

УДК 556.51:528.225(470.12)

© З.В. Бортновский

З.В. Бортновский

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ПОКРОВА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (ДДЗ)



Общие сведения

Объектами геоэкологического изучения могут быть территориально целостные ландшафтные единицы, к числу которых можно отнести речные бассейны. Актуальность исследования речных бассейнов обусловлена их важным значением как естественных функциональных единиц биосферы. В речном бассейне тесно взаимодействуют косные и биотические компоненты окружающей среды при системообразующей роли стока. Этим подчеркивается важность ландшафтно-гидрологических исследований [3, 7, 8].

Специфика организации хозяйственной деятельности общества ведет к значительной антропогенной трансформации ландшафтного покрова речных бассейнов. Меняется режим рек, в том числе внутригодовая структура речного стока. Это создает риски, связанные с колебанием уровней и расходов воды, развитием водно-эрозионных процессов. При этом последние, в свою очередь, проявляются не только в снижении плодородия почв, но и в развитии процессов агградации речной долины [3], когда эродированный материал не только транспортируется речной сетью в конечные водоемы стока, но и задерживается в пути миграции, в том числе в верхних звеньях гидрографической сети, что способствует вырождению ручьев и малых рек.

Таким образом, исследование связи между спецификой ландшафтного покрова и речным стоком – актуальная задача научного сопровождения природопользования, а инструменты ГИС в сочетании с ДДЗ предоставляют для этого современные возможности.

Для обработки пространственных данных использовалась ГИС QGIS. К ее основным достоинствам относятся свободный доступ и большое количество прикладных модулей обработки и анализа информации.

Физико-географическая характеристика

Автором исследованы два водосборных участка в верховьях рек: один в бассейне р. Андомы, другой –

р. Емы. За нижние границы выбранных систем стока приняты: гидропост Рубцово на р. Андома и гидропост Новое на р. Ема. Оба участка находятся в Вологодской области на севере Европейской России (см. рис. 1). Выбор основан на данных о различии первого от второго по особенностям ландшафтного покрова и по принадлежности обоих к верхним звеньям гидрологической сети, которые в свою очередь были обеспечены доступными данными по речному стоку. Последнее объясняет, почему взяты эти участки, несмотря на относительную удаленность друг от друга и разную площадь.

Участок «верховье р. Андома» охватывает юго-западную часть Андомской возвышенности, примыкающую к Прионежской низменности. Преобладает холмистый рельеф. Встречаются заболоченные участки, а также небольшие проточные озера. Поверхностный четвертичный чехол представлен отложениями позднеплейстоценового ледникового комплекса валдайского оледенения (моренные валунные суглинки, водноледниковые пески и галечники, озерноледниковые алевроиты и глины), маломощными поздне-последледниковыми речными галечно-гравийно-песчаными отложениями, а также голоценовыми торфяниками. Мощность четвертичного чехла существенно колеблется. Преобладают характерные для среднетаежного района подзолистые почвы [2, 6].

Участок «верховье р. Емы» располагается в пределах Вологодской возвышенности. В рельефе сочетаются полого-всхолмленные средне- и мелкохолмистые образования. Поверхностный четвертичный чехол представлен среднеплейстоценовыми ледниковыми отложениями московского оледенения, аналогичными по набору генетических типов таким же отложениям валдайского возраста. Мощность четвертичных отложений нередко превышает 100 метров. Развиты дерново-подзолистые почвы, характерные для подзоны южной тайги [2, 6].

Выделенным тестовым площадкам присущи различные типы природопользования и, как упоми-

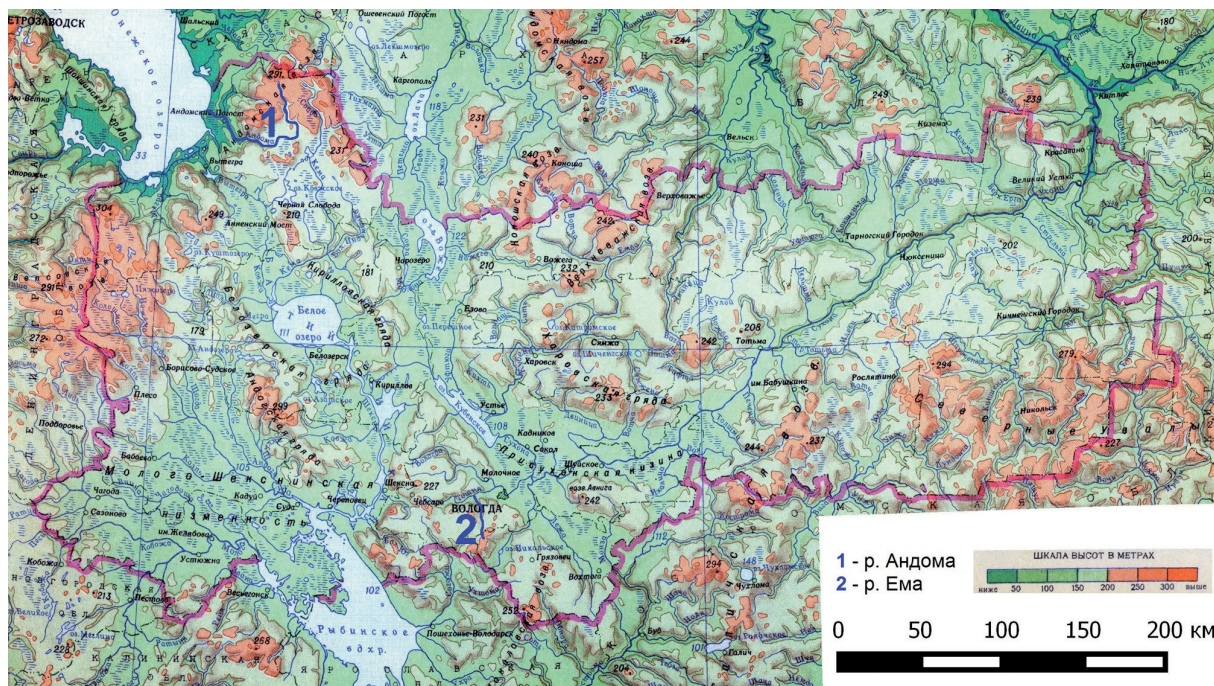


Рис. 1. Расположение исследуемых рек (картографическая основа по [1], с изм.)

налось, структуры ландшафтного покрова. Участок «верховье р. Ема» располагается в староосвоенном районе со сравнительно высокой плотностью сельского населения. Здесь часть лесных ландшафтов замещена сельскохозяйственными угодьями, существующие леса находятся на различных стадиях вторичной сукцессии. Освоенность участка «верховье р. Андомы» существенно ниже. Малая плотность сельского населения и его приуроченность к нижнему течению объясняют слабое распространение сельскохозяйственных земель [2]. Основной характер антропогенного вмешательства обусловлен разновременными промышленными лесозаготовками. Вследствие этого широко распространены вторичные смешанные и мелколиственные леса, а коренные хвойные (преимущественно еловые) леса сохранились фрагментарно.

Процедура исследования и результаты

Алгоритм исследования включал в себя решение нескольких рассматриваемых далее задач.

1. *Пространственное выделение границ водосборного бассейна по контрольному створу гидропоста.* Решение данной задачи базировалось на морфометрическом анализе рассматриваемых районов. Исходными данными послужили цифровые модели рельефа (ЦМР).

Для решения обозначенных задач подходит модель SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), созданная по материалам радарной съемки с борта Шаттла в 2000 г. [9]. Среди достоинств можно

отметить относительно высокое пространственное разрешение (90 метров), основной недостаток – ограниченный пространственный охват суши (в Северном полушарии только южнее 60 градуса с.ш.). Поскольку участок «верховье р. Андома» расположен севернее, для его анализа использовалась другая ЦМР – GMTED2010, являющаяся развитием более раннего проекта GTOPO30 [9]. Она имеет больший пространственный охват, но для рассматриваемой территории менее высокое пространственное разрешение – 250 м.

При обработке ЦМР в ГИС комбинацией цветовой карты в сочетании с теневой отмывкой было получено наглядное, реалистичное отображение рельефа. Кроме того по имеющимся координатам был создан векторный слой точек расположения гидропостов.

Для определения границ водосбора использовался модуль R.watershed, входящий в состав встроенных в QGIS инструментов геообработки GRASS. Этот модуль работает с растром исходной ЦМР. В меню модуля основной использовавшийся параметр «minimum size of exterior watershed basin» (далее «min. size»). Он задает размер элементарных выделяемых водосборных площадей, причем в реальности на них могут отсутствовать постоянные водотоки. Однако эти площади определяют локальную специфику дренажа рассматриваемого участка.

Значение «min. size» подбиралось опытным путем, таким образом, чтобы пересечение границ

«элементарных бассейнов» проходило через точку расположения гидропоста. В результате на выходе получался растр совокупности водосборов (по заданному значению «min. size») в черно-белых цветах, причем «элементарные бассейны» в пределах рассматриваемой территории группируются по принадлежности к водосборам более крупного порядка и автоматически выделяются цветовыми тонами.

Далее проводилась векторизация созданного на предыдущем этапе растра. Из полученной таким образом мозаики полигонов с помощью инструмента ручного выбора объектов выделялись «элементарные бассейны», примыкающие к границам водосборов более крупного порядка, а также к граничным полигонам, замыкающим створ гидропоста.

Правильность выделения проконтролирована подложкой растра цветовой карты рельефа и геопривязанного растра карты, отображающей гидрологическую сеть района исследования, под векторный слой «элементарных бассейнов».

Выделенная совокупность полигонов затем была объединена. Таким образом, получены полигональные векторные слои пространственных границ тех частей речных бассейнов, сток с которых «учитывается» данными соответствующих гидропостов (рис. 2, 3) (далее термины «водосбор», «бассейн» употребляются применительно к выделенным участкам). Добавим, что позднее была установлена возможность альтернативного способа выделения водосборов, реализуемая совместным использованием модулей R.watershed и R.water.outlet. Его применение в большей степени автоматизировано, но результаты могут потребовать корректировки.

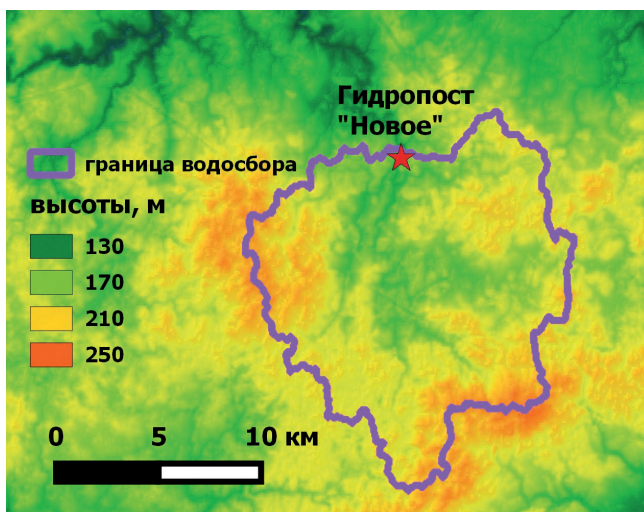


Рис. 2. Граница водосбора р. Ема по створу гидропоста «Новое»

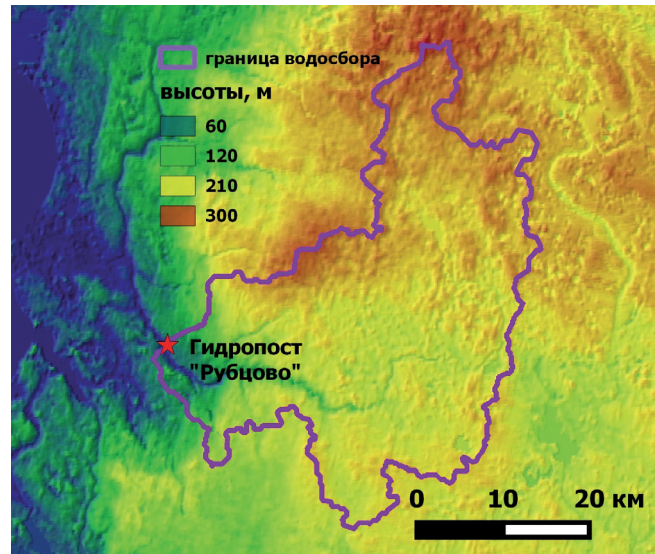


Рис. 3. Граница водосбора р. Андома по створу гидропоста «Рубцово»

Отметим разницу перепадов высот, составляющих для выделенного участка бассейна р. Ема по данным ЦМР SRTM 100 метров, а для участка бассейна р. Андома по данным ЦМР GMTED2010 – 290 метров.

2. *Выявление специфики ландшафтного покрова в границах, определенных на предыдущем этапе.* Исходными данными для решения данной задачи являлись материалы спутниковой съемки Landsat. Снимки Landsat находят широкое применение в эколого-географических исследованиях, в том числе в тематическом картографировании [4]. Их важное достоинство – свободный доступ (при регистрации в поисковом каталоге). Значимый недостаток (как у всех съемочных систем оптического диапазона) – зависимость от погодных условий (облачности), вследствие чего часть материалов выбраковывается.

Ввиду необходимости совмещения с имеющимися гидрологическими данными, использовались снимки спутника Landsat 5TM лета 2007 г., выбранные через каталог EarthExplorer USGS.

Для определения специфики ландшафтного покрова использовался метод полуавтоматической классификации космоснимков, принцип работы которого состоит в задании пользователем обучающих выборок – эталонов определяемых классов, на основании которых происходит классификация всей заданной территории. В QGIS данный метод реализуется дополнительным модулем Semi-Automatic Classification Plugin.

Для обоих исследуемых бассейнов в соответствии с особенностями природных условий и хозяйственной деятельности были выделены следующие ландшафтные таксоны:

- леса;
- хвойные леса;
- смешанные леса;
- мелколиственные леса;
- сельскохозяйственные угодья.

Для бассейна р. Андомы дополнительно выделены:

- болота;
- заболоченные леса;
- вырубки;
- озера.

Репрезентативность выбора эталонных участков для классификации обеспечивалась сочетанием материалов полевых наблюдений с участием автора с использованием снимков высокого пространственного разрешения картографических сервисов сети Интернет.

Модуль полуавтоматической классификации позволяет задавать пространственные границы (в нашем случае это выделенные на первом этапе границы водосборов), а также рассчитывать доли площадей выделяемых таксонов.

Результаты классификации ландшафтного покрова, выполненной по методу максимального правдоподобия (maximum likelihood) представлены на рис. 4-5 и в табл. 1.

Следует отметить, что подразделение типов лесов имеет меньшую точность относительно прочих

ландшафтных таксонов вследствие влияния соответствующих экотонов.

3. *Обработка гидрометеорологических данных.* Особенности речного стока исследовались во внутригодовом распределении. Гидрологический анализ строился на обработке рядов значений среднемесячного стока периода 2000-2009 гг. Привлечение десятилетних рядов призвано «смягчить» влияние колебаний стока отдельных лет.

Для каждой реки было вычислено значение среднемесячного стока за десятилетний промежуток и по этим данным среднегодовой сток. Поскольку сравнивались разные реки, целесообразным был переход от абсолютных значений стока (м³/сек) к относительным, выполненный расчетом процентной доли месячного стока от годового (по десятилетнему осреднению). Полученные таким образом гидрографы представлены на рис. 6.

Гидрографы обнаруживают существенное различие внутригодового стока сравниваемых бассейнов. Колебания стока р. Ема резкие, в период весеннего половодья за один месяц сток превышает половину годового. Быстрый подъем и спад стока половодья сменяется низкими уровнями летней и зимней межени. Сток р. Андома распределен более равномерно, весеннее половодье более сглажено и продолжительно, выше водность меженных периодов.

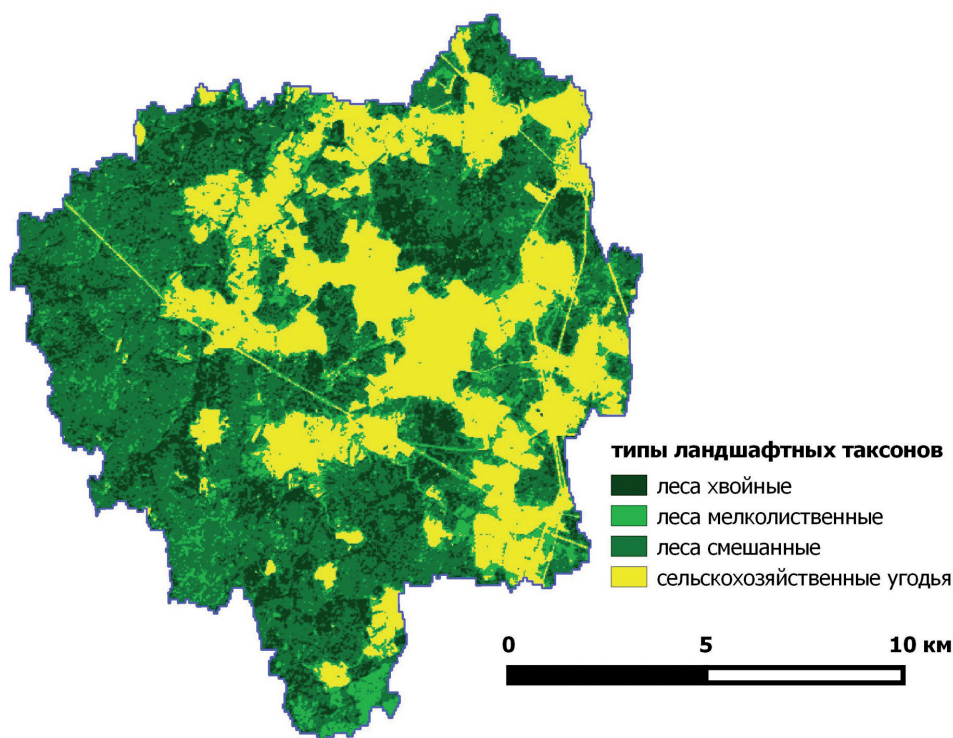


Рис. 4. Картограмма ландшафтного покрова водосбора р. Ема



Рис. 5. Картосхема ландшафтного покрова водосбора р. Андома

Таблица 1

Площадные доли ландшафтных таксонов, %

Таксон \ Бассейн	р. Ема	р. Андома
Леса, в том числе:	71	80
<i>Хвойные леса</i>	15	10
<i>Мелколиственные леса</i>	12	18
<i>Смешанные леса</i>	44	41
<i>Заболоченные леса</i>	–	11
Озера	–	2
Болота	–	13
Сельскохозяйственные угодья	29	1
Вырубки	–	4

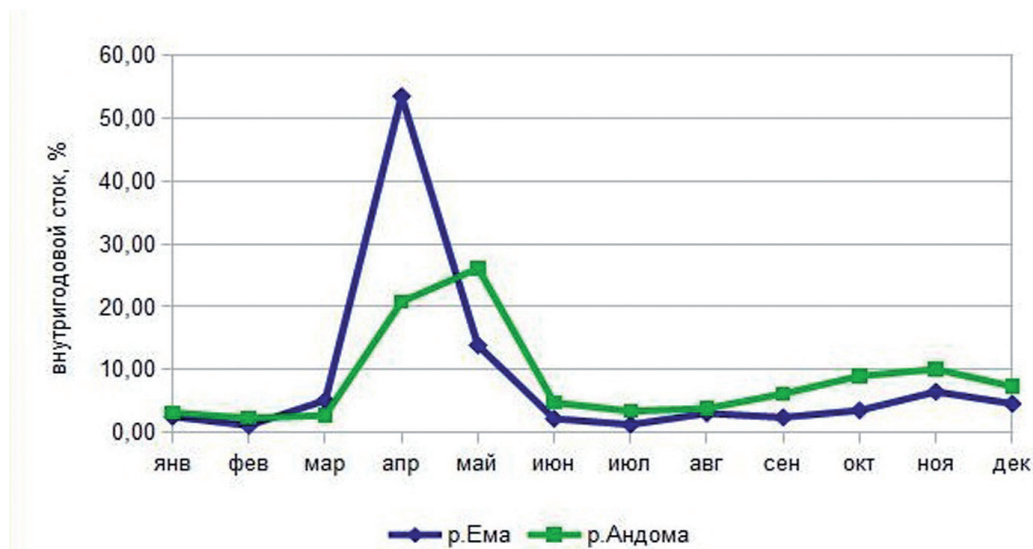


Рис. 6. Внутригодовое распределение стока р. Ема (гидропост «Новое») и р. Андома (гидропост «Рубцово»), (осреднение 2000-2009 гг.), %

К числу важнейших факторов формирования речного стока относится климат [5]. Поэтому, учитывая относительную взаимодальность рассматриваемых бассейнов, были дополнительно привлечены данные по осадкам (обработка аналогично гидрологическим данным) и температуре для метеостанций, расположенных в 20-40 км от расчетных центроидов оконтуренных водосборов (рис. 7, 8).

Распределение осадков и температур для обоих водосборов не имеет существенных расхождений. Таким образом гидрометеорологические условия не являются определяющей причиной различий внутригодового распределения стока. Соответственно увеличивается значение различий ландшафтного покрова.

Картосхема ландшафтного покрова показывает, что на водосборе р. Емы сельскохозяйственные угодья, замесившие леса, занимают почти 1/3 площади, что хорошо согласуется с резким половодьем, когда накопленные за зиму снегозапасы сравнительно быстро переходят в поверхностный сток. При этом в меньшей степени происходит пополнение подземных вод – важного источника питания реки в меженный период. В то же время для водосбора р. Андома доля сельскохозяйственных угодий и условно аналогичных с гидрологической точки зрения вырубок составляет в совокупности лишь 5%, кроме того выше суммарная залесенность. Леса в сочетании с болотами занимают более 90% площади водосбора р. Андома (хотя, как указывают авторы [5], влияние болот на сток неоднозначно). Следует отметить, что «сглаженный» характер стока р. Андома проявляется несмотря на почти в 3 раза больший перепад высот соответствующего водосбора относительно р. Ема.

Вышеуказанные факты подтверждают важную роль лесных ландшафтов в поддержании близкой к природной внутригодовой структуры речного стока в пределах водосбора, заросшего сукцессионными лесами разного возраста. Замещение лесов сельскохозяйственными угодьями приводит к увеличению амплитуды внутригодовых колебаний расходов воды. Это проявляется в усилении фазы весеннего половодья, а также пониженными величинами меженного летнего и зимнего стока.

Ключевые слова: водосбор, речной бассейн, речной сток, ландшафтный покров, Вологодская область, QGIS, Landsat.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Вологодской области. – М. : ГУГК, 1965. – 38 с.
2. Атлас Вологодской области: учебное пособие / гл. ред. Е.А. Скупинова. – СПб. : «Аэрогеодезия» ; Череповец : «Порт-Апрель», 2007. – 108 с.
3. Горшков С.П. Учение о биосфере. Введение / С.П. Горшков. – М. : Географический факультет МГУ, 2007. – 118 с.
4. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – 2-е изд. – М. : Академия, 2011. – 416 с.
5. Михайлов В.Н. Гидрология : учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – 3-е изд. – М. : Высш. шк., 2008. – 463 с.
6. Природа Вологодской области / Ю.Н. Белова и др. ; гл. ред. Г.А. Воробьев. – Вологда : Вологжанин, 2007. – 434 с.

7. Титов И.А. Взаимодействие растительных сообществ и условий среды / И.А. Титов. – 2-е изд. – М. : Высш. школа, 1961. – 519 с.
 8. Трифонова Т.А. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко ; Московский гос. ун-т им. М.В.

Ломо-носова ; Владимирский гос. ун-т, Российский фонд фундаментальных исслед. – М. : ГЕОС, 2013. – 271 с.
 9. GIS-Lab: Геоинформационные системы и Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis-lab.info/> (дата обращения: 05.12.2014).

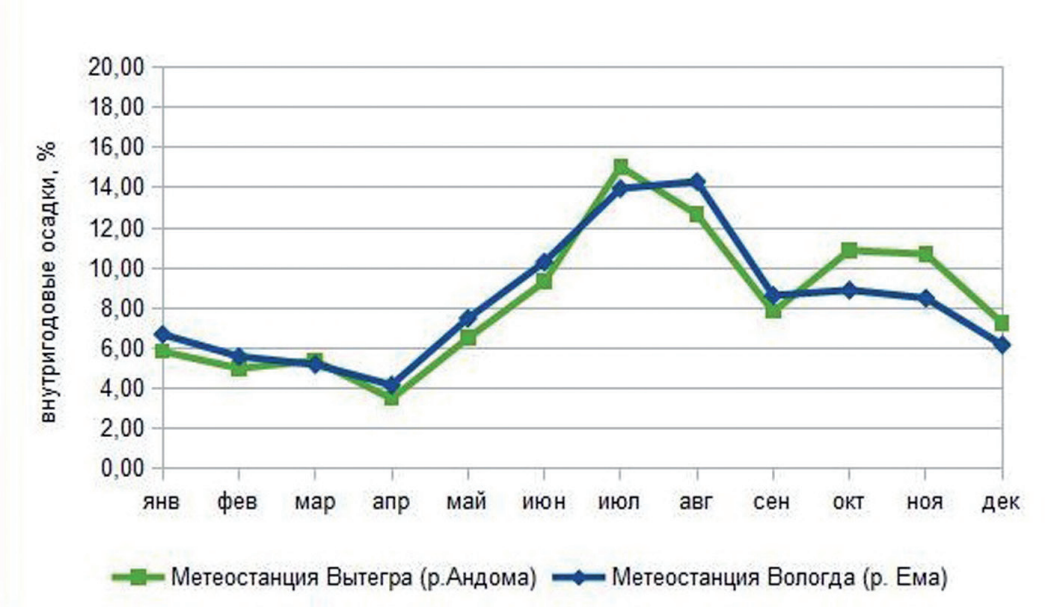


Рис. 7. Внутригодовое распределение осадков метеостанций Вологда (к р. Ема) и Вытегра (к р. Андома), (осреднение 2000-2009 гг.), %

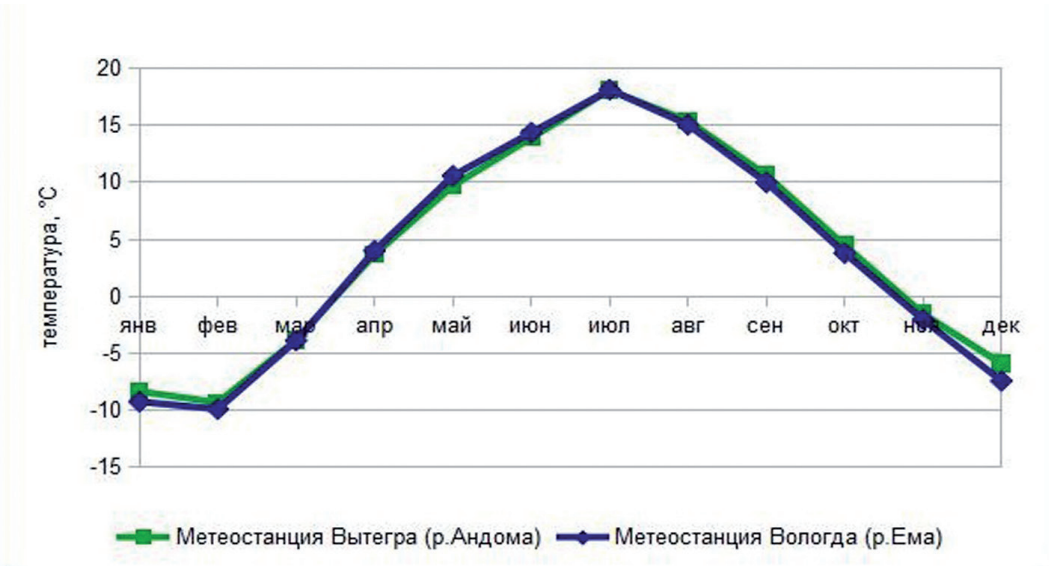


Рис. 8. Внутригодовое распределение температуры метеостанций Вологда (к р. Ема) и Вытегра (к р. Андома), (осреднение 2000-2009 гг.), T °C