55], а также, по-видимому, меньшей

42 На рассмотренном участке различие спектральной яркости и ровные контуры границ между ними позволяют отметить высокую вероятность прошлых (ориентировочно на рубеже 60-70-х гг.) рубок вблизи реки, в т.ч. в условиях повышенной крутизны склонов.

43 Так, например, с.Котельниково вблизи границы водосбора р.Ема, д.Севастьяново в границах водосбора р.Большая Ельма, известны с XVI-XVII веков [Чайкина, 1988, с.201; О поселении..., URL].

сырьевой ценностью ввиду предшествовавшей сильной антропогенной трансформации в первой половине XX века.

Сохраняется сельскохозяйственная специализация района: посевы зерновых и кормовых культур, молочное животноводство. Сельхозпроизводство механизировано.

Анализ высокодетальных снимков картографических интернет-сервисов показал, что на некоторых участках сельхозугодья, в т.ч. пашни, располагаются в непосредственной близости от русел водотоков (в ряде случаев менее 15 м). Примеры для обоих водосборов Вологодского кластера приведены на рис. №17. Кроме того отдельные грунтовые дороги пересекают малые водотоки бродом⁴⁴.



Рис. №17. Возделываемые сельхозугодья вблизи русел рек Вологодского кластера (картооснова Google Maps)

На рис. №17 для водосбора р.Большая Ельма (справа) отчетливо дешифрируется, что обработка поля, прилегающего к правобережью реки, проводилась по направлению к руслу, т. е. вдоль склона, что увеличивает потенциал водной эрозии. Геоэкологическими следствиями указанных аспектов являются заиление и загрязнение водотоков, в т.ч. в случае с прилегающими полями — диффузное. В свою очередь это способствует ухудшению водного режима речной сети.

Завершая очерк природопользования, отметим, что основные формы природопользования, сформировавшиеся на региональном уровне под влиянием природных и социально-экономических факторов, находят отражение в районах обоих водосборных кластеров.

⁴⁴ Подобные явления – не всегда необходимость. Так, в полевом маршруте отмечен случай, когда следы неорганизованного съезда в русло (по-видимому, в целях «экстремального отдыха» на внедорожной технике) наблюдались в непосредственной близости от стационарного моста, находящегося в пригодном для проезда состоянии.

3.3. Пространственная организация бассейновых природоохранных мероприятий

Природоохранное зонирование отражает рекомендации по пространственной организации природопользования в исследуемых бассейнах, с учетом сложившейся в кластерах специализации природопользования. Оно включает два этапа. Во-первых – анализ бассейнов в части дифференциации их территории по денудационному потенциалу, отражающему комплекс геоморфологических и почвенно-геологических условий, обоснование чему приводится далее. Во-вторых – собственно зонирование режимов хозяйственной деятельности с рекомендациями соответствующих природоохранных мероприятий, связанных с поддержанием стокорегулирующих функций природно-антропогенных ландшафтов.

3.3.1. Дифференциация водосборов по денудационному потенциалу ландшафтов

Денудация представляет собой совокупность процессов разрушения горных пород и сноса на более низкие гипсометрические уровни [Денудация..., URL]. Важнейшим агентом денудации является эрозия, применительно к району исследования — водная.

Комплексность денудационных процессов объясняется тем, что степень их проявления зависит как от природных, естественно обусловленных характеристик территории, так и от антропогенного влияния на нее. Последнее особенно важно в контексте влияния денудационных процессов на верхние звенья речной сети, на малые реки и их гидрологический режим. Это проявляется прежде всего в возможности поступления избыточного количества наносов в русловую сеть, которое, превышая эрозионно-транспортирующую способность потока, откладывается в руслах, вызывая редуцирование верховьев русловой сети и усиливая неравномерность ВРС малых рек (см. гл. 1.2).

В числе основных компонентов, контролирующей интенсивность денудационных процессов, следует отметить рельеф, почвенно-литологические особенности и растительный покров. Рельеф и почвогрунты могут быть сгруппированы, как элементы, образующие «статический» компонент денудационного потенциала, который мало зависит от антропогенного воздействия. В то время как растительный покров — это один из наиболее сильно трансформируемых в результате хозяйственной деятельности элементов ландшафта. Такие особенности обосновывают ступенчатый подход к оценке неоднородности территории водосборов по их денудационному потенциалу. На первом этапе потребовалось провести теоретическое обоснование денудационного потенциала в относительных категориях применительно к морфометрическому и почвенно-литологическому

разнообразию территории водосборов.

Среди различных морфометрических показателей в контексте денудационных процессов важную роль имеет показатель крутизны склонов. Это объясняется тем, что скорость ламинарного потока пропорциональна уклону в первой степени, а также тем, что составляющая силы тяжести, которая определяет силу сопротивления частицы грунта эрозии, убывает с увеличением крутизны склона [Маккавеев, 1998, с.287]. Однако в качестве фактора морфологической дифференциации была использована характеристика индекса пересеченности (Ruggedness) рельефа. Это обусловлено большей гибкостью расчета данного показателя применительно к разным уровням генерализации результата. При этом экспериментальный расчет показал отчетливую пространственную сходимость (с учетом генерализации) индекса пересеченности и дифференциации, собственно, по углам уклонов, а также «плотности» изогипс. Для отнесения к категориям денудационного потенциала использовалась классификация согласно таблице №8 (с учетом объединения категорий «высокий» и «очень высокий»).

Дифференциация почвогрунтов по денудационному потенциалу основывается на генезисе четвертичных отложений (и тесно связанных с ними почв), определяющем в т.ч. такую важную для эрозионной устойчивости характеристику как гранулометрический состав. Анализ разнообразия почвогрунтов района исследования показывает, что большинство из них образованы на четвертичных отложениях моренного генезиса, однако в Вологодском кластере они частично перекрываются покровными. В пределах рассматриваемой территории именно покровные суглинки, имеющие наибольшую долю крупнопылеватой фракции, согласно [Почвенно-геологические..., 1984, с.512] являются наиболее эрозионноопасными. Моренные отложения дифференцируются по гранулометрическому составу и, в меньшей степени, содержанию гумуса. Согласно данным по эродированности почвогрунтов [Почвенно-геологические..., 1984, с.513-515], опирающимся на параметры гранулометрического состава и содержания гумуса, почвогрунты классифицированы следующим образом (таблица №12).

Таблица №12. Дифференциация почвогрунтов по уязвимости к денудации.

Критерий	Денудационный потенциал		
	высокий	умеренный	низкий

<p>Степень подверженности водной эрозии, как ведущему фактору денудации в рассматриваемом районе</p>	<p>Дерново-подзолистые на покровных суглинках</p>	<p>Подзолистые и дерново-подзолистые на ледниковых суглинках валунных; Подзолистые и дерново-подзолистые на озерно-ледниковых глинах; Подзолы на озерно-ледниковых песках</p>	<p>Дерново-карбонатные на карбонатных ледниковых суглинках валунных; Подзолы на водно-ледниковых песках с гравием и галькой; Торфяники верховых болот</p>
--	---	---	---

Далее проведена оценка «синтетического» денудационного потенциала, «объединяющая» дифференциацию по морфометрическим и почвенно-литологическим условиям. Такая оценка дает представление о «статическом», слабо изменяющемся компоненте денудационного потенциала. Результат отражен в таблице №13.

Таблица №13. Дифференциация геоморфологических ландшафтов по денудационному потенциалу.

Денудационный потенциал:	по морфометрическим условиям		
по почвенно-литологическим условиям	Высокий	Умеренный	Низкий
Высокий	<i>Высокий</i>	<i>Высокий</i>	<i>Умеренный</i>
Умеренный	<i>Высокий</i>	<i>Умеренный</i>	<i>Низкий</i>
Низкий	<i>Умеренный</i>	<i>Умеренный</i>	<i>Низкий</i>

Согласно методике (раздел №2.3.4) построены промежуточные карты (слои) дифференциации территории водосборов по «статическому» денудационному потенциалу. С учетом принятой схемы дифференциации, фактически для Прионежского кластера влияние геоморфологического фактора более выражено ввиду отсутствия на территории (в отличие от Вологодского кластера) почвогрунтов с высоким денудационным потенциалом. Эти данные отражают тот «компонент» денудационного потенциала, который напрямую не зависит от антропогенной деятельности, в

отличие от его третьего элемента — растительного покрова. Роль растительности как важнейшего агента ослабления интенсивности денудационных процессов хорошо известна [Почвенно-геологические..., 1984, с.517; Маккавеев, 1998, с.177,199] и, в частности, имеет важное геоэкологическое значение в связи с состоянием малых рек [Горшков, 2001, с.101, 146]. В этом контексте проявляется ряд взаимосвязанных экологических функций живого вещества [Горшков, 2001; 2007]: почвенно-элювиальная, водоочистная и водорегулирующая. Первая связана с подавлением растительностью механической денудации (связанной с деятельностью воды, ветра, а также колебаниями температуры и влажности) и ее замещением существенно более медленной биогеохимической денудацией. Вторая определяется ведущей ролью состояния растительности в бассейне в формировании твердого стока [по Г.А. Лопатину, 1958]. Эта роль связана не только с буферной функцией растительности, гасящей ударную силу дождевых капель и размывающий эффект водных струй, но и с задержкой поверхностного стока и частичного перевода его в подземный, что в свою очередь, во-первых, способствует био-физико-химической фильтрации, а во-вторых — реализации собственно водорегулирующей функции путем динамической регуляции влаги в системе растительность-почва-подпочвенный грунт, представляющей естественный источник влаги для подпитки водных объектов главным образом через подземный сток.

Типизация растительного покрова по схеме классификации космоснимков (таблица №9) в контексте влияния на денудационные процессы была переработана (табл.№14).

Таблица №14. Дифференциация типов растительного покрова по противоденудационной функции.

Противоденудационная функция	Высокая	Средняя (восстанавливающиеся экосистемы)	Пониженная
Тип растительного покрова	Преимущественно хвойные старо- и разновозрастные леса нормального увлажнения; Хвойные и мелколиственные заболоченные леса; Болота	Смешанные хвойно-мелколиственные леса нормального увлажнения; Преимущественно мелколиственные леса нормального увлажнения	Вырубки; Сельхозугодья

Картографическое представление результатов совмещения абиотической компоненты денудационного потенциала (по морфометрическим и почвенно-литологическим условиям) и растительного покрова, представлено на рис.№18-19.

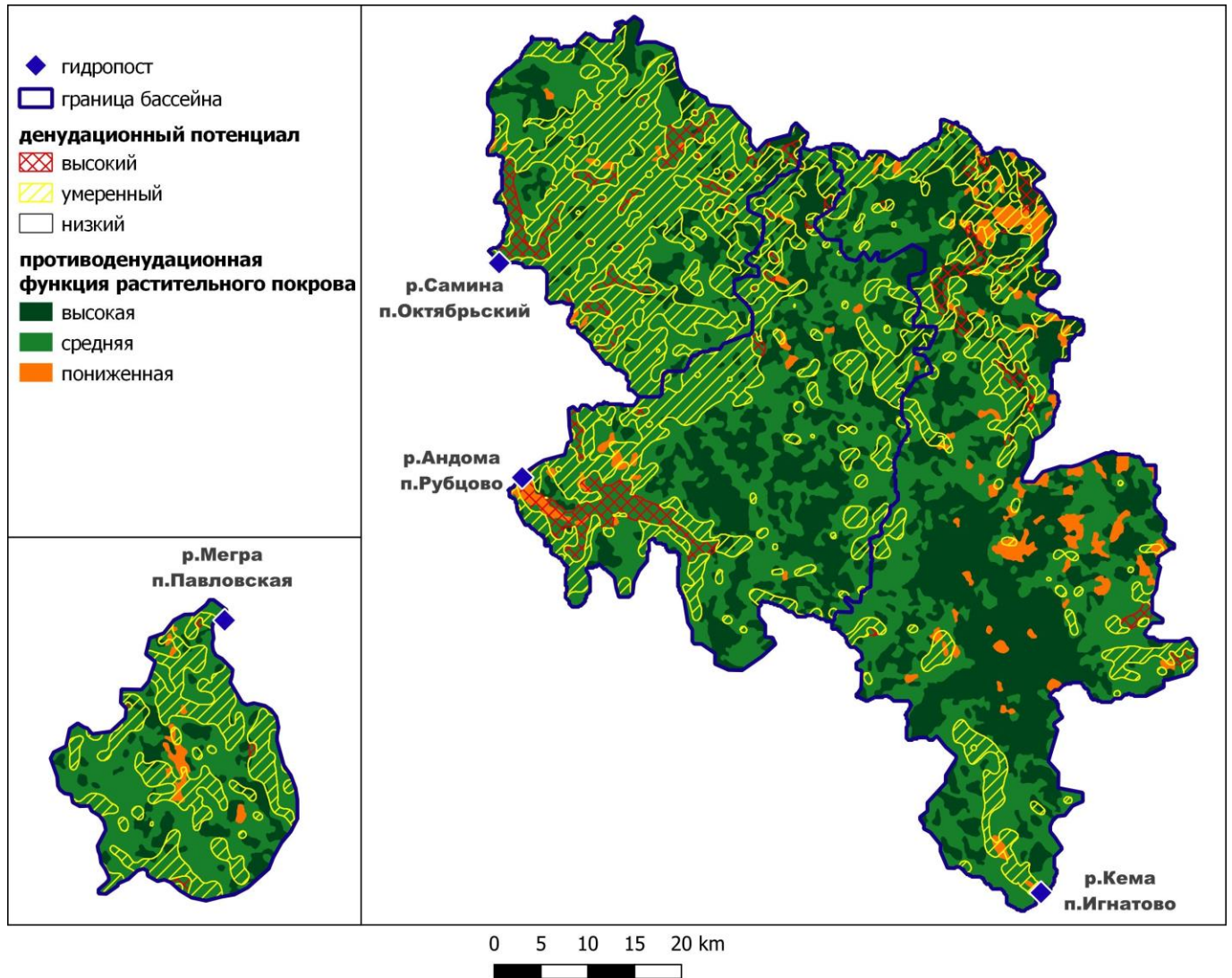


Рис.№18. Денудационная дифференциация водосборов Прионежского кластера

Данные карты по Прионежскому кластеру (рис.№18) позволяют отметить следующие аспекты. Не обнаруживается признаков дифференциации лесозаготовок (как доминантного вида природопользования в кластере) в зависимости от различий денудационного потенциала. Так, для абсолютного большинства участков умеренного и высокого денудационного потенциала характерны типы растительного покрова, сформировавшиеся вторичной сукцессией

(соответствующие в основном сплошным вырубкам 70-х – 90-х гг. XX века). Современные вырубки также отмечаются на участках с разным уровнем денудационного риска⁴⁵. Те участки, где сохранилась растительность с высоким противоденудационным значением в большинстве случаев либо имеют официальный защитный статус либо малопривлекательны для лесозаготовителей (заболоченные низкобонитетные леса, болота, а также мелкоконтурные участки).

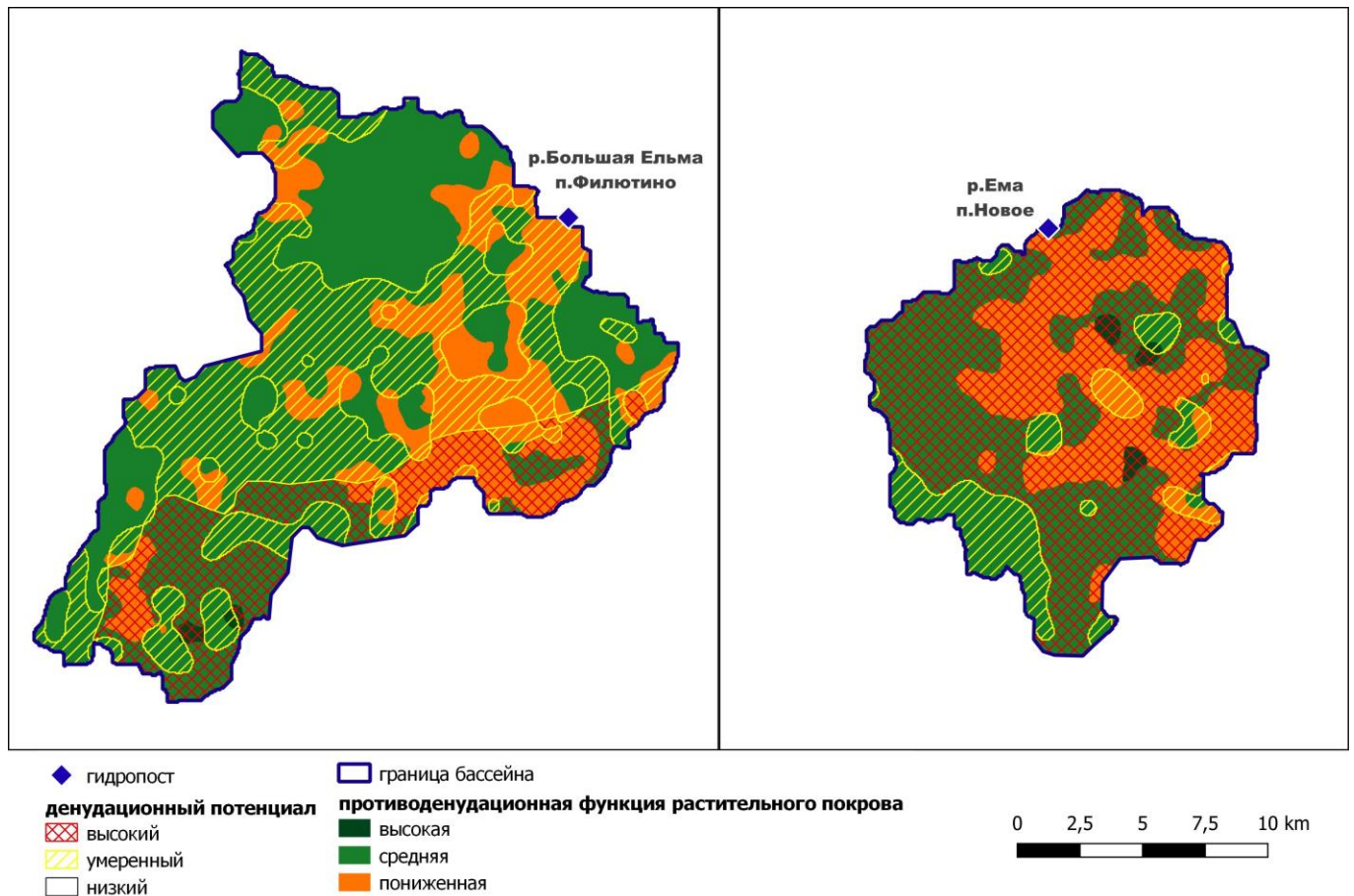


Рис.№19. Денудационная дифференциация водосборов Вологодского кластера

В Вологодском кластере наибольшая интенсивность эрозионно-денудационных процессов связана с сельскохозяйственными землями. «Ядра» современных сельхозугодий в ретроспективе в основном совпадают с их контурами на картах конца XIX – первой половины XX века [Старые..., URL], что свидетельствует об относительной устойчивости структуры землепользования⁴⁶, при этом сложившаяся «мозаика» сельскохозяйственных земель включает участки с разным

⁴⁵ Интересно, что таким образом как пример «нерационального» природопользования это проявилось в условиях и «плановой» и «рыночной» модели экономики.

⁴⁶ Вместе с тем, по картографическим и спутниковым данным отмечены отдельные случаи зарастания сельхозугодий и их частичного замещения лесом.

денудационным потенциалом.

Определение денудационной дифференциации территории водосборов, включающей анализ их почвенно-литологических и морфометрических особенностей, а также растительного покрова, дает основу для предварительной оценки природопользования и является важным шагом к последующему планированию бассейновых природоохранных мероприятий.

3.3.2. Зонирование режимов природопользования на геоэкологической основе

Предложения по зонированию опираются на выделение экологического каркаса бассейнов и дифференциацию природопользования с учетом неоднородности территории по денудационному потенциалу.

Экологический каркас водосбора «это взаимосвязанная пространственно-организованная структура гидрографической сети водосбора и всех сохранившихся внутри него участков естественных ландшафтов, урочищ, водно-болотных угодий и других объектов с различными режимами природопользования, выполняющих основные средообразующие и средозащитные функции» [Диффузное..., 2020, с.375]. В общем виде структура экологического каркаса образуется распределённой сетью площадных и линейных элементов, представляющих собой соответственно ядра каркаса и экологические коридоры.

Ядра экологического каркаса имеют наибольшую значимость в части выполнения средообразующих функций. Обычно они связаны с относительно крупными участками, не затронутыми хозяйственной деятельностью или участками, где соответствующее влияние наименее выражено относительно прочих территорий. Применительно к районам водосборных кластеров специфика выделения ядер немного отличается, что связано с историей природопользования и его специализацией.

Экологические коридоры обеспечивают связность между ядрами и в структуре бассейнового экологического каркаса представлены прежде всего гидрологической сетью вместе с водоохранными зонами⁴⁷.

Применительно к районам водосборных кластеров определение элементов экологического каркаса было выполнено с опорой на ранее проведенную классификацию по типам подстилающей

47 При этом на более детальном (относительно общесборного) уровне дифференциации представляется актуальным комментарий А.В. Хорошева [2021] о целесообразности варьирования ширины буферной водоохранной зоны в зависимости не только от длины водотока, как это определено в действующем водном кодексе, но и от различия реальных условий прилегающих ландшафтов.

поверхности (табл.№9) в сочетании с данными о гидрологической сети⁴⁸.

Дифференциация режимов природопользования вне ядер для обоих кластеров представлена в виде трех уровней по степени ограничений, при этом их содержание определяется основной специализацией природопользования кластеров – лесопромышленной в Прионежском и сельскохозяйственной в Вологодском. Картографическое представление результатов зонирования показано на рис.№20-21.

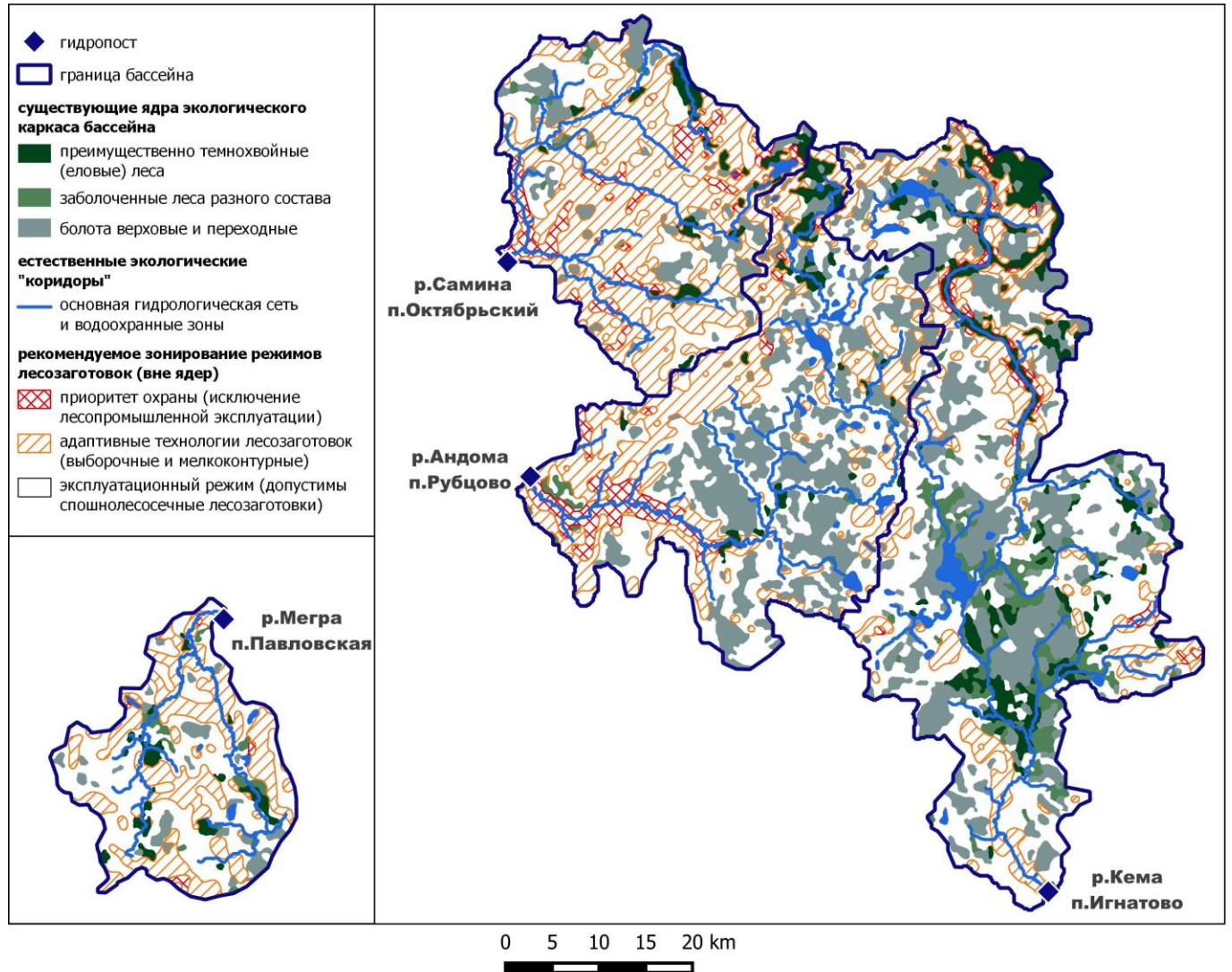


Рис.20. Природоохранное зонирование на водосборах Прионежского кластера

Прионежский кластер. Ядра экологического каркаса водосборов Прионежского кластера

⁴⁸ Ввиду генерализации, карты на рис.20-21 не отображают самые верхние звенья русловой гидрологической сети, также являющиеся важными элементами экологического каркаса.

включают преимущественно темнохвойные (еловые) леса нормального увлажнения, заболоченные леса смешанного состава, а также верховые и переходные болота. Все эти таксоны вносят значительный вклад в обеспечение стокорегулирующих функций в бассейне. Среди сохранившихся к середине 2010-х гг. участков хвойных лесов, большинство которых являются условно коренными, часть относятся к категориям ООПТ и иных видов защитных лесов. Однако остальные также нуждаются в охранном статусе, поскольку привлекательны для лесозаготовителей в отличие от менее продуктивных по запасам древесины заболоченных лесов и тем более болот. Для последних актуально сохранение или восстановление буферной зоны, примыкающей к их окраинам. Согласно [Методические..., 2013] рекомендуется ее ширина не менее 50 м.

Сохранившиеся малонарушенные древостои фактически являются лесами высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ), т.е. такими "где ценность запасенного в них древесного сырья оказывается второстепенной по сравнению с их значимостью для сохранения биоразнообразия, поддержания экологического равновесия и (или) обеспечения потребностей местного населения" [Основы..., 2014, с.261].

Входящие в структуру экологического каркаса «коридоры» связаны не только непосредственно с реками, но также должны включать в себя водоохранные зоны, в т.ч. выделяемые в самых верхних звеньях гидрологической сети, включая пересыхающие водотоки и ложбины стока. Так, согласно [Методические..., 2013], для временных водотоков рекомендуется установление буферных полос шириной не менее 15 м с учетом особенностей рельефа и сохранения устойчивости оставленного участка леса. Требуется учет указанных типов водоохранных зон на более детальном масштабе при проведении лесостроительных работ и при отводе лесосек на эксплуатационных участках. Как отмечалось ранее (п.3.2.2), при предшествующем лесопользовании не уделялось должного внимания сохранению буферных водоохранных зон, в особенности для самых малых водотоков, что оценивается автором как серьезное снижение водорегулирующих и водоохранных функций, не только из-за сведения древостоя, но и из-за повреждения живого напочвенного покрова и ухудшения гидрофизических свойств почв. Частичная компенсация утраченных функций возможна путем проведения детального мониторинга состояния водоохранных зон, находящихся в разных фазах сукцессии, для определения целесообразности проведения соответствующих лесоводственных мероприятий с целью ускоренного формирования смешанных и темнохвойных древостоев с живым напочвенным покровом и недопущения в дальнейшем вовлечения этих зон в лесопромышленный оборот.

Дифференциация природопользования вне ядер. Зона с приоритетом охраны включает в себя

территории с высоким денудационным потенциалом. Учитывая принятую схему дифференциации (табл.№12-13) в Прионежском кластере эти области связаны прежде всего с наиболее расчлененным рельефом, где типовые сплошнолесосечные лесозаготовки сильно влияют как на прямые (трансформация осадков в сток), так и на косвенные (эрозионно-денудационные) процессы стокоформирования. Вне выделенных ядер экологического каркаса эта зона в значительной степени уже пройдена рубками. Тем не менее, в дальнейшем рекомендуется исключение промышленных лесозаготовок в ее пределах и ориентация на развитие других видов лесопользования, таких как рекреация, сбор недревесных лесных ресурсов, включая пищевые и лекарственные.

Зона адаптивного природопользования приурочена к областям с умеренным денудационным потенциалом, для которого ведущим в кластере также является фактор расчлененности рельефа. Эта зона имеет намного более широкий пространственный охват, чем предыдущая, особенно в бассейнах р.Самина и р.Мегра. Это затрудняет ее вывод из лесопромышленной эксплуатации и здесь актуализируется использование адаптивных технологий лесозаготовок. Стратегически к такому следует отнести внедрение выборочных и мелкоконтурных рубок. При выборочных рубках периодически вырубается часть деревьев определенных возраста, размеров, качества и состояния (но не только лучших с товарной точки зрения). Мелкоконтурные рубки отличаются небольшими размерами лесосек площадью от десятых долей до одного гектара [Основы..., 2014]. В условиях повышенной расчлененности рельефа актуализируется адаптация пространственной конфигурации лесосек, как например заужение и ориентация поперек склона.

Как отмечается в [Основы..., 2014], одной из основных сложностей, препятствующих широкому распространению выборочного типа лесного хозяйства, являются более высокие требования к квалификации персонала всех уровней и отчасти к техническому обеспечению. Однако важнейшим преимуществом использования сочетания выборочных и мелкоконтурных рубок является сохранение лесной среды в целом, что достигается путем имитации естественной динамики леса, оконно-мозаичной структуры древостоев. Таким образом, несмотря на изъятие древесины, территории, где ведется выборочное и мелкоконтурное хозяйство продолжают оставаться лесными. И, как следствие, в значительно меньшей степени, чем при типовом сплошнолесосечном хозяйстве, ослабляются экологические функции леса, включая регулирование стока и защиту от эрозии. В общем случае именно выборочное хозяйство с элементами мелкоконтурного дает наибольшие возможности для диверсифицированного, многоцелевого использования лесов [Основы..., 2014]. Следует отметить, что экономическая эффективность выборочного хозяйства тесно связана с развитой дорожной сетью и в этом смысле

его внедрение отчасти облегчается возможностью использования транспортной инфраструктуры, созданной ранее при "пионерном" освоении территории. Однако при ее обновлении и эксплуатации необходимо уделить особое внимание противоэрозионному укреплению, а также использованию «легкой» техники. Кроме того требуется учет сезонной (и внутрисезонной) variability погодно-климатических условий, которые являются фактором ограничения приемлемых с точки зрения эрозионных рисков периодов заготовки⁴⁹.

Зона эксплуатационного режима включает территории с низким денудационным потенциалом. Здесь допустимы наименьшие ограничения на ведение лесозаготовок. Но, тем не менее, в средне- и долгосрочной перспективе предлагаются некоторые изменения. По результатам анализа космоснимков типовые площади единовременных вырубок составляют около 30-50 га, а сроки примыкания лесосек могут быть менее 5 лет. Актуальной задачей является постепенное снижение площади лесосек до первых гектар и менее, а также увеличение сроков примыкания соседних лесосек до 10 и более лет. Иначе говоря, в этой зоне природопользования в долгосрочной перспективе акцент должен смещаться от сплошнолесосечного к мелкоконтурному сплошнолесосечному хозяйству в сочетании с выборочным, поскольку сочетание выборочных и мелкоконтурных рубок в целом позволяет обеспечить более устойчивое лесопользование, обеспечивая бóльшую сбалансированность экологических, социальных и экономических целей лесного хозяйства [Основы..., 2014]. Однако в отличие от зоны адаптивного природопользования, здесь есть возможность их постепенного внедрения, что отчасти может способствовать решению задач подготовки квалифицированного персонала, что, как отмечалось выше, является одним из основных сдерживающих факторов для развития выборочного хозяйства. Возможность постепенного обновления технологий заготовки в этой зоне также позволяет выстроить и временную организацию природопользования, когда исходно здесь наряду с "типовым" сплошнолесосечным природопользованием на отдельных участках нарабатывается опыт ведения выборочного и мелкоконтурного хозяйства, который позволяет в последующем начать экологически приемлемое лесопользование уже в зоне адаптивного природопользования с последующим "возвратом", уже в больших объемах, на зону, изначально выделенную как "эксплуатационная".

И в зоне адаптивного и, в особенности, эксплуатационного природопользования на более

⁴⁹ Здесь следует также отметить риски, связанные с изменениями климата в контексте явлений «мягкой» зимы и «сырого» лета. В этих случаях при работе техники как при заготовке, так и при транспортировке древесины существенно усиливается потенциал разрушения почвенного покрова, почвы и транспорт наносов с поверхностным стоком к гидрологической сети.

детальном масштабе планирования следует учитывать т.н. «ключевые лесные биотопы» т.е. небольшие по площади участки экосистем, важные для обеспечения биоразнообразия и поддержания различных средообразующих функций в хозяйственно освоенных лесах (вне ООПТ). К ним относятся, например, отмечавшиеся ранее окраины болот, участки леса вдоль временных водотоков, а также места обитания редких видов растений и животных и ряд других типов. При отводе лесосек они должны сохраняться в виде неэксплуатационных участков [Основы..., 2014; Методические..., 2013].

Вологодский кластер. Для водосборов Вологодского кластера рекомендуемая пространственная дифференциация природопользования представлена на рис.21.

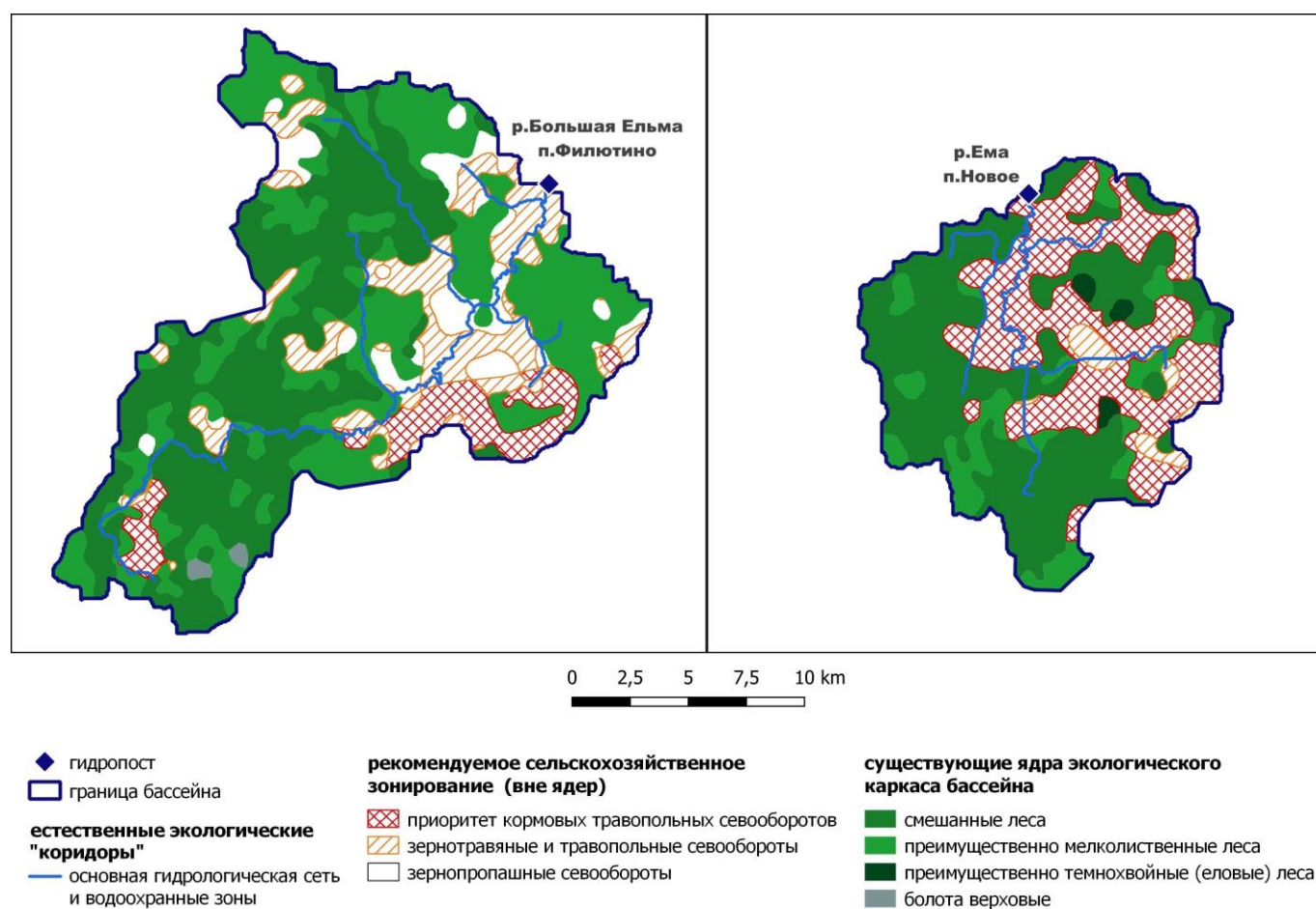


Рис.21. Природоохранное зонирование на водосборах Вологодского кластера

Ядра экологического каркаса водосборов Вологодского кластера образованы смешанными и преимущественно мелколиственными лесами, дополняемыми небольшими участками соответственно преимущественно темнохвойных лесов в бассейне р.Ема, а также верховых и

переходных болот в бассейне р.Большая Ельма. Лесные таксоны здесь являются вторично сукцессионными, однако их вклад в обеспечение бассейновых стокорегулирующих функций выше, чем для сельскохозяйственных таксонов, отражающих современную специализацию природопользования.

Естественные экологические коридоры, как и в Прионежском кластере, связаны с гидрологической сетью и ее водоохранными зонами. Последние в Вологодском кластере нуждаются в частичном восстановлении путем вывода из эксплуатации участков обрабатываемых полей, прилегающих к русловой сети менее чем на 50 м, и их последующей фитомелиорации. При этом на отдельных участках буферная водоохранная зона может быть увеличена в зависимости от крутизны рельефа и агротехники, применяемой на прилегающих полях. Кроме того, принимая во внимание наличие в бассейнах относительно разветвленной сети дорог без твердого покрытия, следует укреплять их вблизи пересечения с водотоками.

Зонирование режимов природопользования вне ядер. Зонирование режимов хозяйственной деятельности для Вологодского кластера фактически связано с сельскохозяйственным природопользованием, однако, в случае его диверсификации и частичного восстановления лесозаготовок, рекомендуется руководствоваться принципами, обозначенными для имеющего лесохозяйственную специализацию Прионежского кластера (с учетом пространственной дифференциации денудационного потенциала в Вологодском кластере, рис.19). Учитывая сложившуюся «мозаику» сельскохозяйственных угодий, зонирование режимов природопользования не предусматривает вывод земель из сельскохозяйственного оборота и направлено на управление поверхностным стоком для его частичного перехвата и перевода в грунтовый сток, а также для снижения эрозионного риска как косвенного фактора стокорегулирования. Применительно к сельскому хозяйству зонирование отражает не только ограничения, но и степень желательного «насыщения» агроландшафта искусственными элементами, дополняющими экологический каркас, такими как буферные лесополосы и полосное залужение. В Вологодском кластере в сравнении с Прионежским более выражена контрастность почвенно-грунтовых условий как элемента дифференциации денудационного потенциала (табл.№12-13), поэтому зонирование природопользования включает «вложенные» элементы катенарной дифференциации [Природно-антропогенные..., 2008, с.69], для отражения особенностей рельефа, которые следует учитывать на местном уровне, более детальном, чем бассейновый.

Зона с приоритетом кормовых севооборотов приурочена к территориям с высоким

денудационным потенциалом, который в Вологодском кластере в значительной степени определяется областью распространения чехла наиболее эрозионно-опасных покровных суглинков. Учитывая, что важнейшим фактором почвенной эрозии является склоновый сток, возникающий во время дождя или снеготаяния⁵⁰, а также дифференцированную почвозащитную роль культурной растительности, снижающуюся в ряду «многолетние травы, озимые, яровые, пропашные культуры» [Почвенно-геологические..., 1984, с.519-520], в этой зоне рекомендуется использовать почвозащитные травопольные севообороты, поддерживая ее кормовой сенокосный профиль. Принимая во внимание значительный пространственный охват этой зоны в бассейне р.Ема, допускается травопольный севооборот (многолетние травы, озимые зерновые) на субгоризонтальных плакорных участках, которые следует отделять от склоновых элементов агроландшафтной катены буферными защитными лесопосадками, которые выполняют здесь как противозерозионную функцию, так и функцию регуляции талого стока за счет снижения сдувания снега и уменьшения промерзания почв.

Зона смешанных зернотравяных севооборотов включает в себя области с умеренным денудационным потенциалом. Здесь на плакорных участках допустимы собственно зернотравяные севообороты (озимые и яровые зерновые в сочетании с многолетними травами), на склонах – травопольные, а при условии соблюдения противозерозионных мероприятий, в особенности поперечной обработки и полосного залужения⁵¹ – также зернотравяные севообороты. Как и в предыдущей зоне, субгоризонтальные плакорные участки следует отделять от склоновых буферными лесопосадками.

Зона зернопропашных севооборотов приурочена к территориям с низким денудационным потенциалом, где растениеводческие ограничения наименьшие. Слабая пересеченность рельефа в сочетании с умеренно и низко эрозионно-опасными почвогрунтами, дают возможность культивирования здесь пропашных культур, в т.ч. картофеля и овощей открытого грунта в сочетании с яровыми зерновыми культурами. На крупных полях согласно [Лесомелиорация..., 2014] рекомендуется размещать субширотные лесополосы с интервалом 0,2-0,4 км, состоящие из 3-4 рядных насаждений смешанного состава с 50% участием хвойных пород.

50 При этом в верхнем звене сети потоков (внерусловом стоке), где происходит плоскостная эрозия действие ливневых дождей более значимо [Маккавеев, 1998, с.195-197, с.206].

51 Н.И. Маккавеев [1998, с.149] обращает внимание, что чересполосное залужение с постепенным смещением залуженных полос может быть более эффективно для защиты от нерусловой эрозии, чем стационарные лесные полосы. Это связано с отрицательным балансом вещества на прилегающей снизу части склона, что может приводить к «пестроте» почвенного покрова.

Завершая настоящий раздел, отметим, что и лесохозяйственная и сельскохозяйственная специализация природопользования обоих кластеров являются репрезентативными видами пространственно-распределенной хозяйственной деятельности. Это позволяет использовать предложенные принципы зонирования на субрегиональном уровне.

Глава 4. Отклик стока на ландшафтно-экологические условия водосборов

Отправной точкой анализа отклика стока на ландшафтно-экологические условия водосборов являются гидрографы, характеризующие режим стока и его изменчивость в пространственном и временном контексте. Далее приведены гидрографы рек обоих кластеров, построенные по осредненным данным относительного стока за два рассматриваемых периода 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг. (Рис. №22-23). По результатам оценки водности относительно многолетних (1970-2014) рядов установлено, что водность (по р.Ема для Вологодского кластера и по р.Андома для Прионежского кластера) в указанные промежутки была близка к среднемуголетней. Для р.Ема водность в период 1981-1985 гг. составила 0,92, а для периода 2010-2014 гг. 0,94 от среднемуголетней. Для р.Андома соответственно 1,09 в период 1981-1985 гг. и 1,01 для периода 2010-2014 гг.

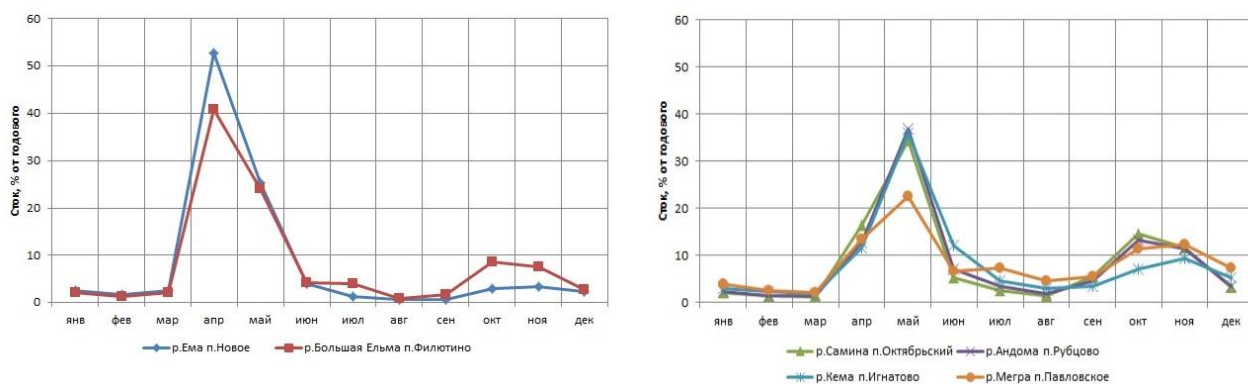


Рис. №22. ВРС рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров периода 1981-1985 гг.

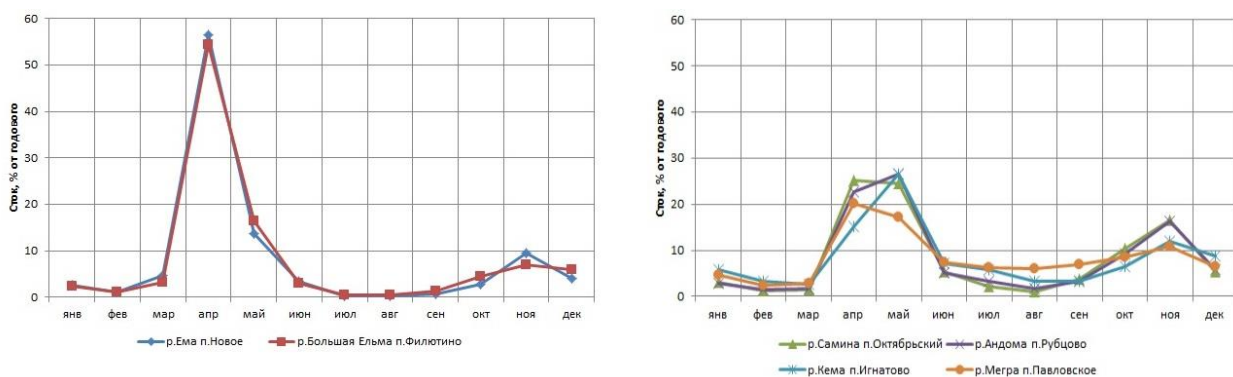


Рис. №23. ВРС рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров периода 2010-2014 гг.

Гидрографы показывают отчетливую дифференциацию между кластерами, что выражается в большей амплитуде ВРС рек Вологодского кластера в сравнении с Прионежским в течение обоих рассматриваемых периодов.

4.1. Индикация пространственной дифференциации стокоформирующих факторов

Рассмотрим отклик стока на пространственные различия ландшафтно-экологических условий на примере периода 2010-2014 гг.

4.1.1. Особенности сезонного стока

Приведем данные о сезонном относительном стоке водосборов (таблица №15). Фазы стока рассчитаны в нескольких интервалах, соответствующих наиболее характерным, а также расширенным периодам, включающим «пограничные» для гидрологических фаз месяцы.

Таблица №15. Сезонный относительный сток, %.

	Зимняя межень		Весеннее половодье		Летняя межень		Осенние паводки	
	дек-фев	дек-мар	апр-май	апр-июн	июл-авг	июл-сен	сен-ноя	окт-ноя
Ема	7,8	12,4	70,3	73,8	0,7	1,6	13,1	12,3
Большая Ельма	9,4	12,5	70,7	73,8	1,0	2,2	12,7	11,5
<i>Среднее Вологодский</i>	<i>8,6</i>	<i>12,5</i>	<i>70,5</i>	<i>73,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,9</i>	<i>12,9</i>	<i>11,9</i>
Самина	9,6	11,1	49,5	54,9	3,3	7,1	30,7	26,9
Андома	10,3	12,0	49,2	54,2	5,1	8,3	28,7	25,5
Кема	17,8	20,4	41,8	48,9	9,0	12,4	21,6	18,3
Мегра	13,7	16,6	37,4	44,8	12,4	19,4	26,2	19,3
<i>Среднее Прионежский</i>	<i>12,9</i>	<i>15,0</i>	<i>44,5</i>	<i>50,7</i>	<i>7,4</i>	<i>11,8</i>	<i>26,8</i>	<i>22,5</i>

Межкластерное сравнение четко показывает, что для Вологодского кластера характерна более глубокая зимняя и летняя межень и более «резкое» половодье в сравнении с Прионежским кластером. При этом для рек Вологодского кластера характерен меньший разброс показателей, чем для рек Прионежского, что иллюстрирует Рис. №24.

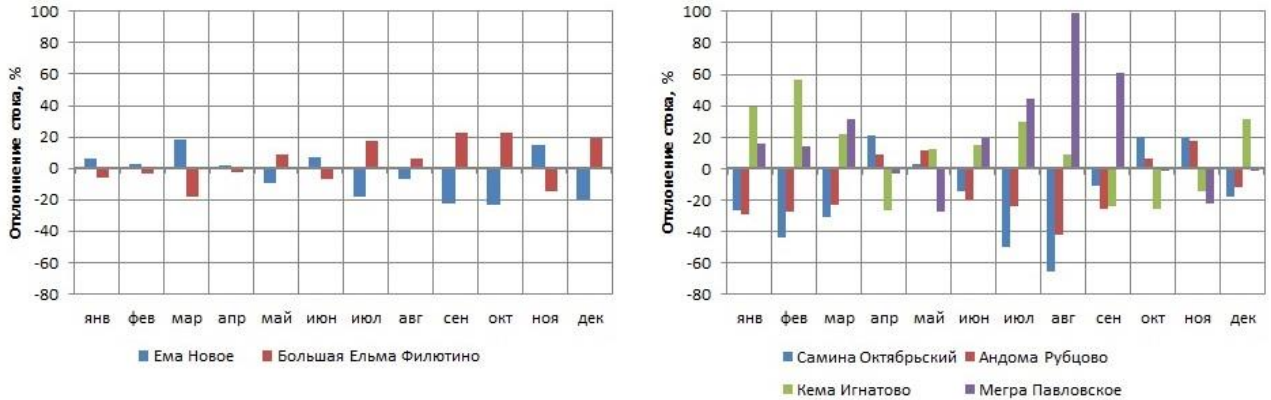


Рис. №24. Отклонения среднемесячного стока рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров от среднего по кластеру

Ключевым отличием кластеров по фазам водного режима является период весеннего половодья. Средний сток обеих рек Вологодского кластера за апрель-май — основной период половодья — достигает 70% годового, в то время как средний сток по рекам Прионежского кластера за аналогичный период только 44%, а наибольшая водность этого периода на отдельных реках кластера (р.Самина, р.Андома) не превышает 50% годового. Доля июньского стока, переходного к летней межени, для Вологодского кластера меньше (3,3⁵²%), чем для Прионежского (6,2%).

Заметны межкластерные различия меженного периода. Зимний меженный сток периода декабрь-март на реках Прионежского кластера выше (15%, в т.ч. 2,2% в марте), чем Вологодского (12% в т.ч. 3,9% в марте). Летняя межень — наименее водная фаза годового стока для рек обоих кластеров. При этом для рек Вологодского кластера сток в июле-августе составляет менее 1%, в то время как для Прионежского — 7,4% годового.

Сток в сентябре является переходным от летней межени к осенним паводкам. Основной паводочный сток происходит в октябре-ноябре. Доля осеннего стока выше в Прионежском кластере (27%, в т.ч. 4,3% в сентябре), чем в Вологодском (13%, в т.ч. 1,0% в сентябре).

52 Здесь и далее относительные гидрометеорологические значения менее 10% указаны с точностью до десятых долей.

4.1.2. Влияние ландшафтно-экологических условий на основные фазы стока

Базовые климатические характеристики для опорных метеостанций районов кластеров (метеостанция Вологда для Вологодского, метеостанция Вытегра для Прионежского) представлены на рис. №25-26.

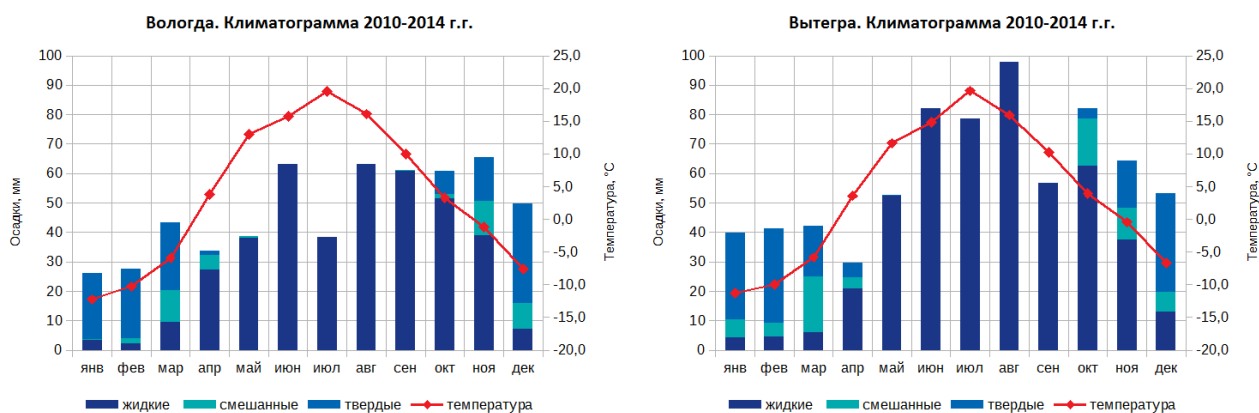


Рис. №25. Климатограммы метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) за период 2010-2014

гг.

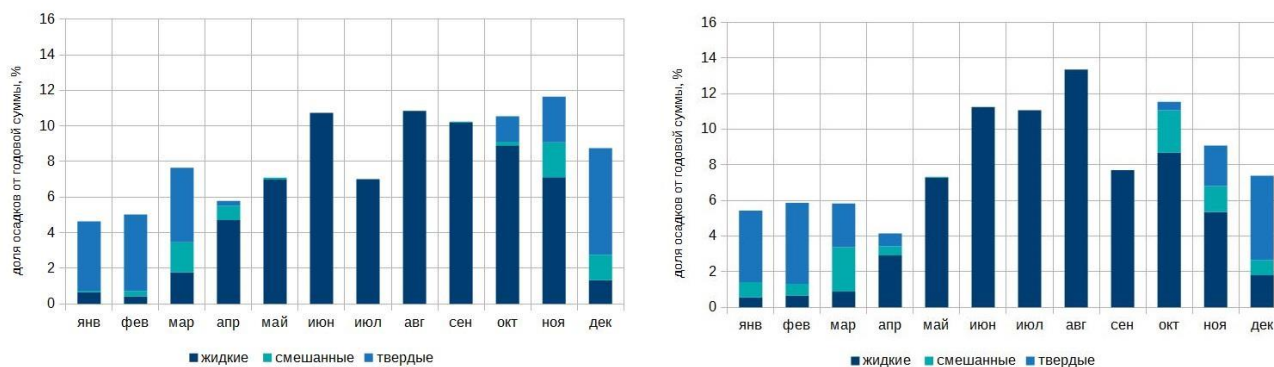


Рис. №26. Относительное внутригодовое распределение осадков метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) за период 2010-2014 гг.

Принимая во внимание сравнительно высокую вертикальную расчлененность района Прионежского кластера, с учетом расположения метеостанции на относительно низких гипсометрических отметках (47 м) в Прионежской низине, была выполнена оценка влияния геоморфологических особенностей на температуру и осадки с использованием модели WorldClim v2 [Fick, Hijmans, 2017]. Оценка проведена путем единовременного сравнения средних

значений осадков и температуры⁵³ в границах бассейнов и в районе метеостанции по модельным растровым сеткам соответствующих среднемесячных значений.

По температуре модель показывает для бассейнов кластера более низкие значения, чем в районе метеостанции (Рис. №27).

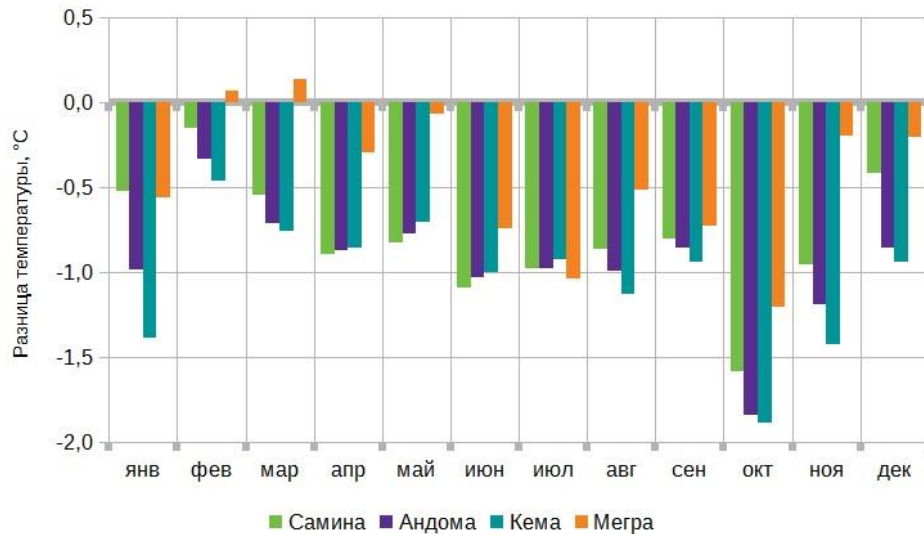


Рис. №27. Отклонение среднемесячных температур в бассейнах Прионежского кластера от метеостанции Вытегра по данным модели WorldClim

В течение года наибольшее различие с метеостанцией отмечается для бассейнов р.Андома и р.Кема, где среднегодовая температура ниже на 1°C. При этом пониженные температуры связаны с точки зрения автора не только с «приподнятостью» бассейнов относительно метеостанции, но и их расположением (удалением) относительно Онежского озера, отепляющее влияние которого достаточно заметно проявляется при осенне-зимнем понижении температуры.

Для осадков полученные с использованием WorldClim данные показывают (Рис. №28), что максимальные различия между станцией и средними значениями по бассейнам не превышают 10 мм, составляя в основном менее 5 мм. Хотя эти значения ниже заявленной точности модели (ее авторы справедливо отмечают, что для осадков, в отличие от температуры, возможны более резкие изменения во времени и пространстве, что затрудняет моделирование), но, тем не менее, данные представляют интерес в контексте учета геоморфологических особенностей района Прионежского кластера. Известно, что количество осадков зависит от высоты склонов, их ориентации и открытости по отношению к влагонесущему потоку, при этом в равнинных условиях на

⁵³ Средняя абсолютная ошибка (MAE) данных модели для макрорегиона исследования составляет по средней температуре 0,6°C, а по осадкам 11 мм.

распределение осадков могут влиять элементы рельефа с относительной высотой от 50 м и более [Климат..., 2001, с.282-283].

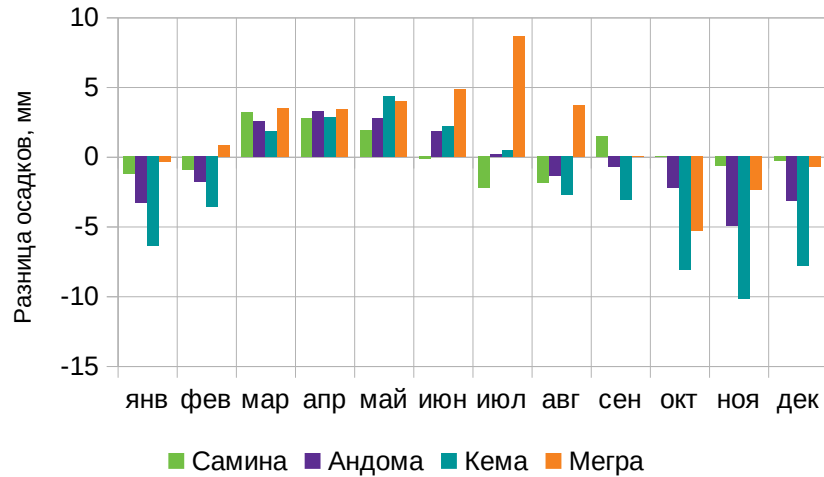


Рис. №28. Отклонение среднемесячных осадков в бассейнах Прионежского кластера от метеостанции Вытегра по данным модели WorldClim

Следует отметить, что сезонный анализ показывает довольно отчетливую геоморфологическую приуроченность, в особенности для смежных бассейнов р.Самина, р.Андома и р.Кема, располагающихся последовательно от западного макросклона Андомской возвышенности к юго-восточному. Так, в зимний период (декабрь-февраль) различие суммы осадков для этих бассейнов с метеостанцией составляет -3, -8, -18 мм соответственно. Похожая картина наблюдается в октябре-ноябре: -1, -7, -18 мм соответственно. В то же время для летнего периода (июнь-август) такого различия не наблюдается: -4, +1, 0 мм, при этом в бассейне р.Мегра, расположенном в северной части Вепсовской возвышенности, на «стыке» с Прионежской низиной, в этот период осадки повышаются (+17 мм). С точки зрения автора это объясняется сезонными вариациями местной атмосферной циркуляции в условиях общего западного переноса в сочетании с расположением местных орографических препятствий.

Для фазы половодья ключевое значение имеют осадки, накопленные в холодный период в твердом виде, характер температур воздуха в период интенсивного снеготаяния, а также предзимнее увлажнение.

Сумма твердых осадков за период декабрь-март в абсолютном выражении 103 мм в Вологде и 112 мм в Вытегре, что составило соответственно 18% и 16% от годового количества. Осадки октября-ноября в жидкой и смешанной фазе, как фактор предзимнего увлажнения составили 104 мм и 127 мм в Вологде и Вытегре соответственно. В относительном выражении это соответствует 18% годовых осадков для обеих метеостанций. Доля жидких осадков в апреле как

фактора интенсификации снеготаяния 27 мм в Вологде и 21 мм в Вытегре или 4,7% и 2,9% от годовых осадков соответственно. Средние значения температур в марте-апреле близки, интенсивность роста температуры этого периода включая переход к положительным температурам несколько выше в Вологде (на 0,3°C). В мае разница средней температуры возрастает до 1,4°C, но среднемесячный фон для обеих метеостанций уже превышает 10°C. Для более детальной аналитики хода температуры привлечены среднесуточные данные 2010-2014 с последующим осреднением (Рис. №29).

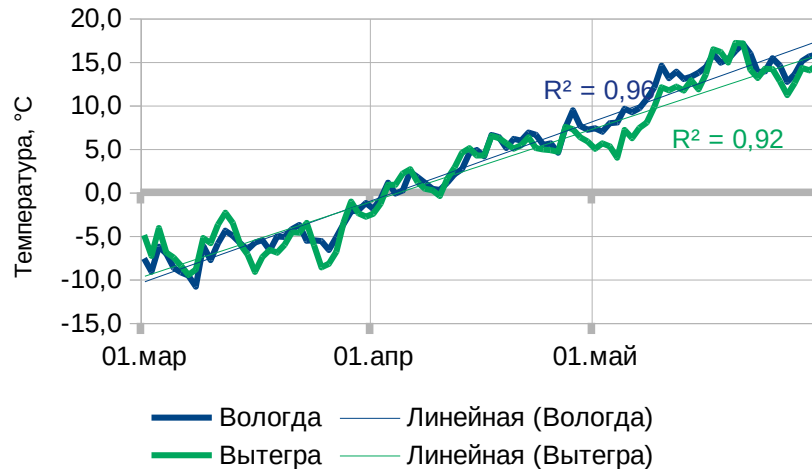


Рис. №29. Динамика роста температуры в марте-мае по суточным осредненным данным 2010-2014 гг.

График подтверждает тренды по среднемесячным данным и показывает сходство динамики роста температуры воздуха при переходе от отрицательных к положительным значениям для обеих метеостанций, в т.ч. в пиковый период половодья — апрель. В течение апреля сумма положительных температур различается незначительно, составляя 117°C и 112°C для Вологды и Вытегры соответственно.

Хотя дифференциации стока половодья по кластерам соответствуют несколько бóльшая интенсивность роста температуры в Вологодском кластере в марте-апреле, и большая (в т.ч. принимая во внимание особенности распределения температур в Прионежском кластере, рис.№27) сумма положительных температур в апреле, но в целом различие стока фазы половодья находится под влиянием и иных факторов помимо климатических.

Геоморфологические данные (см. раздел 3.1.3) четко показывают большую вертикальную расчлененность водосборов Прионежского кластера относительно Вологодского (в среднем 200 м и 88 м соответственно), что при прочих равных увеличивает скорость сброса поверхностных вод в русловую сеть. Однако фактически амплитуда внутригодовых колебаний стока, в особенности в

период половодья, выше в Вологодском кластере. Это указывает на то, что в Прионежском кластере влияние геоморфологических особенностей «компенсируется» другими стокоформирующими факторами.

В числе таковых – фактор земельного покрова водосборов, отражающего различие их растительности (таблица №16).

Таблица №16. Типы земельного покрова водосборов по ДДЗ 2013-2014 гг., % площади.

Тип / Водосбор	Самина	Андома	Кема	Мегра	Прионежский	Ема	Большая Ельма	Вологодский
Леса, в т.ч.:	85	69	66	85	76	69	72	71
<i>Преимущественно темныхвойные</i>	8	8	12	11	10	6	1	3
<i>Смешанные</i>	42	31	17	45	34	40	31	36
<i>Преимущественно мелколиственные</i>	31	25	26	19	25	24	38	31
<i>Заболоченные</i>	4	5	11	9	7	0	2	1
Болота	12	24	23	9	17	0	1	0
Вырубки необлесенные	0	1	1	2	1	0	0	0
Вырубки зарастающие	3	3	7	2	4	0	2	1
Сельхозугодья	0	1	0	0	0	31	25	28
Водные объекты	1	2	2	1	2	0	0	0

В контексте весеннего стока важны заболоченность и озерность, как факторы естественной аккумуляции талого стока. Так, для водосборов Прионежского кластера заболоченность составляет в среднем 17% в сравнении с <1% для Вологодского. Озерность водосборов Прионежского кластера 1-2%, в отличие от нулевой в Вологодском кластере.

На водосборах Вологодского кластера существенную долю занимают сельхозугодья (25-31%), которые на водосборах Прионежского кластера почти полностью отсутствуют (<1%), что также согласуется с более «резким» половодьем рек Вологодского кластера.

Лесистость водосборов Прионежского кластера несколько выше (76%), чем в Вологодском кластере (71%), в т.ч. выше доля условно коренных хвойных древостоев (10% и 3% соответственно). При этом внутри Прионежского кластера более низкая лесистость водосборов р.Кема и р.Андома, по-видимому, «компенсируется» их повышенной заболоченностью и озерностью. Важно также, что на этих реках некоторые озера являются проточными и располагаются в более низких по течению участках водосборов. Для р. Мегра и р.Самина залесенность наибольшая, однако для р.Самина определено наибольшее в кластере стандартное отклонение высот водосбора как косвенный индикатор усиления потенциала гравитационных стоковых процессов, что соответствует более резкому половодью. Кроме того, на водосборе р.Мегра ниже доля мелколиственных древостоев (при большем возрасте производных древостоев в целом), что способствует «выравниванию» стока половодья.

Для фазы межени среди климатических факторов существенное значение имеют: для зимней — зимние температуры, осадки, предзимнее увлажнение, для летней — особенности летних осадков, испарения. Сумма отрицательных температур периода декабрь-февраль как косвенный показатель «суровости» зимы составляет 904°С и 838°С для Вологды и Вытегры соответственно. С учетом отмеченного ранее температурного градиента для Прионежского кластера, различие значений выравнивается. Ранее было отмечено сходство районов по предзимним (октябрь-ноябрь) осадкам. Сумма зимних осадков (декабрь-март) составляет 147 мм и 176 мм или 26% и 25% в Вологде и Вытегре соответственно. Сумма осадков в июле-августе в Вологде ниже, чем в Вытегре, составляя 102 мм и 176 мм или 18% и 24% от годового количества, что соответствует более глубокой межени на реках Вологодского кластера. Кроме того предшествующий быстрый сброс талых вод в половодье способствует меньшей инфильтрации и пополнению запасов подземных вод как источника питания в последующий меженный период. Наряду с указанными факторами предпринята попытка относительной оценки испарения с доминантных и субдоминантных типов земельного покрова водосборов, через показатель их поверхностных температур по данным тепловой ИК-съемки Landsat 8, а также индексы вегетации (NDVI) и увлажненности (NDMI) (см. раздел 2.3.3). Результаты анализа представлены в таблице №17.

Таблица №17. Температурные и индексные характеристики (медианное значение выборки и стандартное отклонение) доминантных и субдоминантных типов земельного покрова кластеров водосборов⁵⁴.

54 Более низкий температурный фон Прионежского кластера относительно Вологодского обусловлен изменением погодных условий в промежутке между съемкой кластеров (5 суток).

Тип земельного покрова		Кластер											
		Вологодский						Прионежский					
		T°C	σT	NDVI	σ NDVI	NDMI	σ NDMI	T°C	σT	NDVI	σ NDVI	NDMI	σ NDMI
Леса	Преимущественно темнохвойные	20,9	0,3	0,84	0,02	0,37	0,03	16,1	0,9	0,81	0,04	0,42	0,06
	Смешанные	20,6	0,3	0,88	0,01	0,41	0,02	15,8	0,7	0,86	0,04	0,45	0,05
	Преимущественно мелколиственные	20,8	0,4	0,90	0,02	0,43	0,03	15,8	0,5	0,89	0,02	0,47	0,03
	Заболоченные	-	-	-	-	-	-	16,6	0,5	0,83	0,02	0,42	0,03
Болота		-	-	-	-	-	-	20,6	1,3	0,71	0,07	0,41	0,08
Сельхозугодья		25,0	2,4	0,79	0,11	0,31	0,15	-	-	-	-	-	-

Наименьшие температуры как косвенный показатель наибольшего испарения отмечены в районах обоих кластеров для лесов различного состава — преобладающих типов земельного покрова. Они же характеризуются наибольшей относительной фотосинтетически активной биомассой (по индексу NDVI) и наибольшей увлажненностью (по индексу NDMI). Более высокие и сравнительно близкие по превышению температуры характеризуют болота и сельхозугодья — субдоминанты соответственно Прионежского⁵⁵ и Вологодского кластера. Для этих типов земельного покрова также характерны меньшие, чем для лесов значения индексов NDVI и NDMI. Обращают внимание значения стандартного отклонения (σ) соответствующих выборок. Так, для лесов разного типа в пределах Прионежского кластера σ выше, чем для аналогов Вологодского кластера, что с точки зрения автора является маркером более неоднородных лесорастительных условий вследствие большей расчлененности рельефа. Для сельхозугодий и болот σ всех показателей выше, чем для лесов, и для сельхозугодий в свою очередь выше, чем для болот. Для последних это определяется различиями в их типах (в основном от переходных к верховым), а для сельхозугодий — сезонными различиями вегетационного состояния разных полей. В целом же данные, прежде всего по относительному температурному фону, косвенно свидетельствуют о сходстве испарения на макроуровне кластеров, а наиболее активным фактором его изменчивости в

⁵⁵ Для Прионежского кластера представляют интерес также вырубки, поскольку они хотя и не относятся к доминантам и субдоминантам, но являются характерным для района типом ландшафтного покрова антропогенного генезиса. Для «свежих» необлесенных вырубок характерны наибольшие среди всех типов ландшафтного покрова поверхностные температуры (как индикатор наименьшего относительного испарения), которые затем снижаются в стадиях зарастания и перехода в мелколиственный лес.

интервале нескольких лет представляется сезонная и межгодовая динамика состояния сельхозугодий.

Важным фактором различия водности меженного периода (как летней, так и зимней) между кластерами является фактор гидрогеологических особенностей, а именно наличие карстующихся дочетвертичных пород в Прионежском кластере, обеспечивающих подпитку карстовыми водами и более высокую водность меженного периода, когда ведущую роль в питании играют именно подземные воды. Этот фактор проявляется и в дифференциации меженного стока между реками Прионежского кластера. Так, именно наиболее благоприятные условия подпитки карстовыми водами с точки зрения автора – ведущая причина повышенной водности в межень на р.Мегра. Вместе с тем оказывают влияние и другие факторы: так, на р. Кема заметно более плавное снижение летнего меженного стока (а также последующие подъем осеннего паводочного и снижение зимнего стока), что согласуется с регулирующим влиянием наиболее крупного в кластере оз.Кемского, а также наличием в центральной части водосбора флювиогляциальных отложений более легкого гранулометрического состава.

На межкластерном уровне следует также отметить бóльшую площадь водосборов Прионежского кластера относительно Вологодского, которая контролирует глубину эрозионного вреза как фактора дренирования горизонтов подземных вод.

При анализе осеннего паводочного стока отметим следующее. Хотя в числовом выражении для рек Прионежского кластера он выше, чем Вологодского, примерно в 2 раза (22% и 12% соответственно за период октябрь-ноябрь), однако следует учесть динамику усиления стока при переходе от фазы межени летнего периода. Для Вологодского кластера, даже с учетом включения сентябрьского стока в летнюю межень разница с паводочным стоком превышает 6 раз (1,9% и 12%), в то время как для Прионежского аналогичный показатель различается менее чем в 2 раза (12% за июль-сентябрь и 22% на октябрь-ноябрь соответственно)⁵⁶. Ведущим фактором усиления осеннего паводочного стока в Вологодском кластере с точки зрения автора является высокая доля сельхозугодий, где вероятность формирования поверхностного стока (в т.ч. с учетом отмеченных агротехнических приемов, см. гл. 3.2.3, рис.№17) выше, чем на залесенных участках, и тем более на верховых и переходных болотах. Внутри Прионежского кластера различие осеннего паводочного стока согласуется с геоморфологической приуроченностью (Рис. №28), снижающей осадки на подветренных склонах возвышенностей, а также аккумулирующим влиянием карста и русловых озер.

⁵⁶ Если же относить сентябрьский сток в счет осенних паводков, то разница между кластерами еще увеличивается.

Таким образом, различие ВРС на макроуровне кластеров контролируется преимущественно факторами земельного покрова, а также гидрогеологических условий. При этом проявляется «компенсирующий эффект» разнонаправленных стокоформирующих факторов: ярко выраженное межкластерное различие вертикальной расчлененности водосборов как фактора усиления (для Прионежского кластера) неравномерности ВРС оказалось «компенсированным» факторами его снижения: озерностью и заболоченностью при минимальной сельскохозяйственной освоенности и регулирующим влиянием карста. Воздействие стокоформирующих факторов корректируется под влиянием местных особенностей водосборов.

4.2. Индикация временной динамики стокоформирующих факторов

Изменение стока с течением времени находится под влиянием динамических стокоформирующих факторов, к которым следует отнести климатические, а также антропогенные, которые для малых рек проявляются изменением земельного покрова водосборов. Климатический фактор в большей степени определяет динамику на макроуровне кластеров, принимая относительно равномерное его влияние для входящих в кластер водосборов; влияние фактора антропогенного изменения земельного покрова повышается на уровне отдельных рек. Указанные факторы влияют на сток совместно и корректируются под влиянием статических стокоформирующих факторов.

4.2.1. Временная динамика стока

Приведем данные о среднемесечном относительном стоке за периоды 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг. соответственно (таблица №18).

Таблица №18. Среднемесечный относительный сток рек Вологодского и Прионежского кластеров за периоды 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг., %.

Период	Кластер	Река	Месяц											
			янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
1981-1985 гг.	Вологодский	Ема Новое	2,6	1,7	2,5	52,7	25,4	4,1	1,2	0,7	0,7	2,9	3,3	2,3
		Большая Ельма Филютино	2,0	1,3	2,1	40,9	24,0	4,3	4,0	0,9	1,6	8,6	7,5	2,7

2010-2014 гг.	Прионежский	Среднее по кластеру	2,3	1,5	2,3	46,8	24,7	4,2	2,6	0,8	1,2	5,7	5,4	2,5
		Самина Октябрьский	2,2	1,3	1,1	16,5	34,5	5,3	2,6	1,4	5,4	14,6	11,8	3,4
		Андома Рубцово	2,3	1,5	1,3	12,7	36,9	7,0	3,6	1,9	4,6	13,2	11,5	3,4
		Кема Игнатово	3,1	2,2	1,9	11,7	36,0	12,0	4,6	3,0	3,5	7,2	9,4	5,3
		Мегра Павловское	4,0	2,5	2,2	13,6	22,6	6,6	7,3	4,6	5,6	11,4	12,3	7,3
		Среднее по кластеру	2,9	1,9	1,6	13,6	32,5	7,7	4,5	2,7	4,8	11,6	11,2	4,9
	Вологодский	Ема Новое	2,6	1,2	4,6	56,6	13,7	3,5	0,4	0,4	0,8	2,8	9,5	4,0
		Большая Ельма Филютино	2,3	1,1	3,2	54,3	16,4	3,0	0,5	0,4	1,3	4,4	7,1	5,9
		Среднее по кластеру	2,5	1,2	3,9	55,4	15,1	3,3	0,5	0,4	1,0	3,6	8,3	4,9
	Прионежский	Самина Октябрьский	3,0	1,2	1,5	25,1	24,4	5,3	2,2	1,0	3,8	10,4	16,5	5,5
		Андома Рубцово	2,9	1,5	1,7	22,7	26,5	5,0	3,4	1,8	3,2	9,2	16,3	5,8
		Кема Игнатово	5,7	3,3	2,6	15,2	26,5	7,2	5,7	3,3	3,3	6,4	11,9	8,7
Мегра Павловское		4,8	2,4	2,8	20,1	17,3	7,4	6,4	6,0	7,0	8,5	10,8	6,5	
Среднее по кластеру		4,1	2,1	2,2	20,8	23,7	6,2	4,4	3,0	4,3	8,6	13,9	6,6	

Отметим, что для периода 1981-1985 гг. наблюдаются аналогичные различия ВРС между кластерами, как и для периода 2010-2014 гг. — более плавный ход ВРС характерен для Прионежского кластера.

Наглядное представление об изменениях ВРС с течением времени на уровне кластеров и отдельных рек дают ежемесячные гистограммы сравнения, обобщенные по кластерам (Рис. №30) и отдельным рекам (Рис. №31).

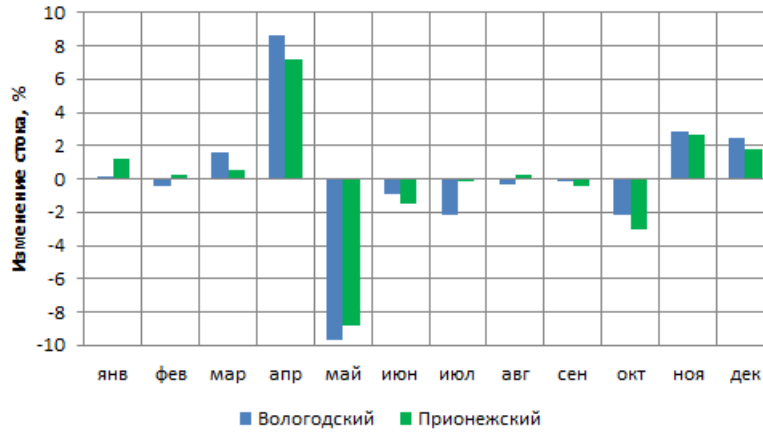


Рис. №30. Изменение ВРС в среднем по кластерам в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

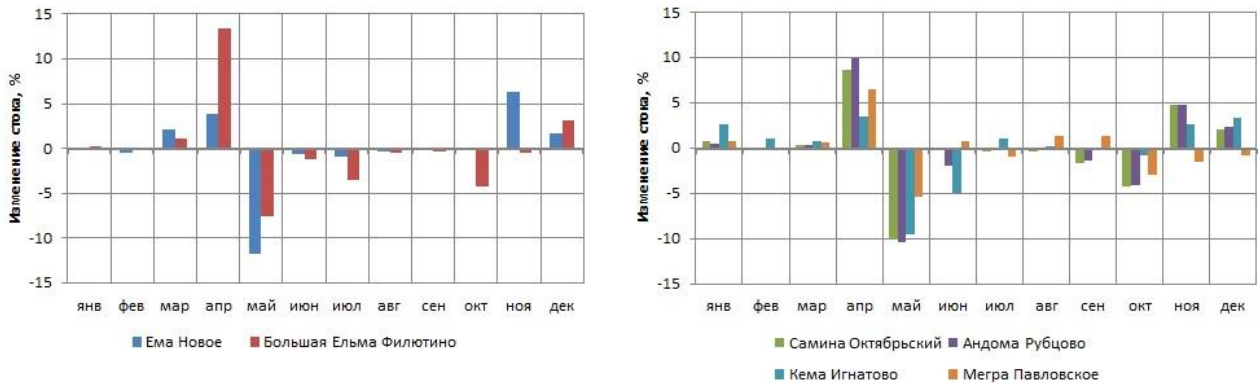


Рис. №31. Изменение ВРС рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

Хорошо выражено ключевое изменение ВРС: произошло перераспределение стока в период половодья с увеличением стока в апреле (с 47% до 55% годового стока по Вологодскому кластеру; и с 14% до 21% по Прионежскому) и снижением в мае (с 25% до 15% годового стока по Вологодскому кластеру; и с 33% до 24% по Прионежскому). В меньшей степени, то также заметно — перераспределение стока в период осенних паводков с переходом в зимнюю межень, связанное с уменьшением стока в октябре (с 5,7% до 3,6% по Вологодскому кластеру; и с 12% до 8,6% по Прионежскому) и ростом в ноябре (с 5,4% до 8,3% и с 11% до 14% в Вологодском и Прионежском кластере соответственно) и декабре (с 2,5% до 4,9% и с 4,9% до 6,6% соответственно). Вместе с тем, суммарный сток основных гидрологических фаз изменился в меньшей степени. Так,

наибольшее изменение отмечается для зимней межени принимаемой периодом декабрь-март, суммарный сток которой вырос для обоих кластеров (с 8,6% до 12% для Вологодского и с 11% до 15% для Прионежского кластера), в основном за счет роста в декабре; кроме того, в Вологодском кластере уменьшился сток летней межени периода июль-август (с 3,4% до 0,9% годового стока, наибольшее снижение в июле с 2,6% до 0,5%), при этом для Прионежского кластера летний меженный сток (июль-август) остался почти неизменным (7,3% и 7,4%)⁵⁷.

4.2.2. Общая динамика ландшафтно-экологических условий

Рассмотрим изменения, произошедшие с динамическими стокоформирующими факторами.

Приведем общие сведения о динамике температуры и осадков для опорных метеостанций кластеров (Рис. №32-33).

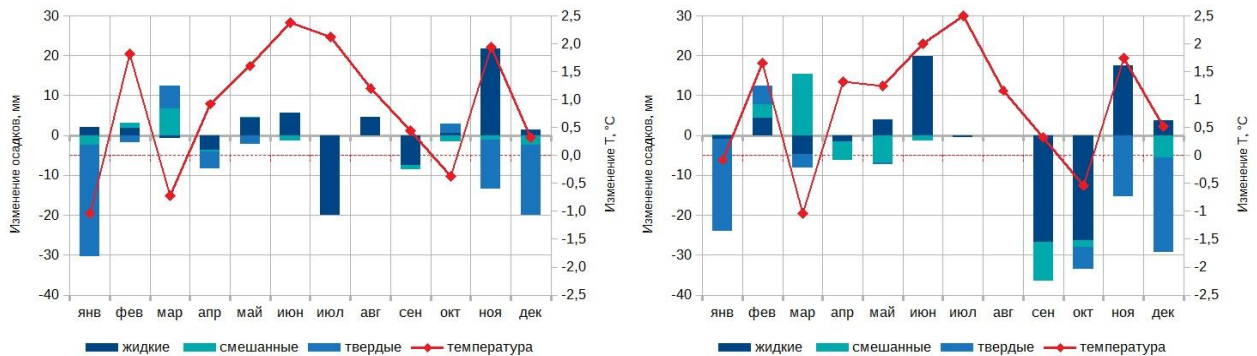


Рис. №32. Динамика годового хода осадков и температуры метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

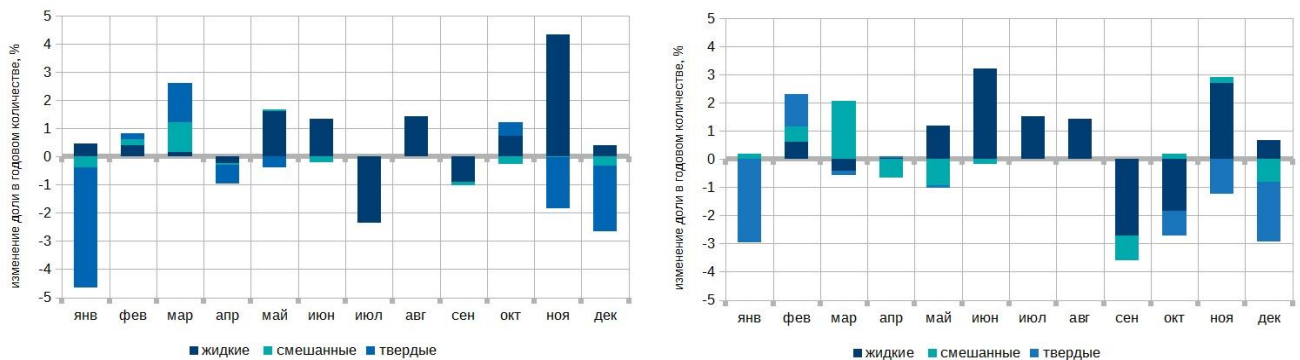


Рис. №33. Динамика относительного годового хода осадков метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

⁵⁷ Отметим, что на макрорегиональном (для Европейской России в целом) уровне обобщения, проведенного на материалах больших и средних рек, для севера ЕТР (в отличие от районов, расположенных южнее) выраженных изменений внутrigодового распределения стока не выявлено [Фролова и др., 2015].

Для обеих метеостанций отмечается рост среднегодовой температуры на $0,9^{\circ}\text{C}$. Сумма осадков снизилась в Вологде на 49 мм (с 620 до 571), в Вытегре — на 89 мм (с 809 до 721). В среднегодовой сумме, принимаемой за 100% для обоих периодов, увеличилась доля жидких осадков (на 7,4% Вологде и 6,4% в Вытегре) при снижении твердых и практически неизменной доле осадков смешанной фазы.

Приведем также сведения о динамике земельного покрова (таблица №19).

Таблица №19. Динамика земельного покрова водосборов по ДДЗ 1985-1986⁵⁸ гг. и 2013-2014 гг., %.

Тип / водосбор	Прионежский					Вологодский		
	Самина	Андома	Кема	Мегра	Среднее	Ема	Б.Ельма	Среднее
Леса	+13	+5	-1	+8	+6	+3	+1	+2
<i>Преимущественно темнохвойные</i>	+1	-2	-15	-8	-6	-1	-1	-1
<i>Смешанные</i>	+3	-3	-4	+17	+3	+11	+15	+13
<i>Преимущественно мелколиственные</i>	+11	+12	+19	0	+10	-7	-12	-10
Вырубки необлесенные	-2	-1	0	+1	0	0	0	0
Вырубки зарастающие	-10	-3	+1	-8	-5	0	+2	+1
Сельхозугодья	-1	-1	0	-1	-1	-3	-3	-3

Проведем анализ изменений ВРС в связи с динамическими стокообразующими факторами для каждого из кластеров.

4.2.3. Вологодский кластер

Ключевая причина перераспределения стока в половодье связана с изменением температурного фона в период интенсивного снеготаяния и формирования поверхностного стока. Амплитуда температур в марте-апреле при переходе к положительным значениям по

58 Снимок 1986 г. использован для водосбора р.Мегра ввиду отсутствия более ранних снимков приемлемого качества.

среднемесячным данным увеличилась на $1,6^{\circ}\text{C}$, что является фактором интенсификации снеготаяния. Усиление интенсивности роста температуры по среднемесячным данным подтверждается среднесуточными (Рис. №34)

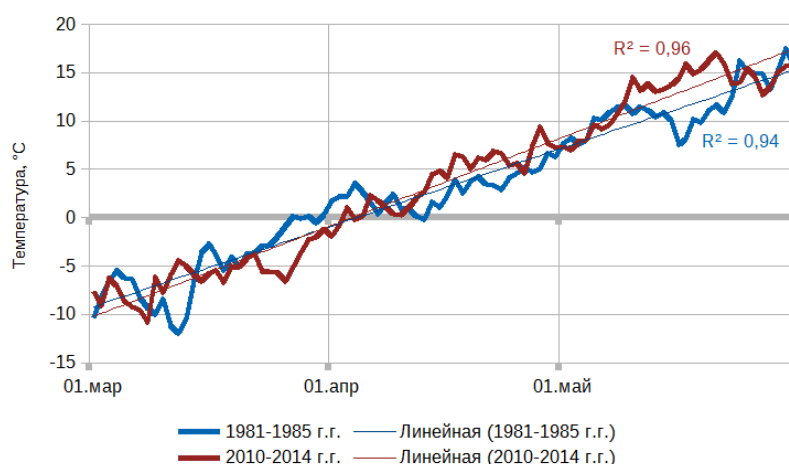


Рис. №34. Динамика температуры по метеостанции Вологда в весенний период по суточным усредненным данным 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг.

График показывает, что в более ранний период 1981-1985 гг. снеготаяние было более «растянутым», когда колебания средней температуры около нулевой отметки отмечались в конце марта, а затем, после небольшого роста в начале апреля, вновь возвращались к околонулевым значениям, что замедляло интенсивность снеготаяния, в отличие от более «дружного» апреля в 2010-2014 гг. Сумма положительных температур в апреле, как фактора интенсификации снеготаяния и поверхностного стока, возросла с 86°C до 117°C .

Проанализируем другие факторы формирования половодья. Жидкие осадки в апреле, в период интенсификации снеготаяния, почти не изменились, составив 31 и 27 мм (4,9% и 4,7% годовых осадков в оба периода). Возросло предзимнее увлажнение. Так, сумма осадков в октябрь-ноябре в жидкой и смешанной фазе выросла на 20 мм, их годовая доля увеличилась с 13% до 18%, что способствует снижению потенциала перевода талого весеннего стока в подземный, усиливая поверхностный сток. Зимние осадки (декабрь-март) уменьшились на 41 мм, в общегодовом количестве их доля снизилась с 23% до 18%, при этом средняя температура периода декабрь-март и температура наиболее холодного месяца практически не изменились ($\leq 0,1^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, интенсивность роста температуры при весеннем переходе через 0°C является ведущим фактором перераспределения стока половодья, чему также способствовало увеличение предзимнего увлажнения.

При анализе изменения стока осенних паводков и начала зимней межени следует обратить внимание на изменение температурного фона и осадков. Прежде всего следует отметить, что снижение стока в октябре почти не сопровождается изменением осадков и их соотношения в различных фазах, среднемесячная температура понизилась на $0,4^{\circ}\text{C}$, но осталась положительной. Это косвенно указывает, что октябрьские изменения контролируются факторами земельного покрова. Рост стока в ноябре хорошо согласуется с динамикой климатических параметров. Так, при росте общих осадков с 57 мм до 65 мм (доля в годовом количестве увеличилась с 9,1% до 12%) произошло существенное перераспределение долей разных фаз: снижение твердых осадков (с 27 мм до 15 мм) и рост жидких (с 17 мм до 39 мм), доля которых в годовом количестве увеличилась с 2,8% до 7,1%. Увеличение в ноябре доли жидких осадков при снижении твердых согласуется с сильным (на $1,9^{\circ}\text{C}$) ростом среднемесячной температуры (от $-3,1^{\circ}\text{C}$ до $-1,2^{\circ}\text{C}$). Динамику суточных температур в октябре-ноябре при осеннем температурном переходе иллюстрирует Рис. №35.

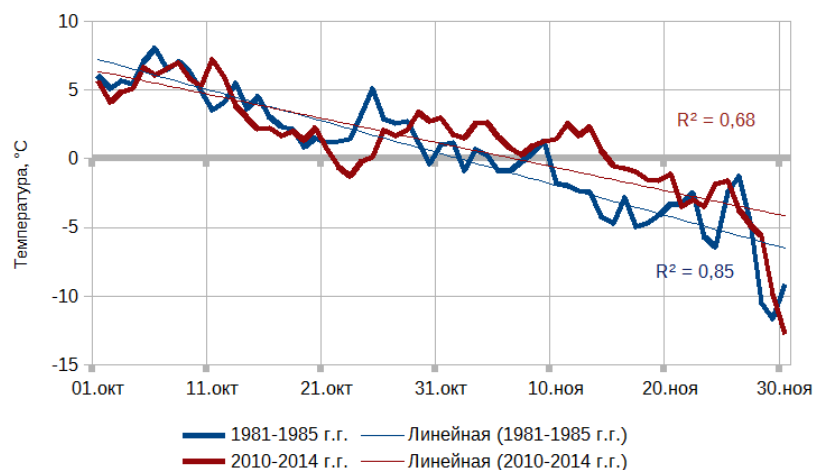


Рис. №35. Динамика температуры по метеостанции Вологда в октябре-ноябре по суточным данным 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг.

Данные графика отчетливо показывают, что в период 2010-2014 гг. положительные температуры наблюдаются до середины ноября, в то время как в период 1981-1985 гг. — только эпизодически в первой декаде и с более низкими значениями. Если в период 1981-1985 гг. сумма положительных температур в ноябре составляла только 4°C , то в 2010-2014 гг. уже 22°C .

Увеличение позднеосенних расходов сказывается и на росте декабрьского стока, сопровождающегося снижением осадков в этот период, почти полностью за счет твердых: с 51 мм до 34 мм (с 8,3% до 6,0% годовых осадков). Средняя температура декабря возросла на $0,3^{\circ}\text{C}$ (от $-7,9^{\circ}\text{C}$ до $-7,6^{\circ}\text{C}$). Анализ массива суточных температур в декабре за все годы каждого периода

показал увеличение числа дней с оттепелями⁵⁹ с 17 до 24 случаев. Это является фактором увеличения стока, а также усиления увлажнения почвогрунтов в контексте формирования весеннего половодья ввиду снижения потенциала перевода части поверхностного стока в подземный. Отметим также, что увеличение числа оттепелей характерно не только для декабря, но и января (рост с 5 до 8 случаев), февраля (с 1 до 8) и для всего периода зимней межени (декабрь — март: с 55 до 66), только в марте число оттепелей снизилось (с 32 до 26).

В летний период динамика климатических факторов разнонаправлена. Снизились осадки в июле (с 9,3% до 7% годовых осадков). Но при этом несколько выросли осадки августа (с 9,4% и до 11%). Кроме того, следует отметить увеличение среднемесячных температур летнего периода как фактора усиления испарения — на 2,4°C; 2,1°C и 1,4°C в июне, июле и августе соответственно.

Рис. №31 показывает, что при общих трендах в изменении ВРС, оно отличается для отдельных рек кластеров. При этом ранее отмечалось, что такие различия с высокой вероятностью контролируются антропогенным фактором. Для рек Вологодского кластера ключевое значение с точки зрения автора имеет фактор агротехнических приемов сельскохозяйственной деятельности⁶⁰, в т.ч. такие аспекты как степень использования зяблевой пахоты и сроки ее проведения, пахота вдоль/поперек склонов, а также сезонная и межгодовая динамика соотношения земель под разными культурами и/или под паром.

В связи с этим, отметим, что водосборы р.Ема и р.Большая Ельма исходно близки по показателю залесенности (0,66 и 0,71 соответственно) и ее динамике (+3% и +1% соответственно). ДДЗ показывают (таблицы №16, 19), что на водосборе р. Большая Ельма, где доля мелколиственных лесов изначально была выше (50% и 38% соответственно), доля мелколиственных лесов хотя и осталась больше, чем на водосборе р.Ема, но сократилась сильнее (-12% и -7% соответственно). Хотя это косвенно согласуется с изменениями осеннего стока — бóльшим снижением стока при стационарных осадках в октябре на р.Большая Ельма и бóльшим увеличением стока при росте жидких осадков в ноябре на р.Ема, но вместе с тем, при бóльшем снижении доли мелколиственного леса при замещении его смешанным, снижается скорость снеготаяния, что способствует «растягиванию» половодья. Однако для рассматриваемых рек этого не наблюдается, что в свою очередь свидетельствует о «компенсационном влиянии» других факторов. При сходной степени воздействия климатического фактора для обеих рек кластера,

59 Учитывались дни со среднесуточной температурой больше 0°C.

60 Этот фактор оказывает как прямое влияние на перераспределение поверхностного и подземного стока, так и косвенное, посредством влияния на эрозионные процессы в бассейне и заиление рек (см. разделы 1.2; 3.2-3.3), что для Вологодского кластера более значимо ввиду меньшей площади водосборов рек, относительно Прионежского кластера.

наряду с различной динамикой стока в июне, это косвенно указывает на влияние агротехнических приемов ведения с/х и структуры посевных площадей, учитывая, что водосборы р.Ема и р.Большая Ельма изначально близки по соотношению доли сельхозземель (34% и 28% соответственно), а их сокращение в результате зарастания одинаково для обоих водосборов (-3%).

4.2.4. Прионежский кластер

Основная причина перераспределения стока в половодье также связана с изменением температурного фона в весенний период снеготаяния. Амплитуда среднемесячных температур в марте-апреле увеличилась на 2,3°C, что усиливает интенсивность снеготаяния. Динамику температур по суточным данным иллюстрирует Рис. №36.

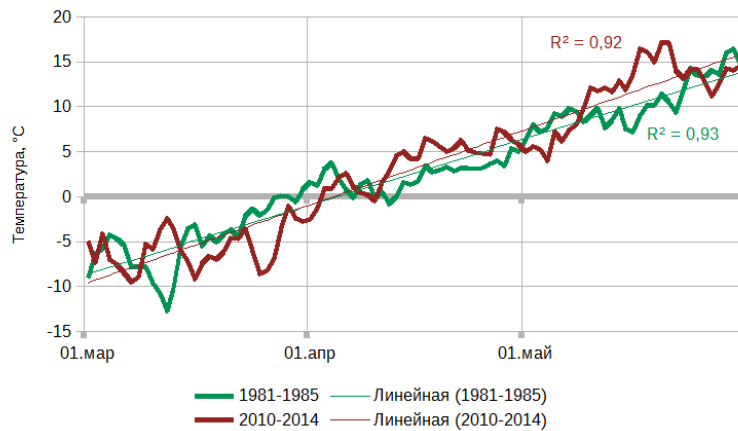


Рис. №36. Динамика температуры по метеостанции Вытегра в марте-мае по суточным данным 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг.

Данные графика свидетельствуют, что так же как и в районе Вологды, в период 1981-1985 гг. снеготаяние более «растянуто», имеет несколько фаз колебаний температуры около нуля, в то время как в период 2010-2014 гг. рост температуры более «дружный» и сопровождается во второй половине апреля более высокими значениями температуры. В целом сумма положительных температур за апрель возросла с 70°C до 112°C, что интенсифицирует снеготаяние и формирование поверхностного стока.

Рассмотрим другие факторы формирования половодья. В период интенсивного снеготаяния в апреле жидкие осадки почти идентичны, составляя 23 мм и 21 мм (2,9% годовых осадков). Предзимние осадки октября-ноября в жидкой и смешанной фазе уменьшились на 11 мм (при заметном перераспределении между месяцами, см. далее), но их годовая доля осталась почти неизменной, даже немного увеличившись (с 17% до 18%). Зимние осадки (декабрь-март)

уменьшились на 46 мм, в общегодовом количестве их доля снизилась с 20% до 16%. Средняя температура (декабрь-март) и температура наиболее холодного месяца по данным опорной метеостанции стали теплее (на $0,3^{\circ}\text{C}$ для обоих показателей).

Указанные климатические особенности свидетельствуют об определяющем влиянии роста температуры в период снеготаяния на перераспределение стока половодья.

Анализируя изменения осенне-зимнего стока, рассмотрим динамику соответствующих климатических показателей. Прежде всего, отметим сокращение осадков в сентябре и октябре (на 36 мм и 34 мм соответственно, годовая доля снизилась с 11% до 7,7% и с 14% до 11% соответственно). Однако сокращение осадков в сентябре не сопровождается заметным снижением стока в этом месяце, что свидетельствует о возможных задержках влияния (сток в октябре имеет отчетливую тенденцию к снижению), а также о потенциальном «сглаживающем» влиянии других факторов, что соответствует дифференциации осеннего стока отдельных рек (рассмотрено в отдельном параграфе далее). Повышение стока в ноябре имеет явную климатическую причину. Как и для Вологодского кластера, в этом месяце произошло существенное перераспределение осадков в разных фазах на фоне роста среднемесячной температуры. Так, общие осадки ноября за оба периода близки (62 мм и 64 мм, что составило 7,4% и 9,1% годовых осадков), но значительно изменилось фазовое соотношение: снизились твердые осадки (с 31 мм до 16 мм) и возросли жидкие (с 20 мм до 37 мм), доля которых в годовом количестве увеличилась с 2,7% до 5,3%. Рост среднемесячной температуры составил $1,7^{\circ}\text{C}$ (от $-2,2^{\circ}\text{C}$ до $-0,4^{\circ}\text{C}$). Динамика суточных температур в октябре-ноябре при осеннем переходе температуры иллюстрируется рис. №37.

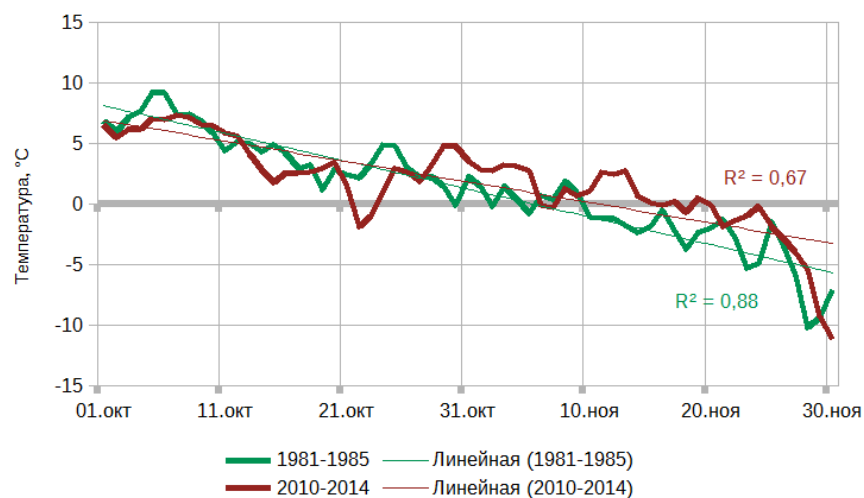


Рис. №37. Динамика температуры по метеостанции Вытегра в октябре-ноябре по суточным данным 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг.

График показывает, что в период 2010-2014 гг. температурный фон в течение почти всего ноября заметно выше, чем в 1981-1985 гг., что убедительно характеризуется ростом суммы положительных температур с 7°C до 27°C . Положительные и околонулевые температуры наблюдались в 2010-2014 гг. до последней декады месяца, в то время как в более ранний период — в основном в первой декаде месяца (и при меньших абсолютных значениях).

Рост позднеосеннего стока, как и для Вологодского кластера, влияет на увеличение стока в декабре, который также сопровождается снижением твердых осадков с 57 мм до 33 мм (с 6,8% до 4,7% общегодового количества). Среднемесячная температура в декабре выросла на $0,5^{\circ}\text{C}$ (от $-7,2^{\circ}\text{C}$ до $-6,7^{\circ}\text{C}$). Анализ массива суточных температур также за все годы каждого периода показал увеличение в декабре числа дней с оттепелями более чем в 2 раза с 18 до 41 случаев, что способствует увеличению стока начала зимней межени и, ввиду усиления увлажнения почвогрунтов, снижает потенциал перевода части поверхностного стока в подземный в период весеннего половодья. В целом в течение зимней межени (декабрь-март) число оттепелей увеличилось с 74 до 92 случаев, в т.ч. в январе с 9 до 12 случаев, в феврале с 0 до 9, только в марте (как и для Вологды) число оттепелей снизилось (с 47 до 30).

Аналогично Вологодскому кластеру, при сходстве общих трендов в изменении ВРС с течением времени, для разных рек Прионежского кластера они проявились неодинаково (рис. №31). Наряду с климатическими факторами, эти различия вызваны изменениями в состоянии земельного покрова, что применительно к условиям Прионежского кластера связано с изменениями в породно-возрастном составе лесов водосборов вследствие лесозаготовок. При этом степень отклика стока на изменения динамических факторов находится под влиянием различий в статических (т.е. неизменных за рассматриваемый промежуток времени) особенностях водосборов. Рассмотрим это на следующих примерах.

Изменения ВРС р.Мегра среди других рек кластера наименьшие (рис. №31). С одной стороны для водосбора р.Мегра в оба рассматриваемых промежутка времени характерна высокая залесенность, с которой сопоставима только залесенность водосбора р.Самина. Однако ВРС последней претерпело большие изменения как в период весеннего половодья, так и осеннего паводка. При этом, с одной стороны для р.Мегра произошла убыль условно коренных хвойных лесов нормального увлажнения, оставшаяся для р.Самины почти неизменной (поскольку они в основном были вырублены к середине 1980-х), а с другой — часть лиственных лесов более старого возраста перешла в категорию смешанных, что для р.Самины, ввиду различия времени и

интенсивности рубок, менее выражено (леса в целом более молодые). Это указывает, что меньшая изменчивость ВРС р.Мегра между двумя периодами контролируется помимо высокой залесенности, другими факторами, в числе которых ключевую роль с точки зрения автора имеет регулирующее влияние карста (см. раздел 3.1.2).

Изменение распределения стока на р.Кема также имеет специфические особенности (рис. №31). При этом для водосбора р.Кема характерно наибольшее сокращение доли условно коренных хвойных лесов при наибольшем росте мелколиственных, что исходя из литературных данных (см. гл. 1.3) должно приводить к большему накоплению твердых осадков и большей скорости снеготаяния. Однако в месячном стоке это не наблюдается. Рост апрельского стока наименьший в кластере. «Компенсационный» эффект с точки зрения автора связан с комплексом факторов, в том числе влиянием распространенных в центральной части водосбора флювиогляциальных отложений более легкого гранулометрического состава с большей инфильтрационной способностью на фоне интенсификации снеготаяния, а также с выраженной стокорегулирующей функцией наиболее крупного в кластере Кемского озера, которая хорошо заметна на фоне другого крупного проточного оз. Айнозера на р.Андома, и обусловлена большей «уплощенностью» рельефа прилегающей территории. Регулирующий эффект подтверждается анализом разносезонных КС Sentinel 2 (Рис. №38).

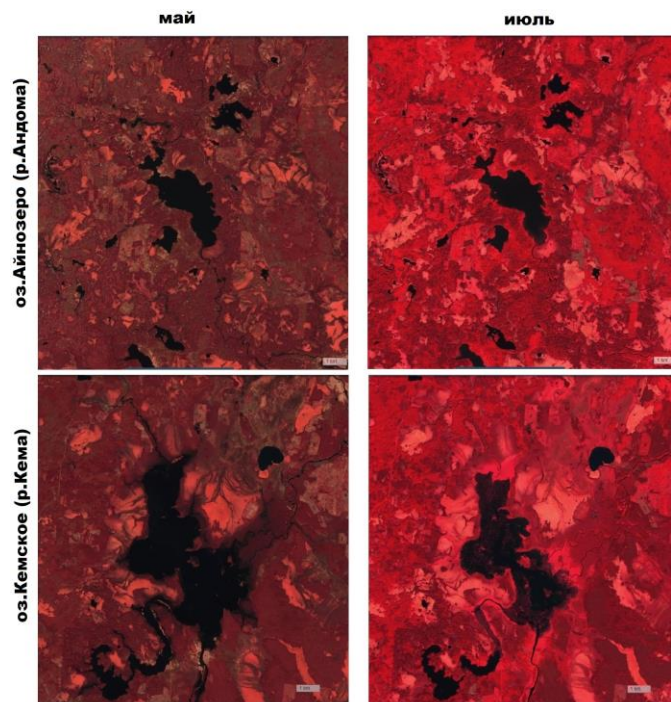


Рис. №38. Разносезонные снимки наиболее крупных русловых озер р.Андома и р.Кема, синтез с ближним ИК каналом, NIR-Red-Green [Sentinel..., URL]

Рис. №38 отчетливо показывает сезонную динамику зеркала Кемского озера, в сравнении с которым зеркало Айнозера почти неизменно.

Аккумуляционный потенциал Кемского озера также определяет наименьшее снижение стока на р.Кема в октябре на фоне сокращения осадков в районе кластера и «сглаживает» увеличение стока в ноябре при росте жидких осадков, а также влияет на последующее более медленное уменьшение стока в зимнюю межень. Это хорошо заметно на фоне смежных водосборов р.Самина и р.Андома. При этом осеннее перераспределение осадков (рис. №32-33) согласуется с более выраженным сокращением стока в октябре и более выраженным его ростом в ноябре (рис. №31) для «наветренных» относительно р.Кема бассейнов р.Самина, р.Андома (рис. №28).

Наибольшее снижение стока р.Кема в июне связывается с более быстрым спадом паводочной волны (ввиду общего увеличения температурного фона с учетом сокращения зимних осадков, усиленного «подветренным» расположением бассейна).

Динамика ВРС р.Самина и р.Андома за рассматриваемый период сходна. Вместе с тем, водосборы различны по общему показателю залесенности и, в меньшей степени, по породному составу и его динамике (таблицы №16, №19). Тот факт, что на водосборе р.Самина относительно р.Андома сильнее возросла залесенность, косвенно свидетельствует в пользу выравнивания ВРС относительно р.Андома, однако это практически не выражено, причиной чего с точки зрения автора является «сглаживающее» влияние большей доли болот на водосборе р.Андома, а также меньшая регулирующая способность озер водосбора р.Самини, расположенных только в его верховьях, в отличие от р.Андома, где они располагаются также и в средней (центральной) части водосбора.

Таким образом, отклик стока на изменения ландшафтно-экологических условий контролируется для обоих кластеров на макроуровне изменением климатических параметров (особенно температуры). Изменения земельного покрова водосборов являются факторами дополняющего влияния, которое усиливается на уровне конкретных водосборов. Степень проявления динамических факторов зависит от усиливающего или сглаживающего влияния статических стокоформирующих факторов на уровне конкретных водосборов, примером чего являются геоморфологические, гидрологические и гидрогеологические особенности водосборов Прионежского кластера.

Заключение

Произведен анализ отклика внутригодового распределения стока малых рек на пространственную неоднородность ландшафтно-экологических условий, определяемых комплексом стокоформирующих факторов, и их динамику с течением времени. Задействован бассейновый подход к изучению стока на примере шести малых рек, протекающих в двух районах Европейского Севера России — юго-восточном Прионежье и Вологодской возвышенности. С использованием технологий космического землеведения определены пространственные границы бассейнов, проведен анализ состояния их земельного покрова. Рассмотрены геолого-геоморфологические, почвенно-растительные и климатические факторы формирования стока. Представлена характеристика природопользования, как фактора изменения ландшафтов и их экологических функций, включая водорегулирующую. Предложено зонирование режимов природопользования с учетом дифференциации территории бассейнов по денудационному потенциалу.

Анализ проведен в пространственном и временном разрезе. В первом случае исследован единовременный отклик внутригодового распределения стока на пространственную неоднородность стокоформирующих факторов между кластерами водосборов и отдельными реками, а во втором — изменение внутригодового распределения стока внутри кластеров под влиянием динамики климатических факторов и изменений земельного покрова.

По результатам исследования получены следующие выводы:

1. Внутригодовое распределение стока в пространственном разрезе имеет отчетливую межкластерную дифференциацию, сохраняющуюся в рассмотренные промежутки времени. Она проявляется более глубокой зимней и летней меженью и более высоким, «резким» половодьем для рек Вологодского кластера в условиях южнотаежных преимущественно моренно-равнинных ландшафтов с длительным сельскохозяйственным освоением в сравнении с реками Прионежского кластера в условиях среднетаежных преимущественно моренно-холмистых с участием моренно-равнинных и озерно-ледниковых ландшафтов с современным лесохозяйственным освоением.

2. Ретроспективный анализ практик лесопромышленного и сельскохозяйственного природопользования в районах водосборных кластеров позволяет считать, что они являются факторами усиления амплитуды колебаний внутригодового распределения стока, что связано как с прямым, так и косвенным (через усиление потенциала эрозионно-денудационных процессов) влиянием.

3. Пространственное различие внутригодового распределения стока определяется сложным сочетанием территориально-бассейновых факторов. На межкластерном уровне ключевыми факторами снижения амплитуды внутригодового распределения стока является регулирующее влияние карста, озерности (в т.ч. русловой) и заболоченности, что характерно для Прионежского кластера; усилению амплитуды внутригодового распределения стока способствует бóльшая степень сельскохозяйственной освоенности и меньшая площадь водосборов, что характерно для Вологодского кластера.

4. Определяющее влияние на временную динамику внутригодового распределения стока, выразившуюся для обоих кластеров более ранним половодьем и более поздним паводком, оказали климатические факторы, прежде всего — более быстрый рост температуры при весеннем переходе через 0°C , а также более «растянутый» осенний переход через 0°C .

По результатам исследования, взаимодействие стокоформирующих факторов, влияние которых на внутригодовое распределение стока разнонаправленно, обнаруживает компенсирующий эффект. Примером на рассмотренной территории являются водосборы Прионежского кластера, где повышенная вертикальная расчлененность, как фактор усиления амплитуды колебаний стока, «компенсируется» факторами ее снижения – озерностью, заболоченностью и закарстованностью. Менее выражено корректирующее влияние, которое связано со степенью проявления одного фактора (или их группы) под влиянием различий другого (или их группы). Примером является Вологодский кластер, где влияние на изменение внутригодового распределения стока сходной на уровне кластера климатической динамики, неодинаково под воздействием различий агротехнических приемов на субдоминантных в этом кластере сельскохозяйственных угодьях.

Использованный в диссертационном исследовании методический подход может быть применен, с учетом фактической обеспеченности гидрометеорологическими данными, на других территориях. Результаты оценки связи внутригодового распределения стока малых рек с ландшафтно-экологическими условиями являются косвенным экологическим индикатором состояния бассейновых геосистем в контексте функционирования системы «растительность-почва-подпочвенный грунт», как динамического коллектора влаги, с которым связаны различные средообразующие функции экосистем, включая собственно водорегулирующую [по С.П. Горшкову, 2001]. Эти сведения могут использоваться для информационной поддержки территориального планирования (включая природоохранное). При этом речные бассейны, являющиеся естественными звеньями пространственной организованности биосферы на суше, являются подходящими единицами такого планирования. Результаты анализа связи внутригодового

распределения стока малых рек с ландшафтно-экологическими условиями будут особенно ценными при наличии данных по фоновым, не затронутым хозяйственной деятельностью водосборам. С точки зрения автора (в т.ч. принимая во внимание отсутствие подобных гидропостов в районе исследования) это обосновывает актуальность создания сети регулярных наблюдений за стоком малых рек на базе действующих ООПТ в характерных (зональных) ландшафтных условиях. Результаты наблюдений в «эталонных» условиях стокоформирования при сравнительном анализе могут служить «точкой отсчета» для индикации по изменчивости внутригодового распределения стока степени «снижения» экосистемных функций, включая собственно водорегулирующую, что дает возможность еще более обоснованно оценивать, а значит и регулировать антропогенное влияние.

Следует отметить ряд вопросов, сопрягающихся с настоящей работой, исследование которых актуально провести на более «узконаправленном» уровне, с соответствующими методическими корректировками. Это, во-первых – изучение стокорегулирующих функций применительно к выраженным периодам низкой и высокой водности, в т.ч. связанных с эпизодами засухи и обильных осадков, а во-вторых – более детальное (на уровне бассейнов водотоков первых порядков) изучение влияния агротехнических и агромелиоративных приемов, а также лесохозяйственных практик, на внутригодовое распределение стока верхних звеньев русловой сети в различных (прежде всего доминантных и субдоминантных) ландшафтных условиях, в т.ч. сравнение с «фоновыми» водосборами, не затронутыми хозяйственной деятельностью. Это актуально для использования принципов адаптивного экосистемного менеджмента [Экосистемы..., 2005] как способа управления, при котором управляющее действие сопровождается мониторингом, а полученная информация используется при планировании новых (дальнейших) действий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Абрамова Т. Г. Болота Вологодской области, их районирование и сельскохозяйственное использование / Т. Г. Абрамова // Северо-Запад Европейской части СССР: [сборник статей] / Ленингр. гос. ун-т им. А.А. Жданова. – Ленинград, 1965. – Вып. 4. – С. 54-64.
- 2) Авдошенко Н. Д. Геологическая история и геологическое строение Вологодской области: / Н.Д. Авдошенко, А. И. Труфанов; Вологод. гос. пед. ин-т. - Вологда: ВГПИ, 1989. - 70 с.
- 3) Агроклиматические ресурсы Вологодской области / Гл. Упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сев. упр. гидрометеорол. службы. Арханг. бюро погоды. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. - 185 с.
- 4) Ажигиров А. А., Голосов В. Н., Литвин Л. Ф. Эрозия на сельскохозяйственных землях и проблема защиты малых рек // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана: [Сб. ст.] / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; [Отв. ред. Н. П. Матвеев]. - М.: МФГО, 1988. - 128 с.
- 5) Алексеевский Н. И. Концепция геостока и состояние малых рек // Эрозионные и русловые процессы. Вып.3. — М.: МГУ, 2000. — С.66–75.
- 6) Алексеевский Н. И. Речной сток: географическая роль и индикационные свойства // Вопросы географии. - Вып. 133. Географо-гидрологические исследования - М.: ИД Кодекс. 2012. - С. 48-71.
- 7) Андреянов В. Г. Внутригодовое распределение речного стока / Под ред. д-ра техн. наук проф. Д. Л. Соколовского; Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Трудового Красного Знамени гидрол. ин-т. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1960. - 327 с.
- 8) Антипов А. Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории в условиях Сибири: автореферат дис. доктора географических наук: 25.00.27 / Ин-т географии РАН. - Москва, 2003. - 54 с.
- 9) Антипов А. Н., Гагаринова О. В., Федоров В. Н. Ландшафтная гидрология: теория, методы, реализация // География и природные ресурсы. – 2007. - №3. – С. 56-67.
- 10) Антипов А. Н., Кoryтный Л. М. Сибирская школа ландшафтной гидрологии // Вопросы географии. — 2012. — Вып. 133. — С. 32–47.
- 11) Атлас Вологодской области: [Карты]: адм. деление - на 01.07. 2007 / сост. и подгот. к изданию ФГУП "Аэрогеодезия" [(Санкт-Петербург)] в 2007 г.; редкол.: Е. А. Скупинова (пред., гл. ред.) и др. - Санкт-Петербург: "Аэрогеодезия"; Череповец: "Порт-Апрель", 2007. - 108 с.

- 12) Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич; Рос. АН, Ин-т географии. - М.: Наука, 1993. - 292 с.
- 13) Беляев С. Д., Мерзликина Ю. Б., Прохорова Н. Б. Предложения по переходу к побассейновой системе управления водными ресурсами // Водное хозяйство России. – 2014. - №4. – С.10-28.
- 14) Болотова Н. Л. Прионежье – водный край // Вытегра: Краеведческий альманах. Вып. 1. Вологда: Русь, 1997. С. 306-324.
- 15) Борсук О. А., Кичигин А. Н. Антропогенная составляющая стока растворенных веществ и стока наносов в пределах речных бассейнов // Экология речных бассейнов. Материалы IV Международной научно-практической конференции. — Владимир, 2007. — С.45–47.
- 16) Борсук О. А., Кичигин А. Н. Морфология речных бассейнов как экологический каркас территории. // Экология речных бассейнов // Материалы 7 научно-практической конференции. — Владимир, 2013. — С.29–32.
- 17) Бортновский З.В. Влияние ландшафтно-географических факторов на динамику внутригодового распределения стока малых рек (на примере южнотаежного района Вологодской возвышенности) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки, №1, 2019. - С.44-52.
- 18) Бортновский З.В. Водный сток как индикатор ландшафтно-экологических условий бассейнов малых рек // Географическая среда и живые системы, №1, 2021. - С.42-52.
- 19) Бортновский З.В. Исследование водорегулирующей функции ландшафтного покрова речных бассейнов с применением ГИС и данных дистанционного зондирования // Геоинформатика, №2, 2015. - С.52-58.
- 20) Бортновский З.В. Тепловлагорегулирующая функция ландшафтов в таежной зоне по данным дистанционного зондирования (на примере Вологодской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, Т.14., №3, 2017. - С.215-224.
- 21) Будыко М. И. Глобальная экология / М.И. Будыко. - Москва: Мысль, 1977. - 327 с.
- 22) Васильев А. Н. Соотношение эндогенных и экзогенных процессов на примере функционирования геосистемы речного водосборного бассейна // Экология речных бассейнов. Труды 5-й Международной конференции. — Изд-во ВлГУ Владимир, 2009. — С.35–40.
- 23) Великий Андомский водораздел / Рос. акад. наук. Карел. науч. центр; [Науч. ред.: В. С. Куликов]. - Петрозаводск, 2000. - 59 с.

- 24) Вендров С. Л. Проблемы малых рек / С. Л. Вендров, Н. И. Коронкевич, А. И. Субботин // Вопросы географии. - Вып. 118. Малые реки - М.: Мысль. 1981. - С. 11-18.
- 25) Владимиров А. М. Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 364 с.
- 26) Владимиров А. М. Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон // Ученые записки РГГМУ.— 2008. — № 7. — С. 13–22.
- 27) Владимиров А. М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Ученые записки РГГМУ.— 2009. — № 9. — С. 22–39.
- 28) Водный кодекс РФ. ст. 33 [электронный ресурс] // Консультант Плюс: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/159d2996b81a71e86f8e89c19b50e673ff2ab43a/ (дата обращения: 23.08.2019).
- 29) Вологодская область. Атлас почв РФ [электронный ресурс] // Электронная версия национального атласа почв РФ: [сайт]. URL: <https://soilatlas.ru/vologodskaya-oblast> (дата обращения: 18.06.2019).
- 30) Вологодская энциклопедия / гл. ред. Г. В. Судаков. – Вологда: Русь, 2006. – 608 с.
- 31) Вологодский уезд. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона [электронный ресурс] // Вологодская областная универсальная научная библиотека: [сайт]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/bro/kga/0/975.htm> (дата обращения: 19.07.2019).
- 32) Воробьев Г. А. Геоэкологическая оценка состояния и рекреационных возможностей лесов зеленой зоны г.Вологды / Г. А. Воробьев, Т. А.Суслова, В. П. Уханов // Научное обеспечение охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов: (Материалы науч-практ. конф.). – Вологда, 1997. – С.54-65.
- 33) Воробьев Г. А. Куликов В. С. Великий Андомский водораздел // Вытегра: краеведческий альманах. Вып. 2. Вологда: Легия, 2000. — С.313-328.
- 34) Воронков Н. А. Влияние лесных насаждений на сток и качество воды малых рек // Вопросы географии. - Вып. 118. Малые реки - М.: Мысль. 1981. - С. 97-108.
- 35) Воронков Н. А. Элементы водного баланса леса в зависимости от почвенно-грунтовых условий и породного состава насаждений // Вопросы географии. - Вып. 102. Ландшафт и воды. - М.: Мысль. 1976. - С. 122-134.
- 36) Всероссийский научно-исследовательский геологический институт [электронный ресурс] // ВСЕГЕИ: [сайт]. URL: http://wms.vsegei.ru/VSEGEI_Bedrock_geology/wms? (дата обращения: 16.06.2019).

- 37) Геологическая карта СССР (Карта четвертичных отложений). М 1:200000. Серия Тихвинско-Онежская. Р-37-XXV. Ленинград.: Аэрогеология, 1971
- 38) Геологическая карта СССР (Карта четвертичных отложений). М 1:200000. Серия Тихвинско-Онежская. Р-37-XXX. Ленинград.: Аэрогеология, 1973
- 39) Геологическое строение и полезные ископаемые Вологодской области / А. Л. Буслевич [и др.; под общ. ред. А. Л. Буслевича; Администрация Вологод. обл., Вологод. ин-т развития образования, Петерб. комплекс. геол. экспедиция]. – Вологда : ИЦ ВИРО, 2001. – 171 с.
- 40) Гидрологическая роль лесных геосистем / [Антипов А. Н., Марунич С. В., Федоров С. Ф. и др.]; Отв. ред. В. А. Снытко; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т географии. - Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1989. – 164 с.
- 41) Гидрология / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. - Изд. 3-е, стер. - Москва: Высш. шк., 2008. – 462 с.
- 42) Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М. А. Глазовская. - 2. изд., с послесл. авт. - Смоленск : Ойкумена, 2002. - 286 с.
- 43) Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. - М.: Высш. шк., 1988. - 327 с.
- 44) Голосов В. Н., Иванова Н. Н., Литвин Л. Ф., Сидорчук А. Ю. Баланс наносов в речных бассейнах и деградация малых рек Русской равнины // Геоморфология. — 1992. — № 4. — С. 62–71.
- 45) Горшков С. П. Географическая организация биосферы и природопользование // Переход к устойчивому развитию: Глобальный, региональный и местный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. М.: Изд-во КМК. 2002. 444 с.
- 46) Горшков С. П. Концептуальные основы геоэкологии. М.: Желдориздат. 2001. 592 с.
- 47) Горшков С. П. Организованность биосферы и устойчивое развитие // Жизнь Земли. 2015. Т. 37. С. 62–84.
- 48) Горшков С. П. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра, 1982, 286 с.
- 49) ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1988.
- 50) Государственная геологическая карта РФ (Карта четвертичных образований). М 1:200000. Серия Тихвинско-Онежская. Р-37-XXVI. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999 (б)

- 51) Государственная геологическая карта РФ (Карта четвертичных образований). М 1:200000. Серия Тихвинско-Онежская. Р-37-XXXI. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998
- 52) Государственная геологическая карта РФ (Карта четвертичных образований). М 1:200000. Серия Тихвинско-Онежская. Р-37-XXXVI. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999 (а)
- 53) Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (второе поколение). Карта дочетвертичных образований, Р-(35)-37 (Петрозаводск). СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 (а)
- 54) Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (второе поколение). Карта четвертичных образований, О-37 (38) (Нижний Новгород). СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 (в)
- 55) Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (второе поколение). Карта четвертичных образований, Р-(35)-37 (Петрозаводск). СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 (б)
- 56) Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (третье поколение). Карта дочетвертичных образований, О-37 (Ярославль). СПб.: ВСЕГЕИ, 2016 (а)
- 57) Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (третье поколение). Карта четвертичных образований, О-37 (Ярославль). СПб.: ВСЕГЕИ, 2016 (б)
- 58) Государственный водный реестр [электронный ресурс] // База изыскателя: [сайт]. URL: <http://www.sur-base.ru/water-base/?p=main> (дата обращения: 04.07.2019).
- 59) Григорьев Е.Г. Малые реки в системе производительных сил СССР // Вопросы географии. - Вып. 118. Малые реки - М.: Мысль. 1981. - С. 18-31.
- 60) Григорьева О.И. Система диагностических показателей для оценки геоэкологической ситуации бассейна реки // Материалы 7 научно-практической конференции. — Владимир, 2013. — С.49–54.
- 61) Денудация [электронный ресурс] // Научно-исследовательский геологический институт: [сайт]. URL: https://vsegei.ru/ru/public/sprav/geodictionary/article.php?ELEMENT_ID=46896 (дата обращения: 25.01.2021).
- 62) Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / [Данилов-Данильян В. И., Полянин В. О., Остякова А. В. и др.]; под рук. В. И. Данилова-Данильяна; Российская академия наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН. - Москва: Ин-т водных проблем РАН, 2020. – 510 с.
- 63) Добровольский Г. В. Научное и практическое значение исследований речных бассейнов // Экология речных бассейнов: Тез. Докл. Междунар.науч.-практ. Конф. / под общ. Ред. Проф. Т. А. Трифионовой / Владимиринформэкоцентр, 1999. С.9.

- 64) Доступ к данным [электронный ресурс] // ВНИИГМИ-МЦД: [сайт]. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 30.04.2019).
- 65) Егоров И. Е., Илларионов А. Г., Рысин И. И., Стурман В. И. Влияние антропогенного фактора на эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейнах малых рек вятско-камского региона // Геоморфология. — 1992. — № 3. — С. 46–50.
- 66) Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [электронный ресурс] // ЕГРППР: [сайт]. URL: <http://egrpr.esoil.ru/content/3reg.html> (дата обращения: 16.06.2019).
- 67) Ермолаев О. П., Мальцев К. А., Мухарамова С. С., Харченко С. В., Веденеева Е. А. Картографическая модель речных бассейнов Европейской России // География и природные ресурсы. – 2017. - №2. – С. 27-36.
- 68) Зайцева И. С. Роль природных факторов при антропогенном изменении водных ресурсов малых рек русской равнины // Вопросы географии. - Вып. 118. Малые реки - М.: Мысль. 1981. - С. 93-97.
- 69) Зоны и типы поясности России [электронный ресурс] // Национальный атлас России: [сайт]. URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/331/331.html> (дата обращения: 20.06.2019).
- 70) Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. - Москва: Высш. шк., 1991. – 365 с.
- 71) Исаченко, А. Г. Методы прикладных ландшафтных исследований / А.Г. Исаченко. - Ленинград: Наука. Ленингр. отделение, 1980. - 222 с.
- 72) Казаков Э., Семенов А., Волгушева Н. Обработка и интерпретация данных Landsat 8 (OLI) средствами GRASS GIS 7 [электронный ресурс] // Gis-lab: [сайт]. URL: <http://gis-lab.info/qa/grass7-landsat8-processing.html> (дата обращения: 30.04.2019).
- 73) Карпечко Ю. В. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России / Ю. В. Карпечко, Н. Л. Бондарик; Карельский науч. центр Российской акад. наук, Ин-т водных проблем Севера. - Петрозаводск : Карельский науч. центр РАН, 2010. - 223 с.
- 74) Картография [электронный ресурс] // Департамент по недропользованию по СЗФО: [сайт]. URL: <http://sevzapnedra.nw.ru/pages/kartgraf.htm> (дата обращения: 10.06.2019).
- 75) Каталог гидрологических постов [электронный ресурс] // ВНИИГМИ: [сайт]. URL: meteo.ru/component/docman/doc_download/281-katalog-gidrologicheskikh-postov?Itemid= (дата обращения: 04.07.2019).

- 76) Кичигин А. Н. Геоморфологическое районирование Вологодской области // Геология и география Вологодской области: сборник научных трудов / Федер. агентство по образованию, ГОУ ВПО "Вологод. гос. пед. ун-т"; [отв. ред., предисл.: Д. Ф. Семенов]. – Вологда : Русь, 2007. – 97 с.
- 77) Кичигин А. Н. Причины деградации русел малых рек Вологодской области // Геоморфология. — 1992. — № 1. — С. 56–61.
- 78) Кичигин А. Н. Современная экзодинамика рельефа Вологодской области, влияние на нее изменений окружающей среды // Одиннадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Материалы совещания — Казань: изд-во Казанского университета, 1996, С.67-68
- 79) Климат городов: Вологда [электронный ресурс] // Гидрометцентр РФ: [сайт]. URL: <https://meteoinfo.ru/climatcities?p=1590> (дата обращения: 30.06.2019). (а)
- 80) Климат городов: Вытегра [электронный ресурс] // Гидрометцентр РФ: [сайт]. URL: <https://meteoinfo.ru/climatcities?p=1210> (дата обращения: 30.06.2019). (б)
- 81) Климат России / [Н.В. Кобышева и др.]; под ред. Н.В. Кобышевой. - СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.
- 82) Козлов Д. Н. Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования // Ландшафтное планирование: общие основания. Методология, технология: Труды международной школы-конференции "Ландшафтное планирование" М.: Изд-во Географический факультет МГУ, 2006, С. 117-137
- 83) Козодеров В. В. Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования: учебное пособие по направлению "Прикладные математика и физика" / В. В. Козодеров, Т. В. Кондранин; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Московский физико-технический ин-т (гос. ун-т). - Москва: МФТИ, 2008. - 222 с.
- 84) Комиссаров В. В. Почвы Вологодской области, их рациональное использование и охрана / В. В. Комиссаров; Вологод. гос. пед. ин-т. - Вологда: ВГПИ, 1987. - 80 с.
- 85) Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / А. М. Комлев. - Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. - 162 с.
- 86) Коронкевич Н. И. Вопросы формирования стока и влияния на него хозяйственной деятельности // Вопросы географии. - Вып. 102. Ландшафт и воды - М.: Мысль. 1976. - С. 29-47.

- 87) Коронкевич Н. И., Бибикова Т. С., Долгов С. В., Кашутина Е. А., Мельник К. С., Ясинский С. В. Гидрологические последствия хозяйственной деятельности на водосборах // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Новочеркасск: Лик, 2017. С.78-84.
- 88) Коронкевич Н. И., Зайцева И. С., Ясинский С. В. Водорегулирующая роль лесов и проблемы малых рек // Лесная промышленность. — 1997. — №1. — С.28–29.
- 89) Корытный Л. М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 2. — С.5–16.
- 90) Корытный Л. М. Теория и практика бассейнового управления в природопользовании // Экология речных бассейнов. Труды 2-й Международной конференции. — Изд-во ВлГУ Владимир, 2002. — С.41–43.
- 91) Кошель С. М., Энтин А. Л. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. — Вып. 6. — Медиа-ПРЕСС Москва, 2016. — С. 24–34.
- 92) Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек / О. И. Крестовский; Гос. гидрол. ин-т. - Л. : Гидрометеиздат, 1986. - 116 с.
- 93) Ландшафтно-гидрологический анализ территории / Отв. ред. А. Н. Антипов, Л. М. Корытный; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т географии. - Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1992. - 206 с.
- 94) Ландшафтное и биологическое разнообразие на территории междуречья Северной Двины и Пинеги / Н. Б. Глушковская и др. — Спб.: WWF, 2013. — 116 с.
- 95) Ларионов Г. А., Чалов Р. С. Эрозионно-аккумулятивные процессы на водосборах и в руслах малых рек // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; [Отв. ред. Н. П. Матвеев]. - М.: МФГО, 1988. - 128 с.
- 96) Леса земли Вологодской / Упр. лесами Вологод. обл. и др.; В. И. Антонова и др. - Вологда, 1999. - 294 с.
- 97) Лесомелиорация ландшафтов / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Б. Васильев, Г. В. Силаев / под общ. ред. А. Р. Родина. - М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. - 192 с.
- 98) Лисецкий Ф. Н., Павлюк Я. В., Кириленко Ж. А., Пичура В. И. Бассейновая организация природопользования для решения гидроэкологических проблем // Метеорология и гидрология. — 2014. — № 8. — С.66-76.

- 99) Лопатин Г. В. Опыт анализа зависимости средней мутности речных вод от главных природных факторов водной эрозии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1958. № 4. С. 91-98.
- 100) Львович М. И. Вода и жизнь: (Вод. ресурсы, их преобразование и охрана) / М. И. Львович. - М. : Мысль, 1986. – 253 с.
- 101) Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н.И. Маккавеев; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. - Переизд. кн. 1955 г. - М.: Геогр. фак. МГУ, 2003. - 353 с.
- 102) Маккавеев Н. И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки: Избр. тр. / Н.И. Маккавеев. - М., 1998. - 286 с.
- 103) МаксUTOва Н. К. Ландшафты Вологодской области / Н. К. МаксUTOва; под ред. Е. А. Скупиной. - Вологда: [Учебная лит.], 2006. - 55 с.
- 104) Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети / Г. П. Бутаков, А. П. Дедков, А. Н. Кичигин, В. И. Мозжерин, В. Н. Голосов, А. Ю. Сидорчук, А. В. Чернов // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. Материалы координационных совещаний вузов 1991-1995. — МГУ Москва, 1996. — С.55–69.
- 105) Малышева Н. В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений: учебное пособие / Н. В. Малышева; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Московский гос. ун-т леса". - Москва: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. - 151 с.
- 106) Матвеев Н. П. Состояние пойм малых рек Московской области, их использование и охрана // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; [Отв. ред. Н. П. Матвеев]. - М.: МФГО, 1988. - 128 с.
- 107) Методические рекомендации по сохранению биоразнообразия при заготовке древесины в Архангельской области / Рай Е.А., Бутова Н.В., Рыкова С.Ю., Слаников С.И., Торхов С.В., Рыков А.М., Пучнина Л.В., Чуракова Е.Ю., Корепанов В.И; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – Архангельск, 2013. – 63 с.
- 108) Мищенко Н. В., Трифонова Т. А. Принципы организации экологического мониторинга речных бассейнов // Материалы 7 научно-практической конференции. — Владимир, 2013. — С.85–88.
- 109) Мозжерин В. И. Причина и механизм пересыхания малых рек европейской части СССР // Геоморфология. — 1991. — № 3. — С. 105–106.

- 110) Наука о Земле: геоэкология / [Барсков И. С. и др.]; отв. ред.: А. В. Смуров [и др.]. – 2-е изд., – М: Университет, 2010. – 563 с.
- 111) Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
- 112) Николаев В.А. Ландшафтоведение: семинарские и практические занятия / В.А. Николаев; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Географический фак. МГУ, 2006. - 208 с.
- 113) О поселении [электронный ресурс] // Спасское поселение: [сайт]. URL: <https://spasskoe.com/o-poselenii/> (дата обращения: 07.07.2019).
- 114) Об утверждении концепции бассейнового природопользования в Белгородской области [электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. <http://docs.cntd.ru/document/444859570> (дата обращения: 28.08.2019). (а)
- 115) Об утверждении перечня рек, их притоков и других водоемов, являющихся местами нереста лососевых и осетровых рыб [электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902094599> (дата обращения: 16.07.2019). (б)
- 116) Озерные ресурсы Вологодской области / Вологод. гос. пед. ин-т; [Редакторы А. А. Ляпкина, Н. Н. Шевелев]. - Вологда: Вологод. ГПИ, 1981. - 150 с.
- 117) Основные проблемы сопряженного изучения почвенного покрова и речных бассейнов / Ю. Г. Симонов, Т. Ю. Симонова, Т. А. Трифонова, В. И. Кружалин // Экология речных бассейнов. Труды 4-й Междунар. науч.-практ. конф./ Под общ. ред. проф. Т. А. Трифоновой. — Владимирский государственный университет Владимир, 2007. - С.21-26.
- 118) Основы устойчивого лесопользования. 2-е изд., перераб. и доп. / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая, А. Ю. Ярошенко [и др.]; под общ. ред. А. В. Беляковой, Н. М. Шматкова; Всемирный фонд дикой природы (WWF). — М: WWF России, 2014. — 266 с.
- 119) Особо охраняемые природные территории, растения и животные Вологодской области / [Г. А. Воробьев, Р. В. Бобровский, Н. Н. Шевелев; Редкол.: Г. А. Воробьев (отв. ред.) и др.]; Вологод. гос. пед. ин-т и др. - Вологда : Ком. экологии и природ. ресурсов: Русь, 1993. - 254 с.
- 120) Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. - 3. изд., перераб. и доп. - М.: Астрель-2000, 1999. - 762 с.
- 121) Побединский А. В. Изменение защитной и водорегулирующей роли леса под влиянием рубок // Вопросы географии. - Вып. 102. Ландшафт и воды. - М.: Мысль. 1976. - С. 169-179.

- 122) Погорелов А. В. Рельеф бассейна р. Кубани: Морфологический анализ / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит; Кубанский гос. ун-т. - Москва : ГЕОС, 2009. - 206 с.
- 123) Почвенно-геологические условия Нечерноземья / [Н. В. Короновский, А. В. Кожевников, В. И. Бабак и др.; редкол.: Е. М. Сергеев (гл. ред.) и др.]. - Москва: Изд-во МГУ, 1984. - 608 с.
- 124) Предоставление обобщенных гидрологических данных по рекам и каналам [электронный ресурс] // ВНИИГМИ МЦД: [сайт]. URL: <http://meteo.ru/services-and-products/131-hydro-data>
- 125) Природа Вологодской области / [Ю. Н. Белова и др.; гл. ред. Г. А. Воробьев]; Правительство Вологодской обл., Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды, Вологодский гос. пед. ун-т. - Науч. изд. - Вологда: Вологжанин, 2007. - 434 с.
- 126) Природа Вологодской области: Сборник статей / Н. П. Антипов, Р. В. Бобровский, О. В. Бутузова и др. - Вологда: Обл. кн. изд-во, 1957. - 328 с.
- 127) Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные): учебное пособие / В. А. Николаев, И. В. Копыл, В. В. Сысуев; Московский гос. ун-т им. М.В.Ломоносова. - Москва: Географический фак. МГУ, 2008. - 158 с.
- 128) Проблемы лесных поселков области обсудил с депутатами ЗСО заместитель Губернатора [электронный ресурс] // Правительство Вологодской области: [сайт]. URL: https://vologda-oblast.ru/novosti/problemy_lesnykh_poselkov_oblasti_obsudil_s_deputatami_zso_zamestitel_gubernatora_mikhail_glazkov/ (дата обращения: 15.01.2019).
- 129) Пузаченко Ю. Г., Котлов И. П., Сандлерский Р. Б. Анализ изменений ландшафтного покрова по данным мультиспектральной дистанционной информации в центрально-лесном заповеднике // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2014. — № 3. — С.5-18.
- 130) Пьянков С. В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений / С.В. Пьянков, А.Н. Шихов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. — Пермь, 2017. — 148 с.
- 131) Радиационный баланс [электронный ресурс] // Национальный атлас России: [сайт]. URL: <https://национальныйатлас.рф/cd2/156-157/156-157.htm> (дата обращения: 28.06.2019).
- 132) Разин Н. В. Водные ресурсы малых рек / Н. В. Разин, Э. Д. Введенская, Л. Н. Соколовская // Вопросы географии. - Вып. 118. Малые реки - М.: Мысль. 1981. - С. 31-40.

- 133) Ретеюм А. Ю. Ландшафтное планирование в речных геосистемах // Экология речных бассейнов: Труды 7-й международной научно-практической конференции. — ВГУ Владимир, 2013. — С.275–278.
- 134) Россия. Полное географическое описание нашего Отечества. Т. 3. Озёрная область / сост. Б. Г. Карпов, Н. И. Ильин и др. / ред. В. П. Семенов – Санкт-Петербург: А. Ф. Девриен, 1900. 456с.
- 135) Рохмистров В. Л. Малые реки Ярославского Поволжья. – Ярославль: Издание ВВО РЭА, 2004. –54 с.
- 136) Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм [электронный ресурс] // ВМО: [сайт]. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения: 28.06.2019).
- 137) Сафина Г. Р., Голосов В. Н. Влияние изменений климата на внутригодовое распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 1. – С. 111–125.
- 138) Свидзинская Д. Первичная обработка данных SRTM в ГИС SAGA [электронный ресурс] // Gis-lab: [сайт]. URL: <http://gis-lab.info/qa/saga-srtm-preprocessing.html> (дата обращения: 23.04.2019).
- 139) Сдасюк Г. В. Природопользование и концепция устойчивого развития: традиционные и новые подходы // Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2006. 448 с.
- 140) Семенов Д. Ф. Геология Вологодской области / Д. Ф. Семёнов, А. А. Трошичев; ФГБОУ ВПО "Вологодский гос. ун-т", Вологодское отд-ние Всероссийской общественной организации Русского географического о-ва. - Вологда : ВГПУ, 2014. - 121 с.
- 141) Симонов Ю. Г., Кружалин В. И., Симонова Т. Ю. Речные бассейны как сложные геоморфологические системы: итоги и пути комплексных исследований // Экология речных бассейнов. Труды 3-й Междунар. науч.-практ. конф./ Под общ. ред. проф. Т.А.Трифоновой. — Владимирский государственный университет Владимир, 2005. - С.37-40.
- 142) Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. — Т.14. — Изд-во Моск. ун-та Москва, 2004. — С.7–32.
- 143) Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России: анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской

областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга / [текст и ил.: Г. Александров и др.; гл. ред. Кобяков К. Н.; предисл.: Р. Руухиярви]. – Санкт-Петербург. – Апатиты, Мурман. обл.: [б. и.] : Кольский центр охраны дикой природы, 2011. – 243 с.

144) Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. - 319 с.

145) Старые карты городов России он-лайн [электронный ресурс] // Это место: [сайт]. URL: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения: 12.07.2019).

146) Теоретические, философские и природоохранные аспекты экологии речных бассейнов / Е. Д. Никитин, С. А. Шоба, О. Г. Никитина, Е. П. Сабодина // Экология речных бассейнов. — Владимир, 2002. — С.8–10.

147) Титов И. А. Взаимодействие растительных сообществ и условий среды: Проблема развития георастительных систем / И. А. Титов. - 2-е изд. - Москва: Высш. школа, 1961. - 519 с.

148) Тишков, А. А. Биосферные функции природных экосистем России / А. А. Тишков ; Рос. акад. наук, Ин-т географии. - М.: Наука, 2005, 308 с.

149) Токарев С. В., Рощина К. Н. Картографирование элементов рельефа земной поверхности с использованием индекса топографической позиции (на примере Крымского полуострова) // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. Т.1 (67). №4. 2015. С. 64-85.

150) Трифонова Т. А. Развитие бассейнового подхода в экологических исследованиях// Экология речных бассейнов. Труды 2-й Международной конференции. — Изд-во ВлГУ Владимир, 2002. — С.10–13.

151) Трифонова Т. А., Мищенко Н. В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. М.: ГЕОС. 2013. 272 с.

152) Трифонова Т. А., Мищенко Н. В., Селиванова Н. В., Чеснокова С. М., Репкин Р. В. Бассейновый подход в экологических исследованиях. – Владимир: ООО «ВладимирПолиграф». 2009. – 80с.

153) Уайт Г. Ф. География, ресурсы и окружающая среда: Избр. ст.: [Пер. с англ.] / Гилберт Уайт; [Предисловия С. П. Горшкова и Р. У. Кейтса, Я. Бертона]. - М.: Прогресс, 1990. – 541 с.

154) Федоров В. Н., Терентьев И. И. Ландшафтно-гидрологический подход к исследованию структуры водного баланса и стока и оценки его характеристик с угодий малых водосборов и речных бассейнов // Вопросы географии. - Вып. 133. Географо-гидрологические исследования - М.: ИД Кодекс. 2012. - С. 93-97.

- 155) Филенко Р. А. Воды Вологодской области / Ленингр. ордена Ленина гос. ун-т им. А. А. Жданова. - Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1966. - 132 с.
- 156) Фролова Н. Л. Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока. – Москва: Юрайт, 2016. – 113 с.
- 157) Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Агафонова С. А., Евстигнеев В. М., Ефремова Н. А., Повалишникова Е. С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 4. – С. 4–20.
- 158) Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 8–16.
- 159) Харькина А. Экологическое состояние р.Мегры // Вытегра: краеведческий альманах. Вып. 2. Вологда: Легия, 2000. — С.329-333.
- 160) Хорошев А. В. Мировой опыт применения ландшафтно-географического подхода к планированию устойчивого лесопользования // Устойчивое лесопользование №1(65), 2021, с.13-20.
- 161) Хорошев А., Сеницын М. Ландшафтно-экологический подход к планированию многофункционального лесопользования: опыт Кологривского модельного леса // Устойчивое лесопользование, № 2(18), 2008, с. 42-47.
- 162) Чайкина Ю. А. Географические названия Вологодской области: Топоним. слов. / Ю. И. Чайкина. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во; Вологда: Вологод. Отд-ние, 1988. - 267 с.
- 163) Чернов А.В. Современное развитие малых рек центральных районов Европейской части СССР // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; [Отв. ред. Н. П. Матвеев]. - М.: МФГО, 1988. - 128 с.
- 164) Шевелев Н. Н. Природопользование и экологические проблемы Вологодской области / Шевелев Н. Н., Комиссаров В. В.; [под общ. ред. Н. Н. Шевелева]. – Вологда : Русь, 1994. – 94 с.
- 165) Шихов А. Н. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач: практикум / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, А. И. Пономарчук; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2014. – 91 с.: ил
- 166) Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пьянков С. В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, С. В. Пьянков. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – 88 с.
- 167) Экосистемы и благосостояние человека. Синтез / Программа «Оценка экосистем на пороге тысячелетия». Институт мировых ресурсов, Вашингтон, 2005.

- 168) Юричев Е. Н. Очерки истории лесного хозяйства Вологодской области / Е. Н. Юричев, Н. Н. Неволин, И. В. Евдокимов; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Вологодская гос. молочнохозяйственная акад. им. Н. В. Верещагина. - Вологда: ВГМХА, 2011. - 215 с.
- 169) Яковченко С. Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: автореферат дис. доктора технических наук: 25.00.35 / Яковченко Спартак Геннадьевич; [Место защиты: Ин-т угля и углехимии СО РАН]. - Барнаул, 2007. - 43 с.
- 170) Ясинский С. В. Современное гидроэкологическое состояние малых равнинных рек // Вопросы географии. - Вып. 133. Географо-гидрологические исследования - М.: ИД Кодекс. 2012. - С. 394-405.
- 171) ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" [электронный ресурс] // JAXA Earth Observation Research Center (EORC): [сайт]. URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm> (дата обращения: 23.04.2019)
- 172) Congedo Luca (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- 173) Earthdata Search [электронный ресурс] // Earthdata: [сайт]. URL: https://search.earthdata.nasa.gov/search/collection-details?p=C204582034-LPDAAC_ECS&m=0!0!2!1!0!0%2C2&q=srtm&ok=srtm&fst0=Land%20Surface&fsm0=Topography (дата обращения: 23.04.2019)
- 174) EarthExplorer-Home [электронный ресурс] // EarthExplorer USGS: [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 30.04.2019).
- 175) Fick, S. E., Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37, 4302–4315. doi.org/10.1002/joc.5086
- 176) GRASS GIS manual: r.watershed [электронный ресурс] // GRASS GIS: [сайт]. URL: <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.watershed.html> (дата обращения: 26.04.2019)
- 177) Hagans, D.K., Weaver, W.E., Madej, M.A. 1986. Long-term on-site and off-site effects of logging and erosion in the Redwood Creek basin, Northern California. In: Papers presented at the American Geophysical Union Meeting on Cumulative Effects. NCASI Technical Bulletin No. 490. P. 38-66.

- 178) Introduction to the EU Water Framework Directive [электронный ресурс] // European Comission [сайт]. URL: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm (дата обращения: 23.08.2019).
- 179) Isaya Ndossi, M.; Avdan, U. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. Remote Sens. 2016, 8, 413.
- 180) Land cover classification system [электронный ресурс] //FAO: [сайт]. URL: <http://www.fao.org/3/x0596e/X0596e01e.htm> (дата обращения: 30.04.2019). (б)
- 181) Land cover Copernicus global land services [электронный ресурс] //Copernicus: [сайт]. URL: <https://land.copernicus.eu/global/products/lc> (дата обращения: 30.04.2019). (а)
- 182) Landsat 8 Data Users Handbook [электронный ресурс] // USGS: [сайт]. URL: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-data-users-handbook> (дата обращения: 30.04.2019).
- 183) Landsat satellite missions [электронный ресурс] // USGS: [сайт]. URL: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con (дата обращения: 29.04.2019).
- 184) Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices [электронный ресурс] // USGS: [сайт]. URL: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance-derived-spectral-indices?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (дата обращения: 29.04.2020).
- 185) Lunkka J.-P., Saarnisto M., Gey V., Demidov I., Kiselova V. Extent and age of the last glacial maximum in the southeastern sector of the Scandinavian ice sheet / Global and planetary change 31 (2001) p.p. 407-425.
- 186) Planchon, O., Darboux F. (2001): A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Catena 46: 159-176
- 187) Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity // Intermountain Journal of Sciences, 1999, vol. 5, No. 1-4, P. 23-27.
- 188) Sentinel-hub Playground [электронный ресурс] // Sentinel-hub: [сайт]. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground> (дата обращения: 17.08.2019).

189) Sun, X., Rosin, P.L., Martin, R.R., Langbein, F.C. (2007): Fast and effective feature-preserving mesh denoising. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.13, No.5, pp.925-938.

190) USGS EROS Archive - Digital Elevation - Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) [электронный ресурс] // USGS: [сайт]. URL: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-multi-resolution-terrain-elevation?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (дата обращения: 23.04.2019)

191) Weiss A.D. Topographic Position and Landforms Analysis, Poster Presentation [электронный ресурс] // ESRI User Conference, San Diego, 2001. URL: http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf (дата обращения: 10.11.2019).