

УДК 551.506

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И РЕЖИМА ОСАДКОВ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОВЕРХОВЬЯ С ИСПОЛЬЗОВА- НИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

О.Е. Лазарев, И.А. Мартянова

Тверской государственный университет, Тверь

В статье рассмотрены вопросы изменения климата в пределах территории Волговерховья. Представлен анализ наблюдаемых изменений внутригодового и межгодового режима температуры воздуха с 1990 по 2011 гг. Выявлены основные закономерности распределения осадков в пределах данной территории. По современным метеоданным составлена серия электронных климатических карт Волговерховья.

Ключевые слова: *изменение климата, потепление, температурный режим, Волговерховье*

В настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов геоэкологии является вопрос о глобальных изменениях климата, существующих тенденциях к потеплению, о природе происходящих изменений и возможных грядущих последствиях таких изменений для будущего развития человечества.

Наряду с изменениями климата в глобальных масштабах значительный интерес представляет изучение региональных климатических изменений, т. к. именно такие данные широко используются для решения практических задач. Они применяются в различных нормах и правилах, используемых в строительстве, сельском хозяйстве и других отраслях человеческой деятельности. Благодаря таким региональным исследованиям можно более детально проследить закономерности распространения метеорологических величин, выявить их территориальные особенности, не обнаруживаемые на мелкомасштабных картах.

Под территорией Волговерховья подразумевается водосборный бассейн р. Волги от её истока (близ д. Волговерховье) в Пеновском районе до бейшлота, расположенного в пос. Селище Селижаровского р-на Тверской обл. Территория Волговерховья расположена на восточном склоне Валдайской возвышенности Восточно-Европейской равнины, на северо-западе Тверской обл.

Граница рассматриваемой территории проходит по линии водораздела между бассейном р. Волги и бассейнами рек, текущих в Балтийское море (Пола, Западная Двина, Ловать и др.), бассейном озера Селигер и бассейном Волги ниже пос. Селище (Песочня, Тудовка и др.). Таким образом, граница исследуемой территории совпадает с границей

Главного водораздела между бассейнами Атлантического океана (Балтийского моря) и областью внутреннего стока (р. Волга и ее притоки) [6].

Авторами использовались ежедневные метеоданные о температуре воздуха и осадках по 12 метеостанциям и 3 метеопостам за период 1990–2011 гг.; для сравнительного анализа использовались осредненные метеоданные из справочника по климату СССР за период 1881–1960 гг., и среднемесячные метеоданные за период 1961–1990 гг., являющиеся климатической нормой по решению Всемирной метеорологической организации (ВМО).

На рассматриваемой территории расположены два гидропоста (Коковкино и Пено) и метеостанция Лесной Заповедник (находится на юго-восточной границе Волговерховья). Остальные метеопункты, на которых производились наблюдения, были отобраны таким образом, чтобы максимально охватить рассматриваемую территорию по периметру. Таким образом, достигнута предельно возможная плотность пунктов наблюдения.

Временные ряды данных по метеостанции Ржев, метеопостам Марёво, Охват, Пено были недостаточно продолжительны и содержали пропуски. Для получения рядов необходимой продолжительности производилось их восстановление по информации на соседних станциях, наблюдения на которых не имеют пропусков на исследуемом временном интервале.

К настоящему времени разработано достаточное количество методов восстановления информации в гидрометеорологии. Для обработки неполных рядов метеоданных был применен метод восстановления на основе пространственных моделей. Пространственные модели основаны на однородности синоптических и метеорологических процессов для больших территорий, что позволяет использовать свойство синхронности колебаний в однородном районе [1].

Авторами используется вид пространственной модели с уравнением связи между средними многолетними значениями на каждой станции (\bar{Y}_j) и значениями за год, когда измерение в рассматриваемом пункте отсутствует (Y_{kj}): (принцип связи поля метеорологической величины j -го года со средним многолетним полем этой же величины, формула (1)):

$$Y_{kj} = A_{ik} \bar{Y}_j + A_{0k} . \quad (1)$$

В результате, по каждому пункту наблюдений были получены m восстановленных значений по всем уравнениям, из которых определялось обобщенное расчетное как среднее из многих.

Для характеристики температурного режима территории использованы и обработаны ежедневные данные о температуре воздуха. Рас-

считаны среднемесячные, среднегодовые и среднемноголетние значения температуры воздуха за период с 1990 по 2011 г.г. по формуле:

$$X = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad (2)$$

где X – среднее арифметическое, n – число наблюдений, x_i – i -тое значение x .

Кроме формулы (2) при подсчете среднеарифметических значений среднемноголетних величин метеоэлементов учитывалась стандартная ошибка, рассчитываемая по формуле:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где σ_x – ошибка среднего арифметического значения, n – число наблюдений, σ_x – среднее квадратическое отклонение случайной величины, которое, в свою очередь, вычисляется по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где x_i – i -тое значение x .

Большая часть исходных данных наблюдений за величиной x_i будет размещаться в диапазоне от $x - \sigma_x$ до $x + \sigma_x$. Чем ближе величина σ_x к нулю, тем распределение x_i будет более однородным, т.е. среднее квадратическое отклонение показывает некую вариабильность величины во времени для каждой из точек наблюдения [5].

Были рассчитаны среднемноголетние значения температуры воздуха для всех станций и метеопостов за период с 1990 по 2011 г.г. (табл. 1). При этом наибольшей изменчивостью характеризуются данные по метеопосту Марёво и станции Западная Двина, а наименьшей – по станциям Холм и Торопец, о чем свидетельствуют значения среднее квадратического отклонения.

Для более детального анализа и построения графиков использовались данные по трем метеостанциям (Лесной Заповедник, Осташков, Торопец Тверской области), наиболее близко расположенным к исследуемой территории Волговерховья.

По этим данным построен график хода среднегодовых температур воздуха за период с 1990 по 2011 г. (рис. 1). Анализ графика показывает, что по всем станциям температура испытывает тенденцию к росту. Из рассматриваемых станций наибольшую температуру воздуха за этот период имеет станция Торопец – практически на протяжении всего временного ряда она преобладает. Наименьшую температуру воздуха имеет станция Лесной Заповедник, и на всем протяжении периода отличается приблизительно на 0,8–0,9 °С от станции Торопец и на 0,4–0,5 °С от станции Осташков.

Т а б л и ц а 1

Среднегодовья температура воздуха

Метеопункт	Среднегодовья температура воздуха за период 1990–2011 гг., °С	Среднеквадратическое отклонение, °С	Стандартная ошибка, °С
Белый	5,3	0,63	±0,13
Бологое	4,8	0,67	±0,14
Вышний Волочёк	4,8	0,82	±0,17
Демянск	5,5	0,66	±0,14
Западная Двина	5,6	0,84	±0,18
Лесной Заповедник	4,6	0,64	±0,14
Марёво	5,7	0,86	±0,18
Осташков	5,0	0,64	±0,14
Охват	4,2	0,68	±0,14
Пено	4,9	0,64	±0,14
Ржев	5,4	0,64	±0,14
Старица	5,0	0,72	±0,15
Торжок	5,1	0,76	±0,16
Торопец	5,4	0,60	±0,13
Холм	5,7	0,59	±0,13

По данным среднемесячной температуры рассчитаны средние значения температуры по климатическим сезонам: весна (апрель, май), лето (июнь, июль, август), осень (сентябрь, октябрь), зима (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март), и построены соответствующие графики (рис. 2–5).

Из полученных графиков видно, что режим температуры воздуха по сезонам существенно различается. Весной наблюдается высокая изменчивость временных рядов по станциям, они имеют много точек пересечений, также с 2004 г. прослеживается чередование теплых и холодных весен. В летний и осенний сезоны температуры на метеостанции Лесной Заповедник холоднее в среднем на 0,5 °С, тогда как временные ряды по станциям Торопец и Осташков располагаются близко друг к другу. Зимой выделяются более теплые значения температуры (примерно на 0,8 °С) на станции Торопец, а ход температур станций Осташков и Лесной Заповедник практически совпадают.

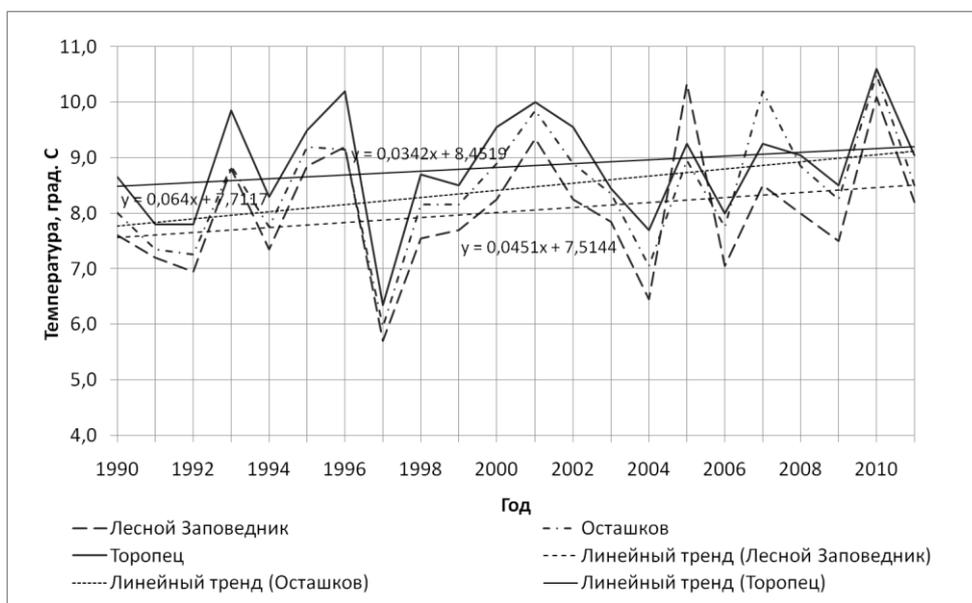


Рис. 1. Ход среднегодовой температуры воздуха за период 1990–2011 гг.

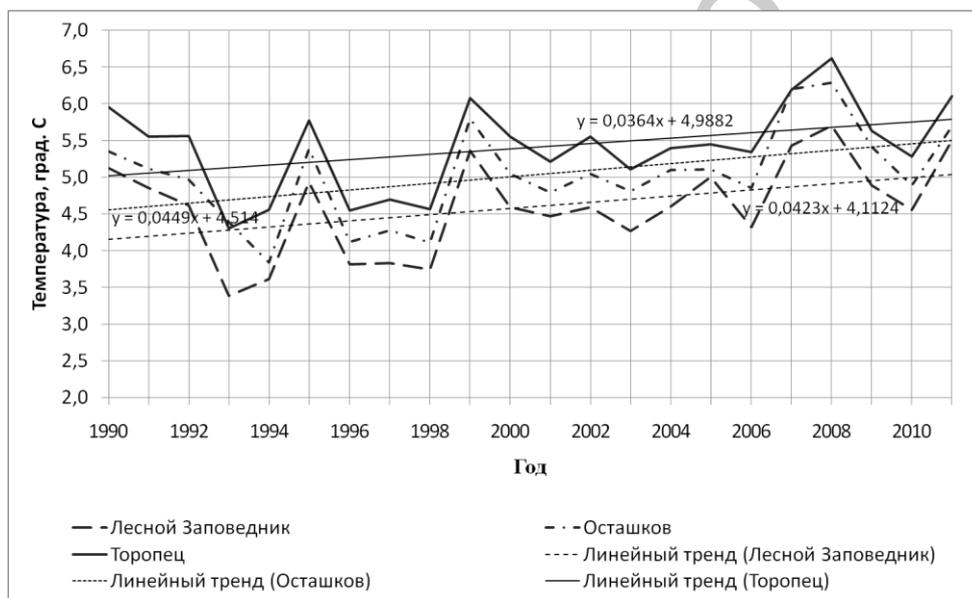
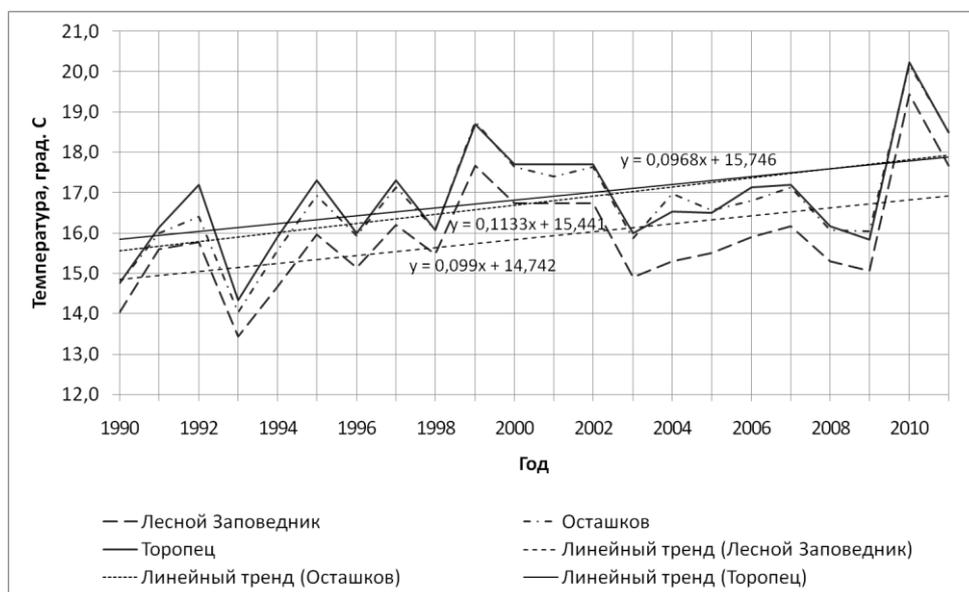
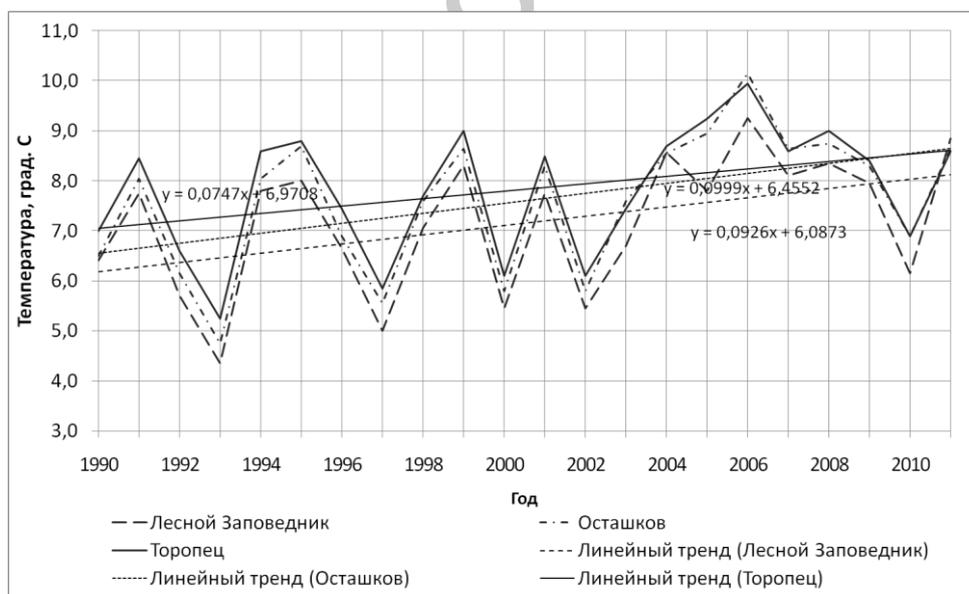


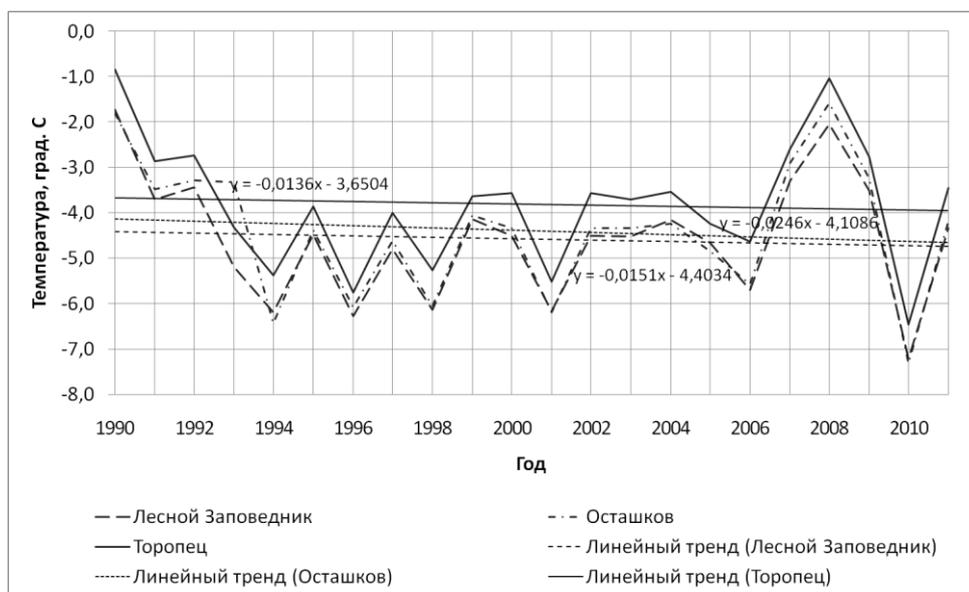
Рис. 2. Ход весенних температур воздуха (1990–2011 гг.)



Р и с . 3. Ход летних температур воздуха (1990–2011 гг.)



Р и с . 4. Ход осенних температур воздуха (1990–2011 гг.)



Р и с . 5. Ход зимних температур воздуха (1990–2011 гг.)

При анализе структуры временных рядов хода температуры особое внимание уделено выделению составляющей тренда, ее математическому описанию и объяснению.

Тренд – это относительно устойчивое систематическое изменение временного ряда в течение достаточно длительного времени. При выделении тренда из временного ряда его можно выразить в виде аналитической функции от времени

$$\hat{x}_t = f(t) . \tag{5}$$

Если значение тренда выразить как линейную функцию от времени, то получаем линейный тренд

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t , \tag{6}$$

где \hat{x}_t – величина тренда в момент времени t , a_0, a_1 – коэффициенты тренда [4, с. 44–46].

Графическое представление трендов и их математическое описание для хода температур по трём выбранным метеостанциям представлено на рис. 1–5. Тренды хорошо выделяют общую тенденцию изменения температуры – ее постепенный рост. Среднегодовые температуры за период с 1990 по 2011 г.г. выросли на 0,8–0,9 °С. Повышение температуры особенно выражено в летний и осенний сезоны – на 2,0 °С и 1,8 °С соответственно. В зимний сезон выявлена тенденция к незначительному понижению температуры – на 0,2–0,3 °С. Однако следует отметить, что видимый визуальный тренд может на самом деле являться частью доста-

точно медленного колебания, выявление которого затрудняет недостаточность длительности временного ряда.

С помощью формулы (2) были рассчитаны значения среднемесячных температур воздуха за исследуемый период для станций Осташков и Торопец. По полученным результатам были построены графики, показывающие распределение средних температур по месяцам года за исследуемый период, а также по имеющимся данным наблюдений за 80-летний период (1881–1960 гг.) и за 30-летний период (1961–1990 гг.) на станции Торопец и Осташков (рис. 6, 7). Для станции Лесной Заповедник сравнительный анализ не проводился, т. к. она была открыта значительно позднее (1 июня 1969 г.).

По результатам сравнения среднемесячных температур, взятых за разные периоды, были получены следующие результаты:

- в целом для станций Осташков и Торопец средние температуры всех месяцев стали выше, чем за 80-летний период;
- по сравнению с 30-летним периодом не изменились температуры мая, октября и ноября, а остальные также стали выше;
- при этом особенно сильно в период 1990–2011 гг. отличаются в сторону увеличения температуры января и февраля, несмотря на наблюдаемую тенденцию их понижения, а также июля.

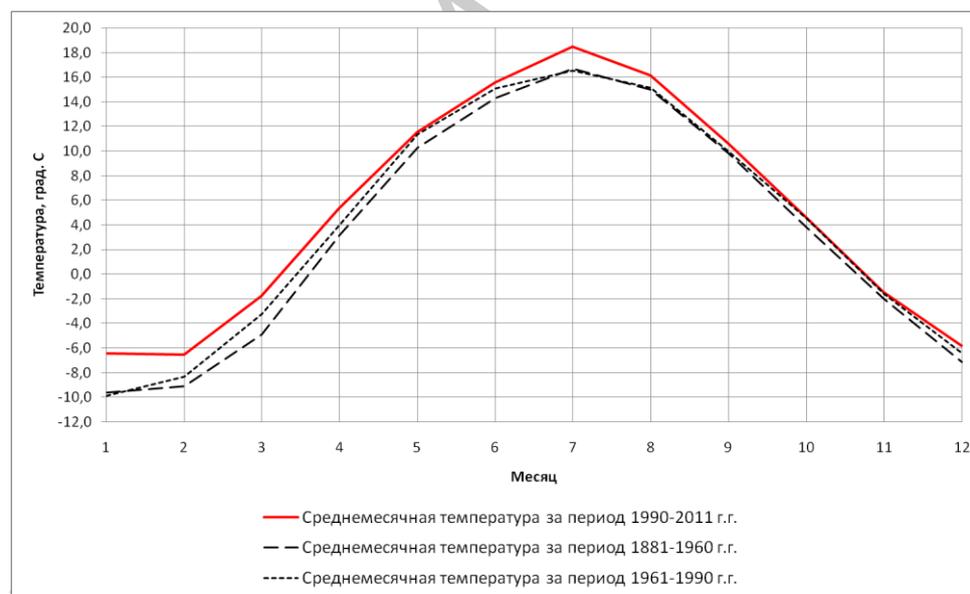


Рис. 6. Ход среднемесячных температур воздуха по метеостанции Осташков

Также для сравнения изменения среднемесячных температур составлена табл. 2. Из неё видно, что температура исследуемого периода выше на 1,1 °С по сравнению с температурой стандартного климатического тридцатилетия и на 1,6 °С и 1,4 °С в Осташкове и Торопце соответственно по сравнению с 80-летним рядом наблюдений.

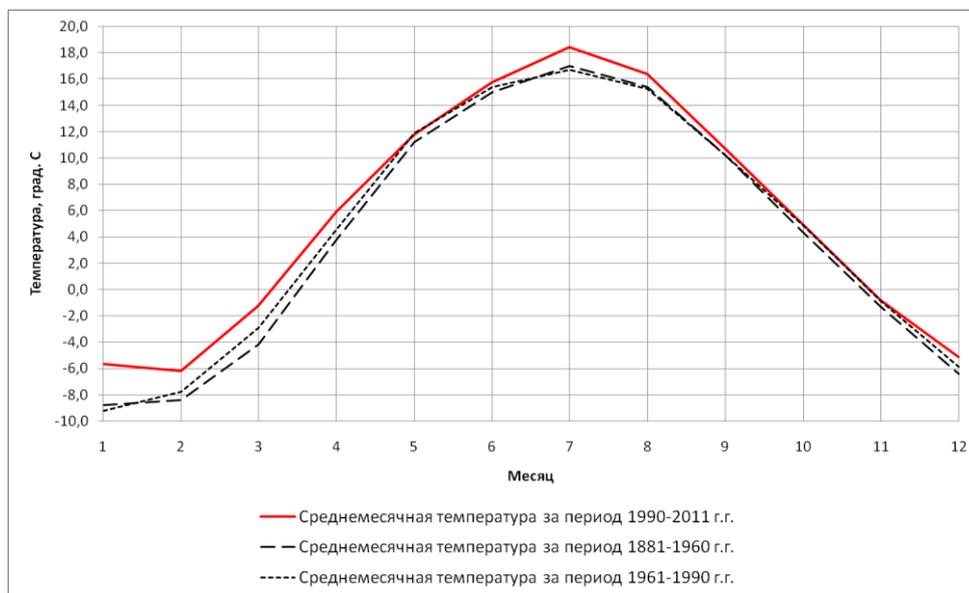


Рис. 7. Ход среднемесячных температур воздуха по метеостанции Торопец

Таблица 2
Среднемесячные температуры воздуха

Метеостанция	Средне-многолетняя температура воздуха за период 1990–2011 гг.	Средне-многолетняя температура воздуха за период 1961–1990 гг.	Средне-многолетняя температура воздуха за период 1881–1960 гг.
Осташков	5,0	3,9	3,4
Торопец	5,4	4,3	4,0

Таким образом, выявленные в результате анализа изменения температуры воздуха на территории Волговерховья в целом соответствуют наблюдаемым тенденциям потепления на территории Волжского региона [2] и России [3].

По имеющимся обработанным данным за период 1990–2011 гг. были созданы карты, отражающие закономерности температурного режима и режима выпадения осадков территории Волговерховья. Построение климатических карт производилось в программе «MapInfo Professional» 7.5. В качестве основы была использована электронная карта-основа Тверской области масштаба 1: 500 000. При создании серии карт использовалась электронная орогидрографическая карта бассейна Верхней Волги масштаба 1:200 000, разработанная Д.А. Мидоренко и Н.Н. Тищенко, где граница рассматриваемой территории выделена по бассейновому принципу. При построении карт по возможности учитывалась взаимосвязь картируемых метеорологических величин с гипсометрическими особенностями территории.

Основным методом, применяемым при составлении серии карт, был метод линейной интерполяции, предполагающий, что величина показателей между соседними точками наблюдений изменяется равномерно. При использовании этого метода находят промежуточные точки со значениями, выбранными для шкалы изолиний.

Основными способами картографического изображения при составлении серии климатических карт являлись:

- способ изолиний, обусловленный непрерывным, сплошным характером распространения климатических элементов, а также постепенным изменением их количественных показателей;

- способ количественного фона, применяемый наряду со способом изолиний при показе на картах распределения осадков.

Созданные климатические карты обладают некоторой долей субъективности, связанной с невысокой плотностью пунктов наблюдений. К другим аспектам субъективности относятся ограниченный временной ряд, по которому получены осредненные значения для построения карт, использование восстановленных данных по метеопунктам, временные ряды которых неполные или имеют пропуски, использование метеоданных как с постов, так и со станций, на которых программы наблюдений отличаются сроками снятия показателей и их точностью.

Особенность созданной серии климатических карт на территории Волговерховья заключается в том, что при их построении использовались современные метеорологические данные, т. е. созданные карты уточняют уже имеющиеся карты.

Для создания карты годового количества осадков и среднегодовой температуры воздуха были использованы данные о среднемноголетних температурах и количестве осадков.

На карте показано количественным фоном распределение годового количества осадков по территории, изотермами –

среднемноголетняя температура воздуха, а также подписаны значения среднемноголетней температуры на метеопунктах (рис. 8).

На полученной карте видно, что изотермы проходят в субширотном направлении. При этом среднегодовая температура понижается в направлении с севера на юг. Самые прохладные районы находятся близ поста Охват, южнее которого температура опять повышается. Разница температур северной части Волговерховья и района вокруг Охвата составляет около 1°C.

Величина годового количества осадков по построенной карте также изменяется в меридиональном направлении, составляя менее 700 мм в год на севере и достигая 750–775 мм в год в южной части. При этом на наибольшей части территории Волговерховья годовое количество осадков составляет 700–750 мм.

Пользуясь данными о среднемесячных температурах, суммах осадков по сезонам за период 1990–2011 гг. мы составили карты средних температур и сумм осадков зимой, весной, летом и осенью для того, чтобы получить более полную картину о закономерностях их распределения в пространстве в течение года, а также чтобы проследить распространение области с пониженными температурами, обнаруженной вокруг поста Охват на карте среднегодовых температур и сумм осадков.

Под сезонами подразумеваются климатические сезоны, а не календарные. Так, на карте весны отображены изотермы средней температуры апреля и способом количественного фона сумма осадков за апрель и май, на метеопунктах подписаны значения среднемесячной температуры. Аналогично составлены карты по всем сезонам: летом отображены изотермы июля и осадки за июнь, июль, август; осенью – изотермы октября и осадки за сентябрь и октябрь; зимой (самый продолжительный сезон) – изотермы января и осадки за 5 месяцев (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март).

- Весна (рис. 9). Изотермы апреля четко выделяют область пониженных температур в Охвате (значения температуры ниже на 0,8–1,0 °C). Направление изолиний широтное. В северной и центральной части Волговерховья выпадает менее 90 мм осадков за сезон, к югу их количество возрастает до 100 мм и более.

- Осень (рис. 10). Изотермы проходят субширотно. Область пониженных температур сохраняется вокруг метеопоста Охват. Закономерность распределения осадков такая же, как и весной – увеличение с севера на юг. В центральной части Волговерховья их количество составляет 130–140 мм, к югу 140–150 мм и более.

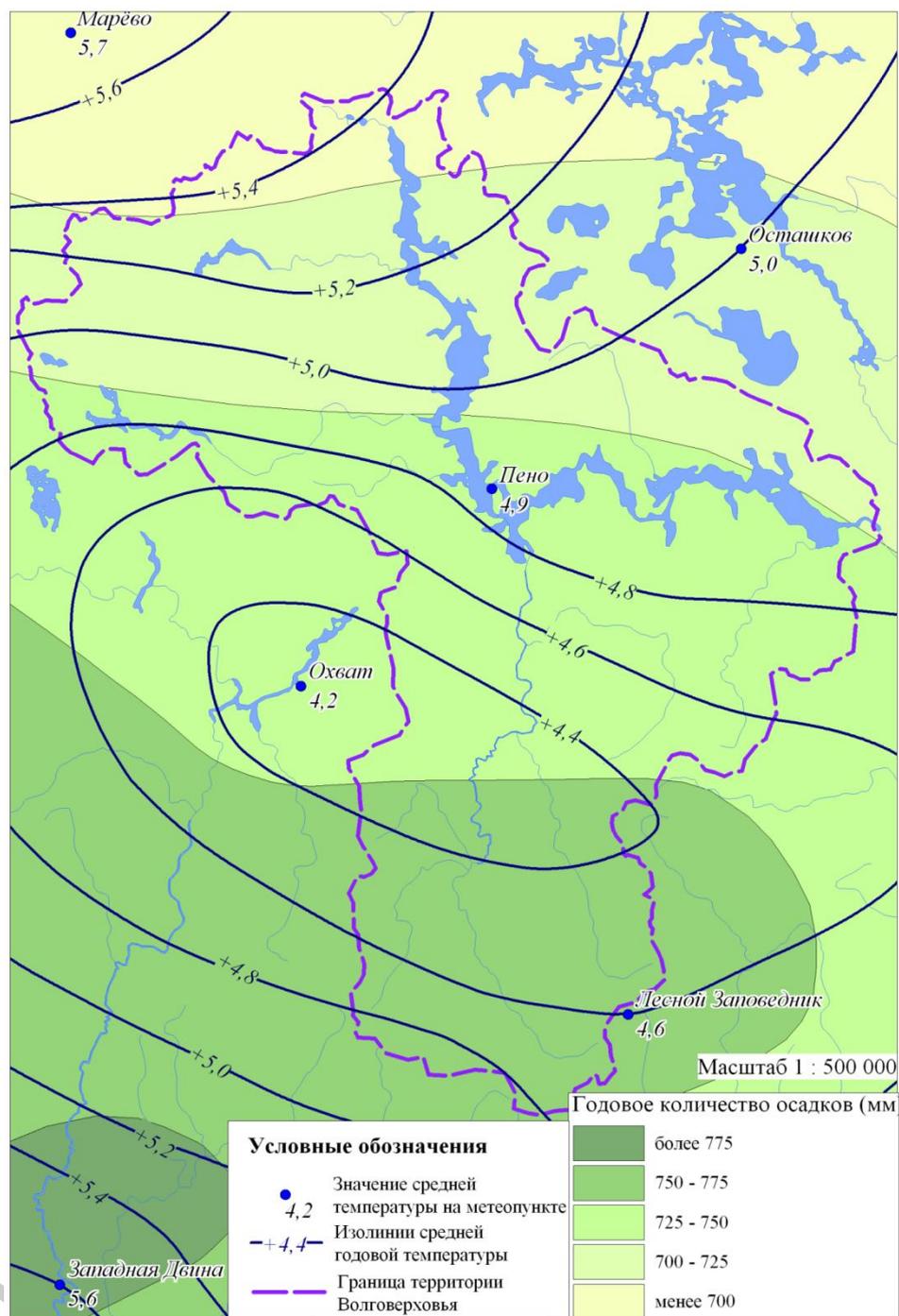
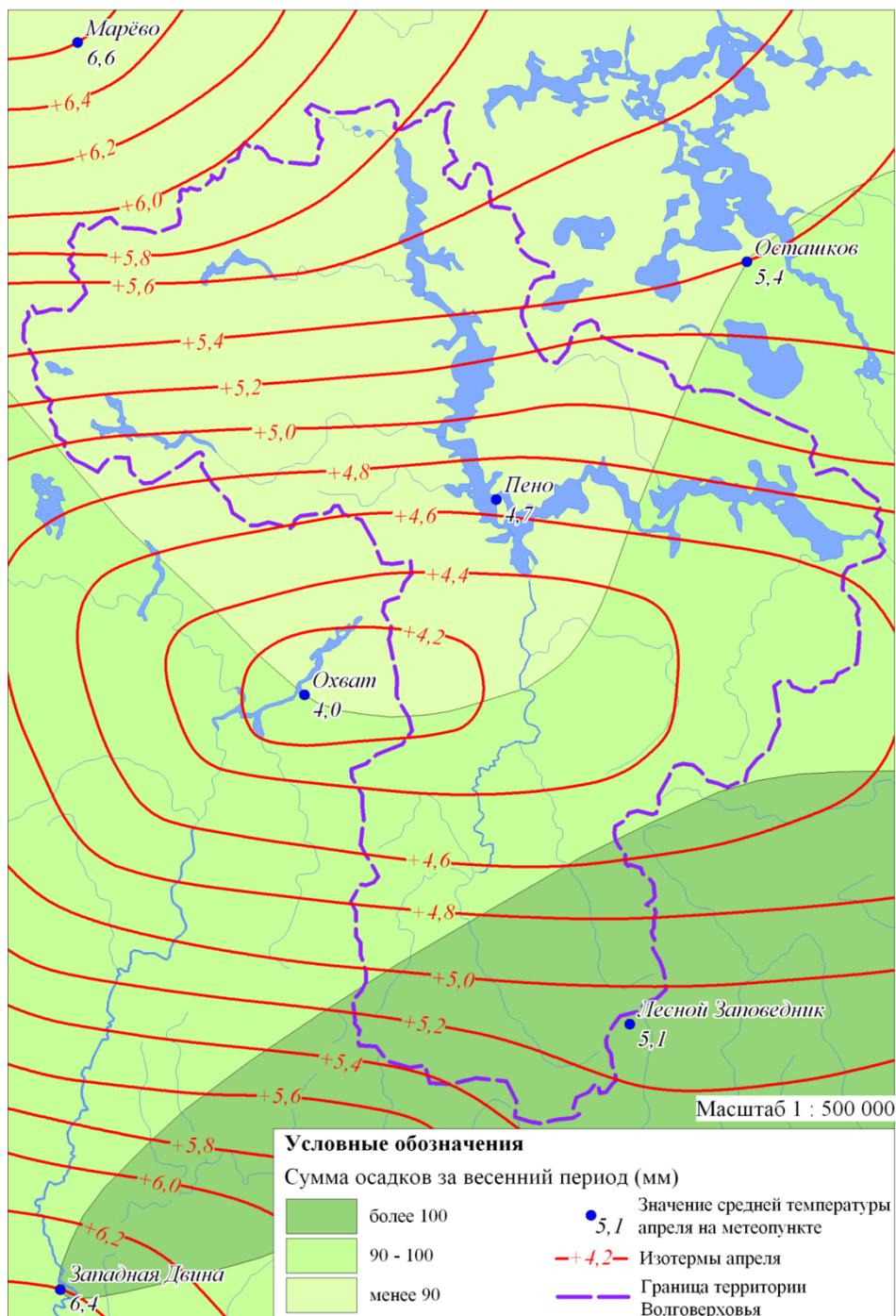
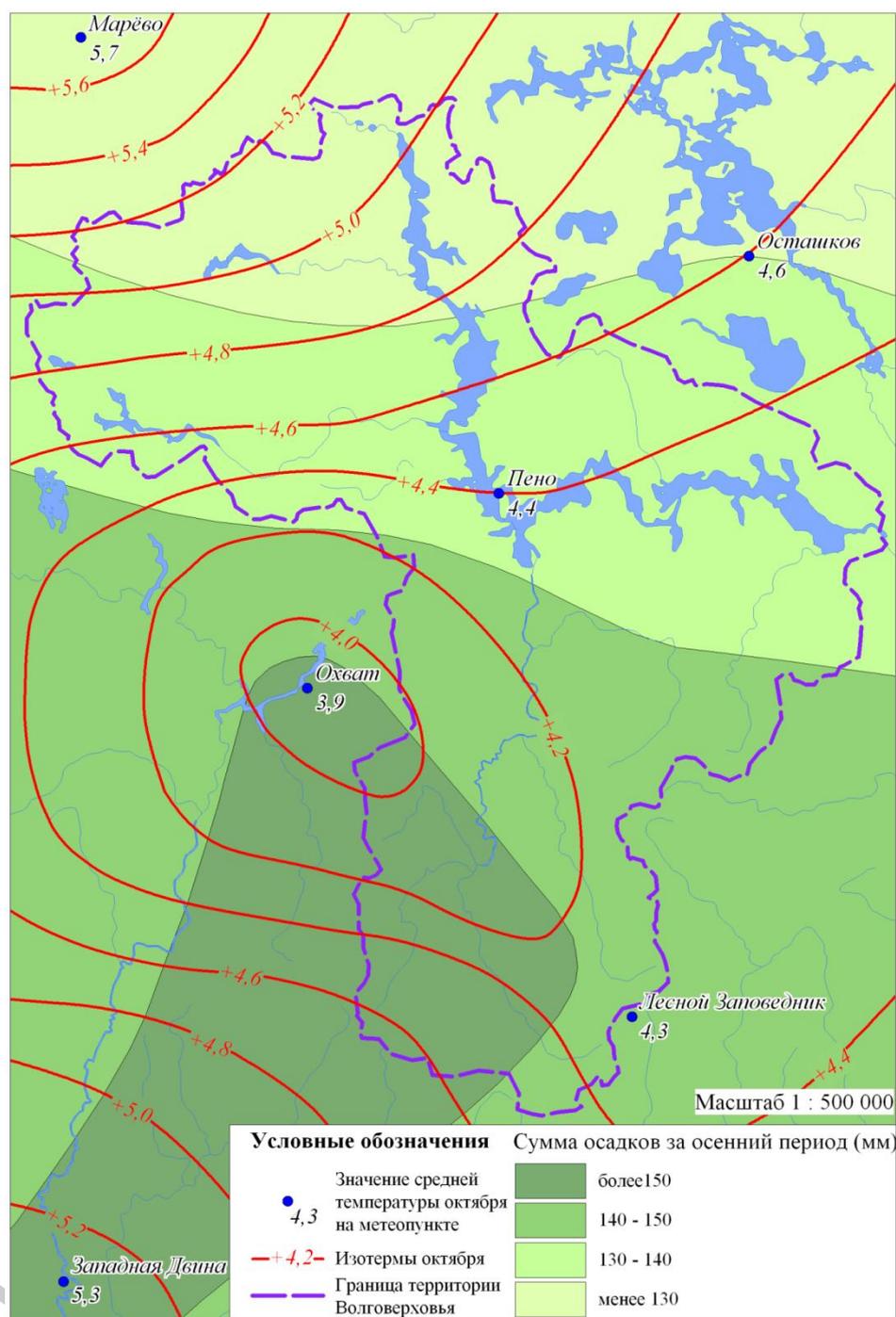


Рис. 8. Уменьшенное изображение карты среднегодовой температуры воздуха и сумм осадков территории Волговерховья

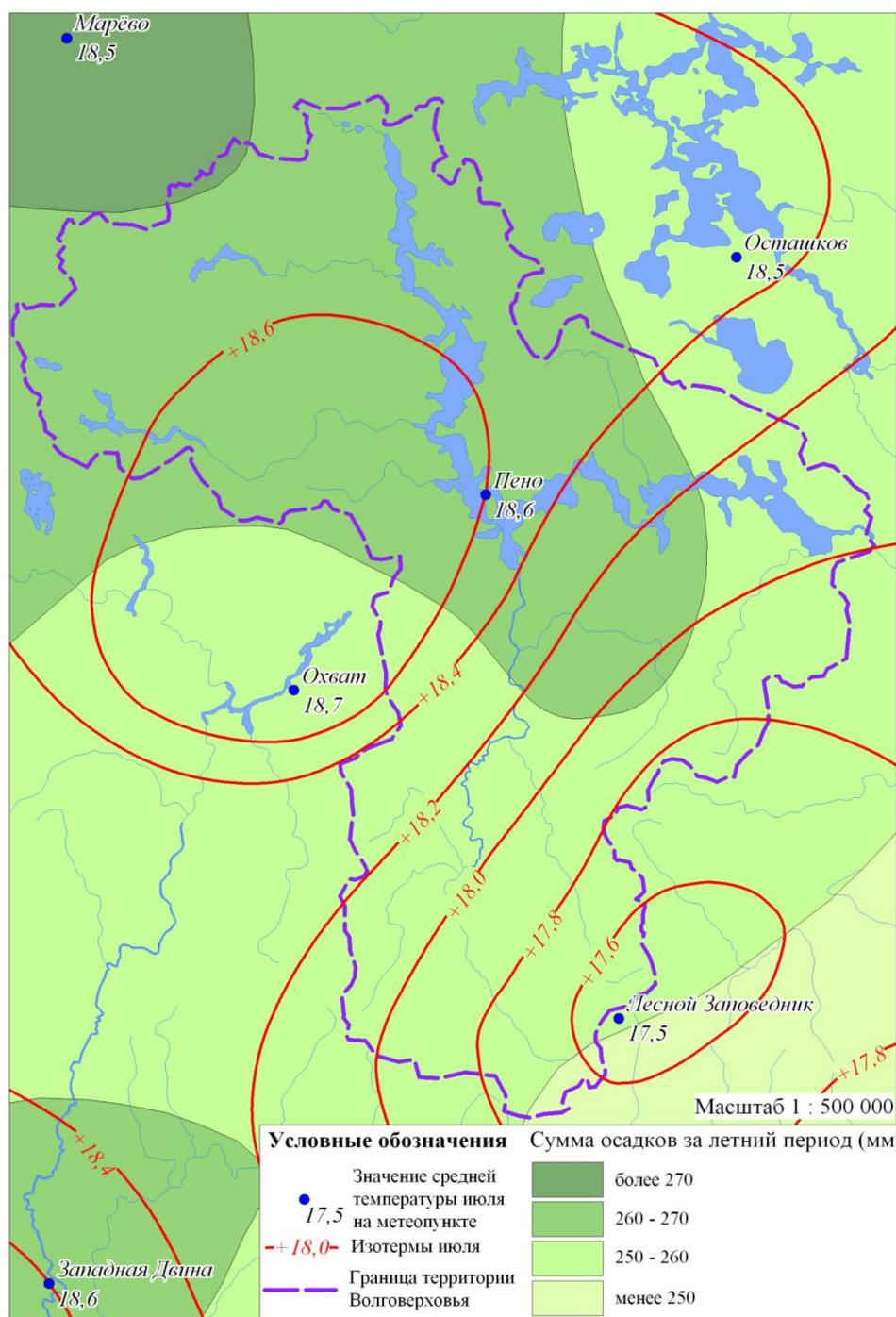
Наука



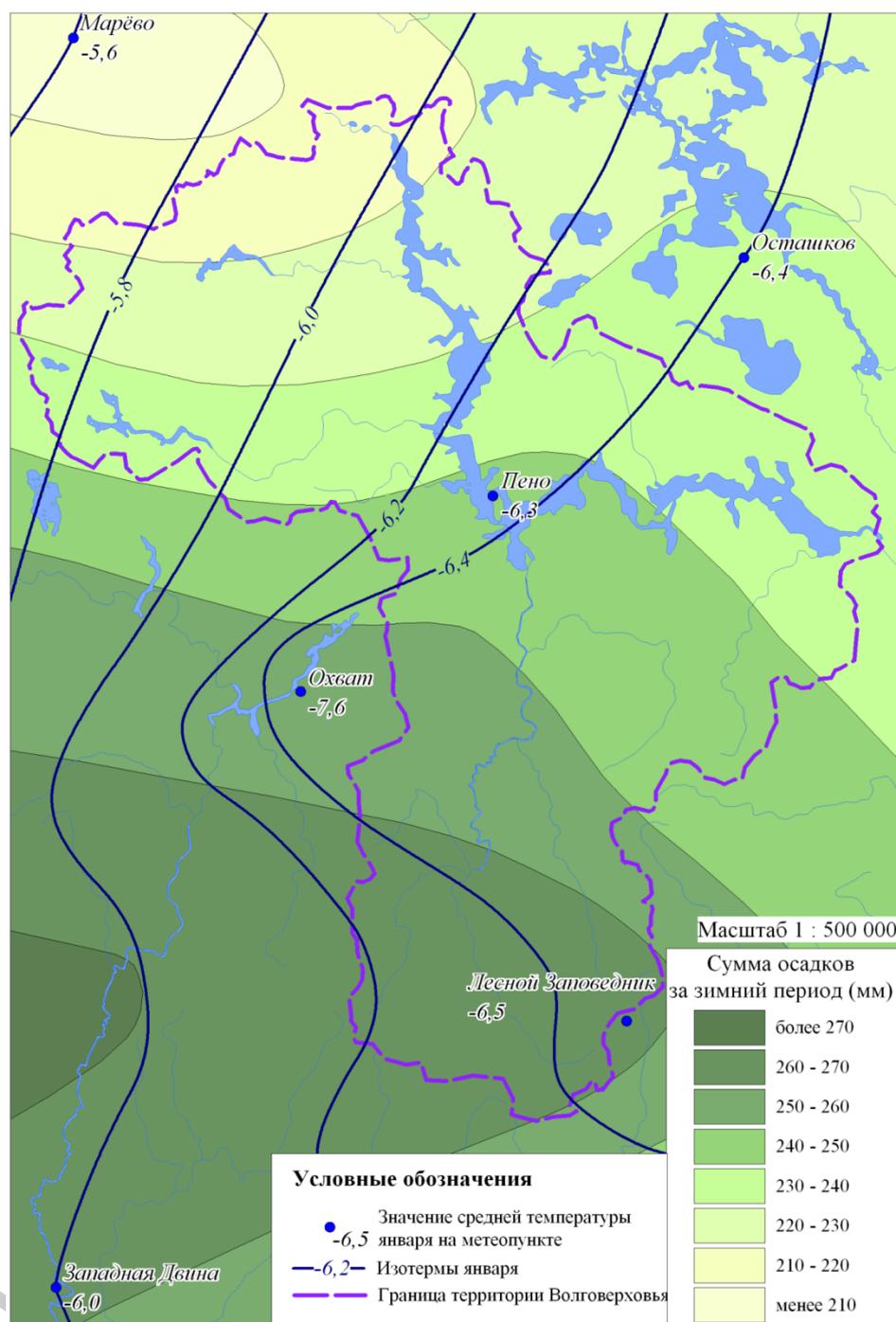
Р и с . 9. Уменьшенное изображение карты средних температур и сумм осадков территории Волговерховья по сезонам (весна)



Р и с . 1 0 . Уменьшенное изображение карты средних температур и сумм осадков территории Волговерховья по сезонам (осень)



Р и с . 1 1 . Уменьшенное изображение карты средних температур и сумм осадков территории Волговерховья по сезонам (лето).



Р и с . 1 2 . Уменьшенное изображение карты средних температур и сумм осадков территории Волговерховья по сезонам (зима)

- Лето (рис. 11). Изотермы проходят в субмеридиональном направлении (юго-запад – северо-восток). Минимальные температуры прослеживаются в Лесном Заповеднике, можно сказать, что в летний сезон область пониженных температур переместилась к юго-востоку. В летний сезон осадки меняют характер распространения и увеличиваются к северу, а не к югу как в остальные сезоны. Максимальные суммы осадков выпадают в северной и центральной частях территории над оз. Пено, Вселуг, в низовьях р. Жукопы (260–270 мм и более); к востоку и к югу территории суммы осадков снижаются (250–260 мм и менее).

- Зима (рис. 12). Зимой изотермы января проходят с севера на юг, меридионально. В Охвате сохраняется область пониженных температур (холоднее на 1–1,5 °С). Однако эту область обозначить изотермами не удалось. Причиной послужил тот факт, что к востоку от Охвата сеть метеопунктов сильно разрежена и удаленные метеостанции, по-видимому, находятся уже вне области пониженных температур. Поэтому рисунок изотерм не может быть определен без дополнительной организации наблюдательных пунктов. На построенной карте ближайшей изотермой к посту Охват является изотерма -6,4°С, тогда как на посту наблюдается температура -7,6 °С, что на 1,2 °С ниже. Сумма осадков в зимний период изменяется с севера на юг от 210–220 мм до 260–270 мм.

Возможные причины нахождения области пониженных температур в районе метеопунктов Охват и Лесной Заповедник:

- местность, где расположены метеопункты, покрыта лесной растительностью (преимущественно хвойной), которая не дает сильно прогреваться территории;

- гидропост Охват расположен на юго-восточном берегу одноименного озера, которое в районе поста имеет ширину 0,4 км, что может явиться причиной более низких температур воздуха в районе поста;

- точность измерений температуры воздуха на гидропостах составляет 0,5°С в отличие от 0,1 °С на метеостанциях, но следует отметить, что разница в температурах обнаруженной области превышает значения возможной погрешности;

- на гидропостах температура воздуха измеряется только в два срока, в отличие от 8 на метеостанции, но так как наличие холодной области подтверждается и на станции Лесной Заповедник, по-видимому, этот факт не является определяющим.

По результатам проведенной работы были сделаны следующие основные выводы:

- среднегодовые и среднемесячные значения температуры воздуха претерпели довольно значительные изменения в сторону потепления в течение последних 22 лет;

- средние температуры воздуха периода 1990–2011 гг. повысились на 1-1,5 °С. Так, для станции Осташков среднемноголетняя температура за период 1990–2011 гг. составляет 5,0 °С, а за период 1961–1990 гг. – 3,9 °С, период 1881-1960 гг. – 3,4 °С. При этом особенно сильно потепление проявляется зимой;

- наблюдается рост температур всех месяцев, кроме мая, октября и ноября. При этом зимние и весенние температуры воздуха выросли значительно, чем летние и осенние. Так, по станции Осташков наблюдается рост температур зимних календарных месяцев в среднем на 2,2°С, весенних – на 1,6°С, летних – на 1,3 °С, осенних – на 0,5 °С;

- несмотря на высокие значения зимних температур, по сравнению с 80-летним и 30-летним рядами наблюдений, среди них наблюдается тенденция к понижению (снижение температур по тренду на 0,2–0,3 °С), тогда как в другие сезоны года тенденция к потеплению сохраняется;

- на построенных картах выявляется область с пониженными температурами в районе метеопунктов Охват и Лесной Заповедник, которая в течение года несколько изменяет свою форму и смещается; возможными причинами ее образования являются особенности подстилающей поверхности территории;

- за период с 1990 г. по настоящее время плотность метеостанций и метеопостов в Тверской области продолжает сокращаться, поэтому созданные карты имеют долю субъективности. Однако использование математических методов для продления и восстановления рядов метеорологических данных повышает качество и достоверность карт.

Список литературы

1. Анисимов О.А. и др. Гидрометеорологические условия Волжского региона и современные изменения климата // Метеорология и гидрология. 2011. №5. С. 33–42.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2009. №11. С. 15-29.
3. Золотов А.А., Щербаков А.Ю. Математические методы в географии: учеб. пособие. Калинин, 1989.
4. Лазарев О.Е., Тищенко Н.Н. Анализ многолетних метеорологических данных на территорию Волговерховья // Актуальные проблемы геоэкологии. Тверь, 2002. С. 181–182.
5. Лобанов В.А. и др. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2005. N 2. С. 5–14.

6. Тищенко Н.Н. Системная обусловленность учебно-научного полигона «Волговерховье» // Геоэкология и рациональное природопользование: материалы науч. конф., посв. 15-летию кафедры картографии и геоэкологии, 28–29 мая 2005. Тверь, 2005. С.147–149.

THE STUDY OF TEMPERATURE RATE AND PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF THE UPPER VOLGA RIVER WITH THE USAGE OF THE MODERN METEOROLOGICAL DATA

O.E. Lazarev, I.A. Martyanova

Tver State University, Tver

The problems of climatic changes on territory of the upper Volga are considered in this article. The analysis of the intra-and inter-annual changes of temperature rate from 1990 to 2011 is represented in this article. The main regularities of distribution of a precipitation on this territory are revealed. The series of climatic maps according to the modern meteorological data is made.

Keywords: *climate change, warming, temperature rate, the upper Volga river.*

Об авторах:

ЛАЗАРЕВ Олег Евгеньевич - старший преподаватель кафедры физической географии и экологии, исполнительный директор ООО «Верто».

МАРТЬЯНОВА Ирина Анатольевна - магистрант 1 курса обучения направления «Экология и природопользование».