

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград 2023

**Работа выполнена в НОЦ «Геоэкология и морское природопользование»
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Балтийский федеральный университет имени
Иммануила Канта»**

**Научный
руководитель** **Медведков Алексей Анатольевич**, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии мира и геоэкологии, МГУ имени М.В. Ломоносова

**Официальные
оппоненты** **Карпечко Юрий Васильевич**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения, Институт леса, Карельский научный центр РАН
Рязанова Наталья Евгеньевна, кандидат географических наук, заведующая лабораторией геоэкологии и устойчивого природопользования, МГИМО МИД России

**Ведущая
организация** ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита состоится «17» марта 2023 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета 24.2.273.01 при ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236016, г. Калининград, ул. А. Невского, д.14, ауд. «Скворечник», e-mail: tikuznetsova@kantiana.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград, ул. Университетская, д.2).

Электронные версии автореферата и диссертации размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» <https://kantiana.ru/postgraduate/dis-list/bortnovskiy-zakhar-vasilevich/>

Автореферат разослан «__» января 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Т.Ю. Кузнецова

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.

Исследование внутригодового распределения стока в связи с комплексом стокоформирующих факторов, определяющих ландшафтно-экологические условия, проведено в диссертации 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 [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.

Степень разработанности темы. Внутригодовая изменчивость речного стока рассматривалась на разных масштабных уровнях [Фролова и др., 2010; Фролова и др. 2015; Сафина, Голосов, 2018]. Однако в соответствующих исследованиях используются данные по крупным и средним рекам или же рассматриваются малые

реки физико-географических районов, расположенных южнее, при этом акцент делается на изучении многолетней изменчивости внутригодового распределения стока. Гидрологические особенности региона исследования рассматривались более полувека назад [Филенко, 1966], позднее состояние малых рек обсуждалось 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 бассейновом уровне.

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 земледения 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 осуществлена обработка гидрометеорологических данных, проведены подспутниковые наблюдения в полевых маршрутах в районе исследования, результаты которых использованы при анализе данных дистанционного зондирования (ДДЗ), выполнено картографическое представление и интерпретация результатов анализа.

Исследование проведено на материалах речных бассейнов в границах створов гидрологических постов, объединенных в два кластера (Прионежский и Вологодский) (рис. №1) по территориальному принципу, с учетом ландшафтных особенностей.

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.

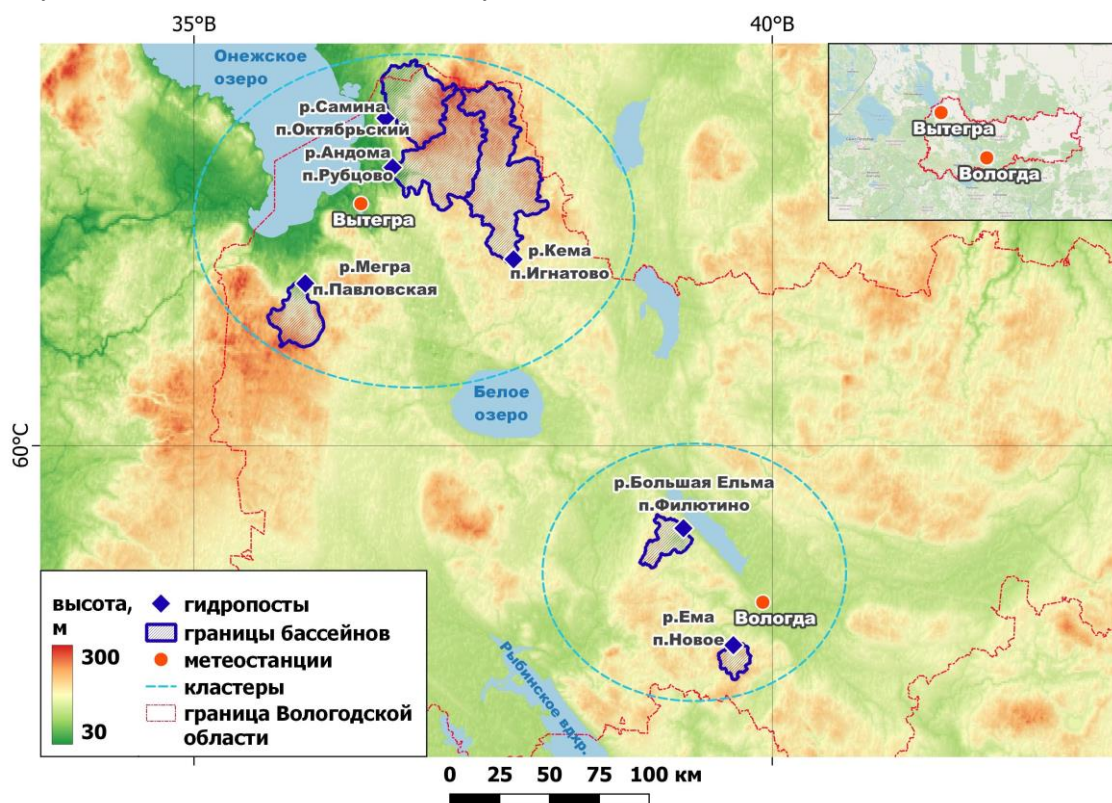


Рис. 1. Схема расположения речных бассейнов

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 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», а также 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Речной бассейн рассматривается как структурно-функциональная единица – звено пространственной организованности биосферы и природно-хозяйственного управления. Бассейновые гидролого-геоморфологические системы находятся в тесной взаимосвязи с биотой, которая оказывает регулирующее действие на сток в системе «растительность – почва – зона активного водообмена», в речных бассейнах происходит интеграция биологического и геодинамического движения материи [Горшков, 2001]. Социально-экономическое значение бассейнового подхода наиболее полно выражается в переносе акцентов управления водохозяйственным комплексом непосредственно с водных объектов на водосбор [Корытный, 2017].

Малые реки – основа гидрологической сети. Их особенностью является сильная связь с ландшафтами бассейнов. Это определяет повышенную уязвимость к антропогенному воздействию, следствием чего является ухудшение водного режима (увеличение объемов стока половодья и паводков, снижение меженных расходов), что наблюдается во многих районах [Вендров и др., 1981; Коронкевич, 1997; Алексеевский, 2000].

Речной сток является интегральным геоэкологическим показателем. Он включает в себя несколько компонентов, основополагающим среди которых является водный сток. Н.И. Алексеевским [2012] отмечено, что: «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». Индикационные свойства стока раскрываются в ландшафтно-гидрологическом подходе, который рассматривает гидрологические процессы через призму ландшафтных факторов [Ландшафтно-гидрологический..., 1992; Антипов, Корытный, 2012]. Совокупность взаимосвязанных стокоформирующих факторов определяет ландшафтно-экологические условия водосборов. Их влияние на сток в части его внутригодового распределения иллюстрирует рис. №2.

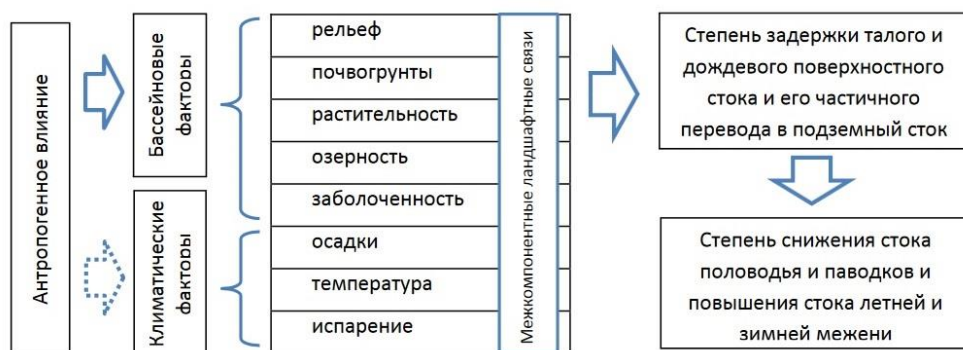


Рис. 2. Общая схема влияния ландшафтно-экологических условий на внутригодовое распределение стока

Функция внутригодового стокорегулирования связана с предотвращением и сглаживанием экстремальных гидрологических явлений, проявляющихся как в избытке, так и в дефиците природных вод [Тишков, 2005], при этом динамическая регуляция влаги служит индикатором экологического состояния бассейновой геосистемы [Горшков, 2001].

Глава 2. Материалы и методы

Влияние ландшафтно-экологических условий на внутригодовое распределение стока связано с прямым воздействием, выражаемым факторами непосредственного стокоформирования, и косвенным, определяемым потенциалом денудационных процессов в бассейне. Оба типа контролируются как естественными, так и антропогенными процессами.

Методический подход опирается на дифференцированную информационную базу, включающую гидрометеорологические данные и данные, характеризующие бассейновые ландшафтно-экологические условия. При их изучении, помимо анализа литературно-справочных материалов, большое внимание уделялось использованию технологий космического земледования и геоинформационного анализа.

Для выделения границ водосборов и их морфометрического анализа использовались цифровые модели рельефа. Анализ состояния и динамики подстилающей поверхности водосборов (земельного покрова) проведен с

использованием мультиспектральных космоснимков Landsat 5/8, дополненных по отдельным направлениям анализа снимками Landsat 1-3 и Sentinel 2.

При исследовании физико-географических условий водосборов, а также оценке денудационного потенциала в их границах, использованы отраслевые геоинформационные ресурсы ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (геолого-гидрогеологические) и Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Гидрологические данные включали среднемесячные расходы воды на выбранных гидропостах, ограничивающих вышележащие водосборы. Были использованы два периода наблюдений 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг. 5-летние ряды использованы с целью сглаживания колебаний водности отдельных лет. Оценка средней водности обоих периодов относительно многолетнего (1970-2014 гг.) ряда показала, что в указанные 5-летние промежутки она была близка к среднемноголетней. Выбор периодов обусловлен, помимо фактора доступности гидрологической информации, возможностью анализа состояния земельного покрова водосборов по снимкам Landsat 5 и Landsat 8, имеющих сходное спектральное и пространственное разрешение, что позволило унифицировать процедуры обработки и способствовало улучшению качества дешифрирования ретроспективных снимков с учетом современных подспутниковых наблюдений. Водосборы выбирались по каталогу гидрологических постов с учетом наличия рядов наблюдений, а также близости метеорологических станций. Метеорологические данные включали среднемесячные значения суммы осадков (в разных фазах), а также среднемесячные и среднесуточные (для анализа оттепелей и периодов сезонного перехода через нулевую отметку) температуры воздуха за периоды, аналогичные гидрологическим наблюдениям.

Основной средой обработки и визуализации пространственных данных была общегеографическая ГИС QGIS, также использовались ГИС GRASS, SAGA и Scanex Image Processor. Для обработки рядов гидрометеорологических данных использовались табличные процессоры. Методика обработки исходных данных обобщена в виде блок-схемы (рис. №3).

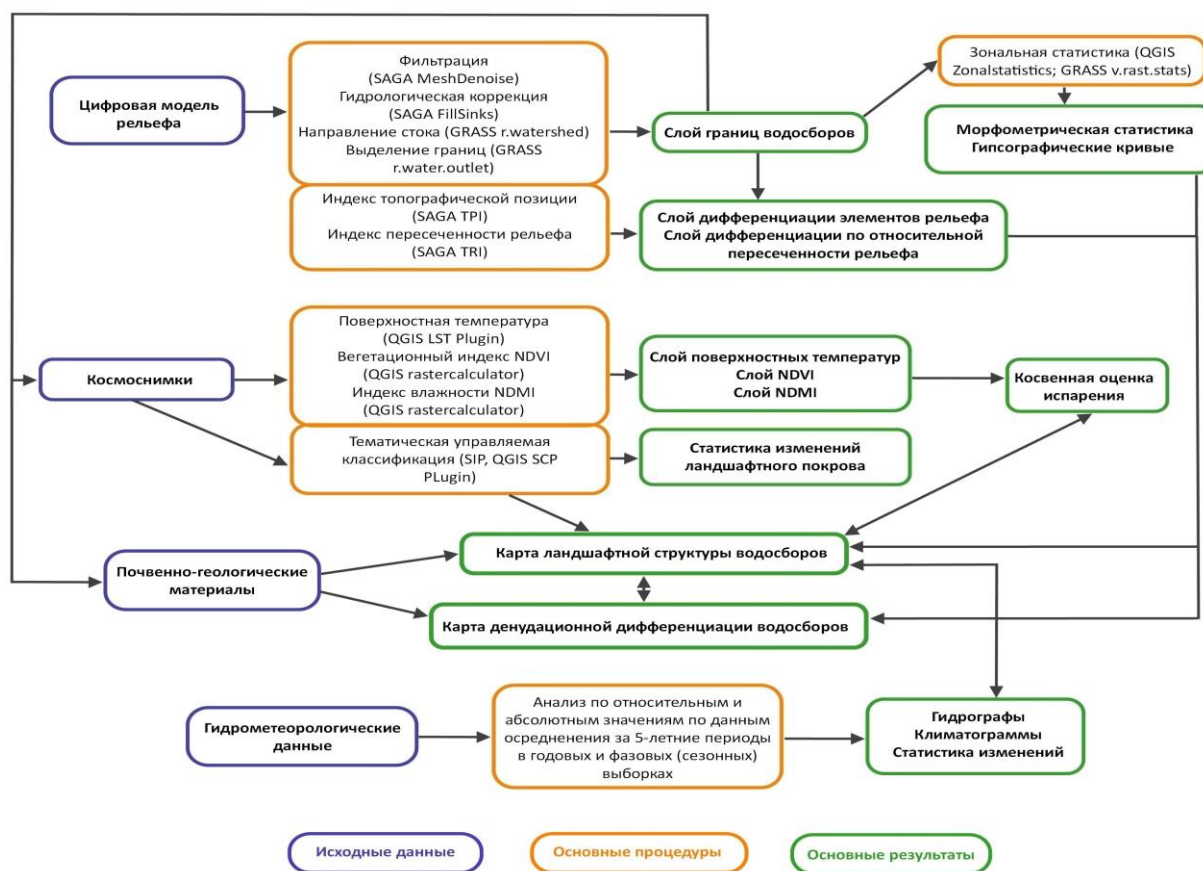


Рис. 3. Блок-схема методики обработки данных

Глава 3. Природные условия и освоение ландшафтов в районах водосборов

Водосборные бассейны обоих кластеров характеризуются определенными различиями по комплексу ландшафтных условий.

Для большинства водосборов Прионежского кластера, в частности для большей части водосборов р.Андама, р.Мегра, и р.Кема, характерны перекрытые четвертичным чехлом отложения среднего и верхнего карбона. При этом в районе низовий водосборов р.Андама, р.Кема отмечаются проявления покрытого карста, а вблизи водосбора р.Мегра располагается группа «периодически исчезающих» озер. Мощность четвертичных отложений значительно колеблется (преимущественно в диапазоне 10-50 м). В районе Вологодского кластера отложения верхней перми и нижнего триаса перекрыты мощным – от десятков до более сотни метров – четвертичным чехлом. Для обоих кластеров преобладающими четвертичными отложениями являются гляциальные, обычно суглинистые, которым сопутствуют

лимногляциальные, «пестрого» литологического состава (на водосборе р.Кемы в Прионежском кластере заметно также участие флювиогляциальных песчаных отложений). Район Вологодского кластера частично перекрыт плащом покровных суглинков. Четвертичные отложения имеют в целом невысокую водонасыщенность.

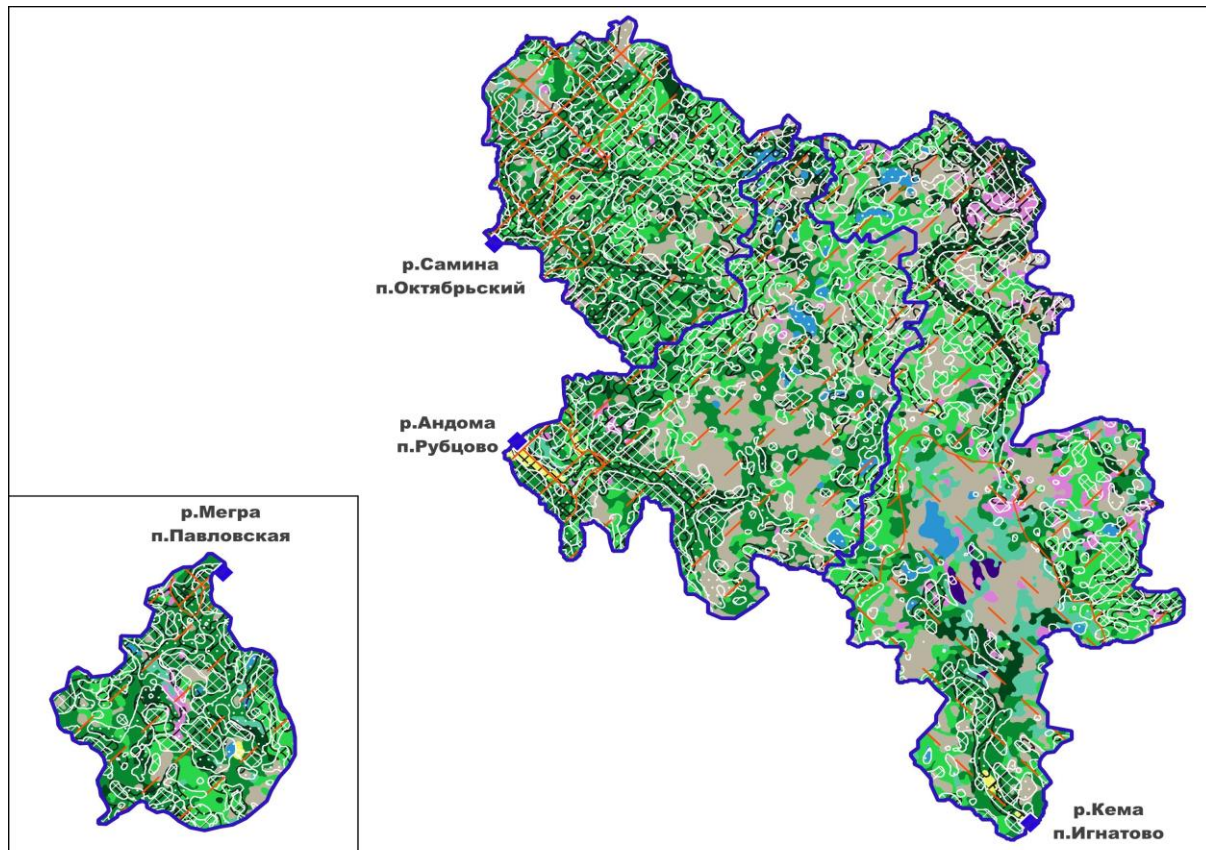
Основными геоморфологическими единицами Прионежского кластера являются холмисто-моренные Андомская и Вепсовская возвышенности, Прионежская низина, представляющая собой террасированную озерно-ледниковую равнину, а также Кемская моренная равнина. Водосборы кластера отличаются сравнительно высокой степенью вертикального расчленения рельефа, составляющей 200-240 м (за исключением водосбора р.Кема — около 120 м). Вологодский кластер почти полностью располагается в границах одноименной возвышенности. Рельеф полого всхолмленный, средне- и мелкохолмистый. Величина вертикального расчленения водосборов здесь заметно ниже и составляет 80-90 м.

Районы кластеров относятся к подзонам средней (Прионежский кластер) и южной (Вологодский кластер) тайги с преобладанием еловых лесов. Однако коренная растительность в значительной степени изменена хозяйственной деятельностью, в результате чего широко распространены вторичные смешанные и мелколиственные леса. Помимо лесных, в Прионежском кластере распространены растительные сообщества болот (в основном переходных и верховых), а в Вологодском – материковые луга.

На рис. №4 представлена авторская карта ландшафтной структуры водосборов по состоянию на середину 2010-х на примере Прионежского кластера. При ее создании задействован подход с использованием расчлененной легенды [по А.Г. Исаченко, 1980], которая в данном случае позволяет идентифицировать геосистемы на уровне сложных урочищ.

Ландшафтная структура в районах обоих кластеров трансформирована в результате хозяйственной деятельности. 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. С XVIII века, постепенно усиливается направление освоения тайги, связанное с лесозаготовками. Уже на рубеже XIX-XX веков интенсивность

лесозаготовок вблизи транспортных коммуникаций и районов «старого освоения» была довольно высокой, однако преобладали выборочные рубки.



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. 4. Ландшафтная структура водосборов Прионежского кластера

С конца 20-х гг. XX века формируется вектор экстенсивного расширения лесозаготовок, начинают преобладать сплошные концентрированные рубки. С конца 40-х гг. годов усиливается механизация лесозаготовок с применением тяжелой техники, что снизило сохранность хвойного подроста, а также почв и напочвенного покрова, что в свою очередь повлияло на рост удельного веса мелколиственных пород (березы, осины) в структуре лесов, а также способствовало ухудшению гидрологического режима малых рек, в т.ч. их обмелению.

Прионежский кластер — район с выраженной лесозаготовительной специализацией природопользования. Здесь на рубеже 1980-х гг. еще сохранялись относительно большие участки коренных и слабо трансформированных среднетаежных лесов, хотя все водосборы кластера к этому времени уже были в различной степени затронуты сплошными рубками. Это установлено по данным снимков Landsat начиная с первой половины 1970-х гг. Совмещенный анализ космоснимков и топокарт выявил множественные случаи сплошных вырубок без сохранения водоохраных зон вдоль водотоков, преимущественно – самых малых, 1-2 порядков.

Вологодский кластер — район «старого освоения», сельскохозяйственной специализации, с населенностью значительно большей, чем на территории Прионежского кластера. Уже к концу XIX века около половины земель здесь относились к сельхозугодьям, а леса были вовлечены в хозяйственный оборот. Сильное воздействие на них оказали рубки и пожары в 20-30-е гг. XX века. Анализ снимков Landsat с середины 1970-х показал на общекластерном уровне стабильное состояние земельного покрова, вместе с тем, на более детальном уровне установлено зарастание отдельных сельхозугодий.

Сочетание природно-антропогенных условий определяет особенности денудационных процессов, имеющих большое значение для состояния верхних звеньев гидрологической сети, включая малые реки. Это связано с возможностью поступления избыточного количества наносов в русловую сеть, которое, превышая эрозионно-транспортирующую способность водотока, приводит к ее заилению и способствует усилению неравномерности внутригодового распределения стока малых рек [Бутаков и др., 1996, Горшков, 2001]. Для обоих кластеров выявлены практики природопользования, способствующие развитию указанных процессов.

Так, в Прионежском кластере имеют место вырубки (помимо указанных выше) без учета локальной морфометрической неоднородности, а в Вологодском кластере – расположение сельхозугодий вблизи русловой сети и обработка почв вдоль склонов.

Для обоих кластеров рекомендовано зонирование режимов природопользования на ландшафтно-геоэкологической основе. На рис. №5 представлена карта природоохранного зонирования на примере водосборов Прионежского кластера.

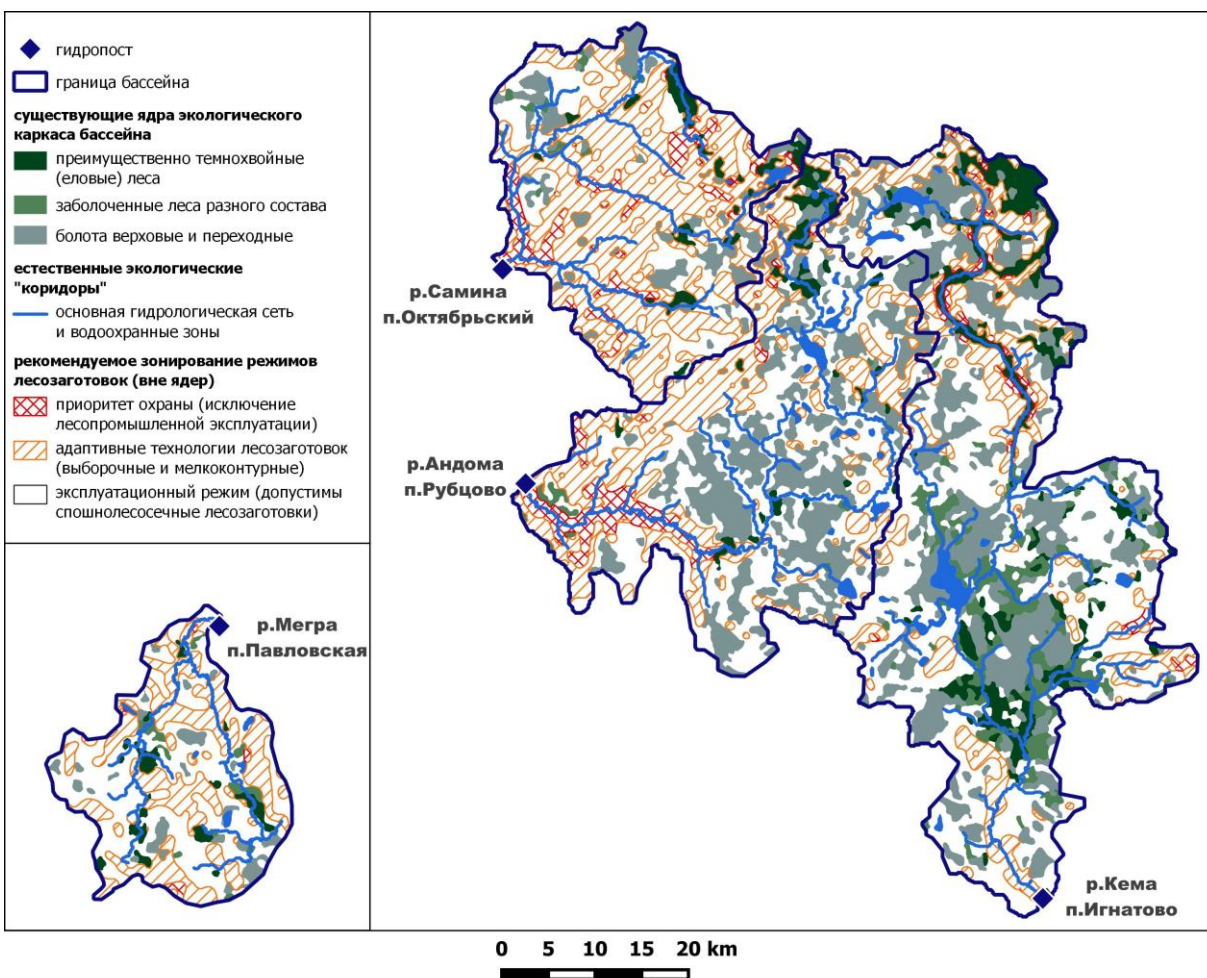


Рис. 5. Природоохранное зонирование на водосборах Прионежского кластера

Предлагаемое к использованию зонирование опирается на выявление экологического каркаса с использованием информации о типах современного растительного покрова и дифференциацию территории бассейнов по денудационному потенциалу. Такая дифференциация проведена по относительной

шкале с использованием анализа морфометрических данных и информации о почвенно-литологических особенностях территории водосборов.

Для каждой зоны вне ядер экологического каркаса с учетом специализации природопользования кластеров предложены режимы хозяйственной деятельности, направленные на сохранение и поддержание стокорегулирующих функций природно-антропогенных ландшафтов. В Прионежском кластере они связаны с регламентацией лесозаготовок и использованием различных технологий рубок, а в Вологодском – с применением различных севооборотов в сочетании с агромелиоративными мероприятиями.

Глава 4. Отклик стока на ландшафтно-экологические условия водосборов

Режим стока и его изменчивость в пространственном и временном контексте отображают гидрографы рек, построенные по осредненным данным относительного стока за два рассмотренных периода 1981-1985 гг. и 2010-2014 гг. для обоих кластеров (рис. №6-7).

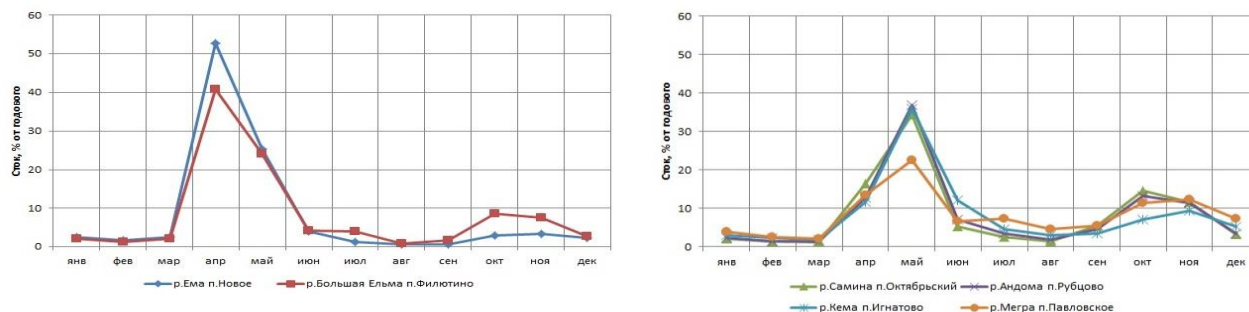


Рис. 6. Внутригодовое распределение стока рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров периода 1981-1985 гг.

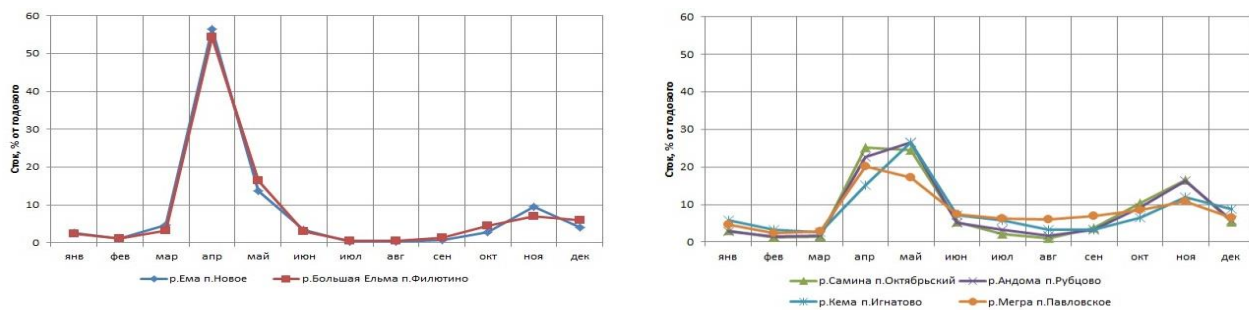


Рис. 7. Внутригодовое распределение стока рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров периода 2010-2014 гг.

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

На примере периода 2010-2014 гг. проанализирован отклик стока на пространственную дифференциацию стокоформирующих факторов.

Ключевым отличием кластеров по фазам водного режима является весеннее половодье. Средний сток обеих рек Вологодского кластера за апрель-май — основной период половодья — достигает 70% годового, в то время как для рек Прионежского кластера за аналогичный период — только 44%. Сток зимней межени (декабрь-февраль) — 8% на реках Вологодского и 13% — на реках Прионежского кластера. Летний меженный сток (июль-август) по Вологодскому кластеру — менее 1%, а по Прионежскому — 7,4% годового.

Базовый стокоформирующий фактор — климатический характеризует рис. №8.

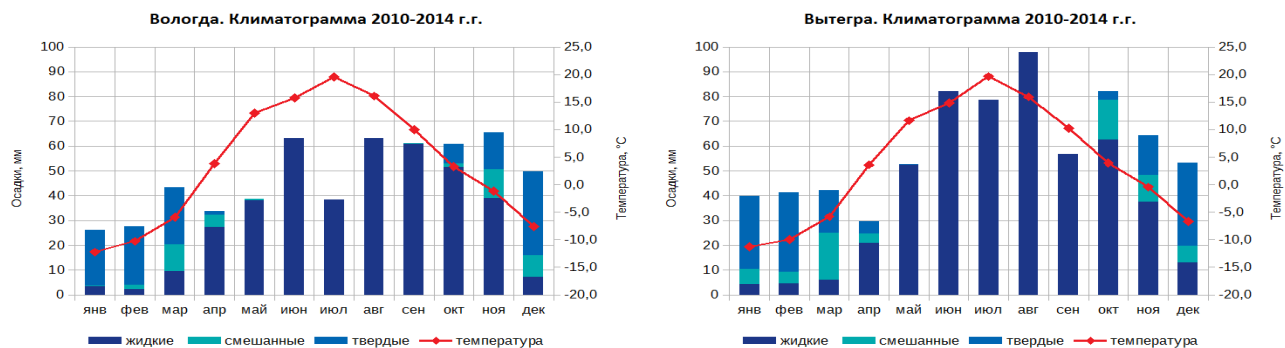


Рис. 8. Климатограммы метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) за период 2010-2014 гг.

Анализ климатических факторов половодья, таких как предзимнее увлажнение, осадки зимнего периода, температурный режим в период активного снеготаяния — показывают их сходство на межкластерном уровне. Среди них наиболее выражено различие сумм положительных температур в апреле, однако, это — сопутствующий фактор для сильной дифференциации стока половодья. Определяющим фактором являются особенности земельного покрова водосборов, отражающего в т.ч. различие их растительности (таблица №1).

Таблица 1. Земельный покров водосборов и их кластеров по ДДЗ 2013-2014 гг. (в скобках – изменение в сравнении с ДДЗ 1985-1986 гг.)

Тип / водосбор	Самина	Андома	Кема	Мегра	Прионежский	Ема	Большая Ельма	Вологодский
Леса, в т.ч.:	85(+13)	69(+5)	66(-1)	85(+8)	76(+6)	69(+3)	72(+1)	71(+2)
<i>Преимущественно темнохвойные</i>	8(+1)	8(-2)	12(-15)	11(-8)	10(-6)	6(-1)	1(-1)	3(-1)
<i>Смешанные</i>	42(+3)	31(-3)	17(-4)	45(+17)	34(+3)	40(+11)	31(+15)	36(+13)
<i>Преимущественно мелколиственные</i>	31(+11)	25(+12)	26(+19)	19(0)	25(+10)	24(-7)	38(-12)	31(-10)
<i>Заболоченные</i>	4	5	11	9	7	0	2	1
Болота	12	24	23	9	17	0	1	0
Вырубки необлесенные	0(-2)	1(-1)	1(0)	2(+1)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
Вырубки зарастающие	3(-10)	3(-3)	7(+1)	2(-8)	4(-5)	0(0)	2(+2)	1(+1)
Сельхозугодья	0(-1)	1(-1)	0(0)	0(-1)	0(-1)	31(-3)	25(-3)	28(-3)
Водные объекты	1	2	2	1	2	0	0	0

Большое значение для аккумуляции и частичного перехвата весеннего стока имеют заболоченность (в среднем 17% по Прионежскому, <1% по Вологодскому кластеру) и озерность (1-2% для Прионежского, полное отсутствие озер в Вологодском кластере). На водосборах Вологодского кластера 25-31% занимают сельхозугодья, доля которых в Прионежском кластере (<1%), что также отвечает более «резкому» половодью рек Вологодского кластера.

Следует отметить «компенсационное влияние», которое факторы земельного покрова в Прионежском кластере оказали на более высокую вертикальную расчлененность, как фактор увеличения скорости сброса поверхностного стока в русловую сеть.

Анализ климатических факторов зимней межени – помимо предзимнего увлажнения, также температуры зимнего периода – тоже показывает их сходство.

Косвенная оценка испарения, как климатического фактора летней межени, проведенная по данным тепловой ИК-съемки Landsat 8, указывает на его сходство

на межкластерном уровне для доминантных (лесных для обоих кластеров) и субдоминантных (болот – для Прионежского кластера, сельхозугодий – для Вологодского) типов земельного покрова. При этом сезонная и межгодовая динамика состояния сельхозугодий (по количеству фотосинтетически активной биомассы) – потенциально наиболее существенный фактор относительной изменчивости испарения.

Более выражено различие суммы осадков в июле-августе, что соответствует более глубокой межени на реках Вологодского кластера. Но также следует отметить предшествующий быстрый сброс талых вод в половодье, что способствует меньшей инфильтрации и пополнению запасов подземных вод как источника питания в последующий меженный период.

Одним из существенных неклиматических факторов различия водности меженного периода (как летней, так и зимней) является фактор геологических особенностей — наличие карстующихся дочетвертичных пород в Прионежском кластере. Это обеспечивает подпитку рек и проявляется в дифференциации меженного стока между отдельными реками кластера. Кроме того, площадь водосборов, как фактор, влияющий на глубину эрозионного вреза и, как следствие, полноту дренирования горизонтов подземных вод, больше в Прионежском кластере.

Таким образом, различие внутригодового распределения стока на макроуровне кластеров контролируется ведущими факторами земельного покрова, а также гидрогеологических условий. Воздействие отдельных стокоформирующих факторов корректируется при их различных сочетаниях, отражаемых особенностями частных водосборов, а при разнонаправленном влиянии на внутригодовое распределение стока определяет компенсационный эффект.

Для обоих кластеров водосборов проанализирован отклик стока на изменение с 1980-х по 2010-е гг. климата и земельного покрова как динамических факторов стокоформирования. Климатический фактор определяет изменчивость стока преимущественно на макроуровне кластеров, а фактор антропогенного изменения земельного покрова в большей степени определяет различия в динамике стока на уровне отдельных рек. Указанные факторы корректируются под влиянием статических (т.е. неизменных) стокоформирующих факторов.

Представление об изменениях внутригодового распределения стока дают помесечные гистограммы сравнения (рис. 9).

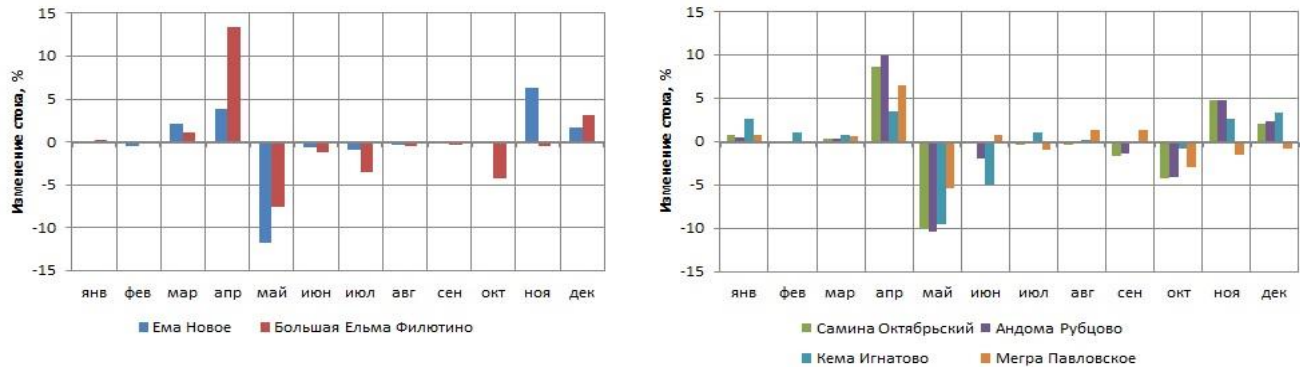


Рис. 9. Изменение среднего внутригодового распределения стока рек Вологодского (слева) и Прионежского (справа) кластеров в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

Наиболее выраженное изменение внутригодового распределения стока связано с его перераспределением в период половодья – увеличением в апреле и снижением в мае. Перераспределение стока произошло и в период осенних паводков с переходом в зимнюю межень.

Сведения о динамике изменений земельного покрова указаны в таблице №1. Сведения о динамике температуры и осадков для опорных метеостанций кластеров приведены на рис. №10.

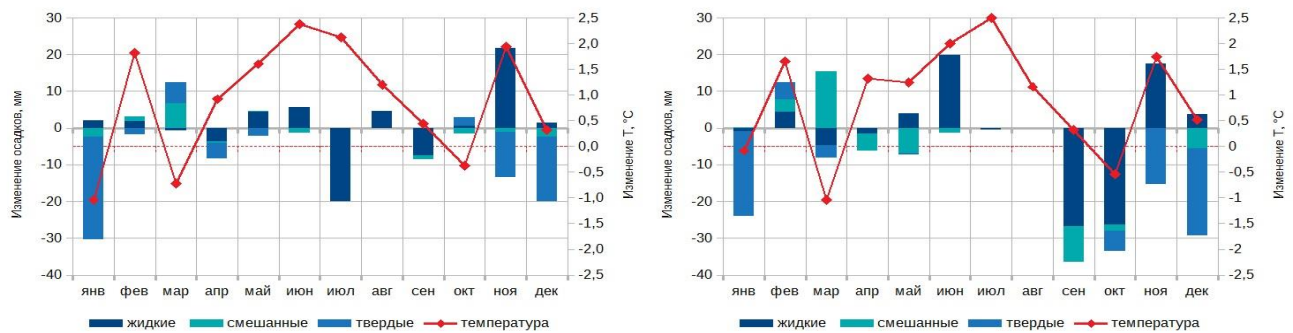


Рис. 10. Динамика годового хода осадков и температуры метеостанций Вологда (слева) и Вытегра (справа) в 2010-2014 гг. относительно 1981-1985 гг.

Для обоих кластеров ключевая причина перераспределения стока – климатическая. В фазу половодья это связано с изменением температурного фона и интенсификацией снеготаяния. Возросла сумма положительных температур в апреле, снеготаяние стало более «дружным». Усиление позднеосеннего стока для обоих кластеров отвечает росту температурного фона в период перехода через 0°C и значительному увеличению доли жидких осадков в ноябре. Усиление позднеосенних расходов сказывается на росте декабрьского стока, чему также способствует зафиксированное увеличение числа оттепелей.

Местные особенности водосборов влияют на дифференциацию изменений внутригодового распределения стока на внутрикластерном уровне. Для рек Вологодского кластера это связывается в основном с различиями в использовании сельхозугодий (включая различные агротехнические приемы) как в сезонной, так и межгодовой динамике. Для рек Прионежского кластера причины различий изменения внутригодового распределения стока более комплексны: влияние динамики климата и растительности (изменения в породно-возрастном составе древостоев вследствие рубок) трансформируется под влиянием различных статических стокоформирующих факторов. К числу таковых следует отнести «сглаживающее» внутригодовое распределение стока влияние карстовых процессов, особенно заметное для р.Мегра, и аналогичное влияние крупного руслового озера на р.Кема.

Заключение

По результатам исследования индикационной роли внутригодового распределения стока проанализированных малых рек в связи с пространственно-временной изменчивостью ландшафтно-экологических условий их водосборов 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 большая 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 .

Результаты исследования отражают различия динамической влагообеспеченности в бассейновых геосистемах, с которой связаны различные экосистемные функции, включая собственно водорегулирующую, и предоставляют опорный материал для управления бассейновым природопользованием.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых изданиях перечня ВАК:

Бортновский З.В. Исследование водорегулирующей функции ландшафтного покрова речных бассейнов с применением ГИС и данных дистанционного зондирования // Геоинформатика. 2015. №2. С.52-58.

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. 2019. №1. С.44-52.

Бортновский З.В. Водный сток как индикатор ландшафтно-экологических условий бассейнов малых рек // Географическая среда и живые системы. 2021. №1. С.42-52.

В изданиях, индексируемых в Scopus:

Бортновский З.В. Тепловлагорегулирующая функция ландшафтов в таежной зоне по данным дистанционного зондирования (на примере Вологодской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2017. Т.14. №3. 2017. С.215-224.

В других изданиях:

Бортновский З.В. Изменения средообразующего потенциала геосистем подзоны средней тайги при лесозаготовках // Сборник трудов IV Международного экологического конгресса ELPIT-2013. Т.2. Материалы научного симпозиума «Биотические компоненты экосистем». Тольятти: ТГУ, 2013. С.23-27.

Бортновский З.В. К изучению средообразующего потенциала ландшафтов окрестностей Вологды // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы совершенствования лесоводственных мероприятий в защитных лесах». Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. С.27-30.

Бортновский З.В. Применение ГИС для реализации бассейнового подхода в экологических исследованиях // Материалы 22-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Дубна, 2015. С.11-12.

Бортновский З.В. Использование данных дистанционного зондирования для тематического картографирования в районе лесозаготовок // Вестник Международного университета Природы, Общества и Человека «Дубна». Серия «Естественные и инженерные науки». 2016. №1 (33). С.12-17.

Бортновский Захар Васильевич

**РЕАКЦИЯ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК
НА ИЗМЕНЕНИЕ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ВОДОСБОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПРИОНЕЖЬЯ И
ВОЛОГОДСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать 09.01.2023 г.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,5
Тираж 100 экз. Заказ 1

Отпечатано Полиграфическим центром
Балтийского федерального университета им. И. Канта
236022, г. Калининград, Гайдара, 6