

## **Гидрометеорологические условия Волжского региона и климатические изменения последних 25-30 лет**

Анисимов<sup>1</sup> О.А., Борзенкова<sup>1</sup> И.И., Жильцова<sup>1</sup> Е.Л., Захарова<sup>1</sup> О.К., Кокорев<sup>1</sup> В.А., Ренёва<sup>1</sup> С.А. и Стрельченко<sup>1</sup> Ю.Г.

<sup>1</sup> - ГУ «Государственный Гидрологический институт», E-mail: [oleg@oa7661.spb.edu](mailto:oleg@oa7661.spb.edu)

Режим увлажнения Волжского региона, включающего бассейн Волги и прилегающие территории, часто рассматривается в связи с изучением причин колебаний уровня Каспийского моря, и этому вопросу посвящена обширная библиография [3, 9, 10, 11, 14, 15]. Изучение закономерностей изменения стока Волги на основе анализа современных метеорологических данных [5, 14, 15], макроциркуляционных процессов [3, 9] и моделирования составляющих водного баланса на перспективу [2, 4, 15] показало не только возможность использования различных подходов к решению этой проблемы, но и необходимость такого их многообразия. Основной причиной этого является значительная неопределенность прогнозов изменения увлажнения для больших территорий, в частности, изменения количества осадков и стока.

Бассейн Волги, расположенный в центре Европейской части России, имеет огромное значение для развития экономики всей страны. Водные ресурсы Волжского бассейна, составляющие всего около 5% от водных ресурсов всей России, несут на себе огромную антропогенную нагрузку из-за большой заселенности и высокого экономического потенциала этого региона [13]. По климатическим условиям обширную территорию бассейна можно разделить на три зоны: Верхнюю Волгу, Среднее Поволжье и Нижнее Поволжье. Климат Верхней и Средней Волги умеренно - континентальный с холодной зимой и сравнительно теплым летом. Район находится под влиянием западно-восточного переноса с достаточно активной циклонической деятельностью, с преобладанием воздушных масс Атлантики и с частыми арктическими вторжениями. Для Нижнего Поволжья характерна большая повторяемость воздушных масс, формирующихся в центральных районах Азиатского континента. Эти воздушные массы отличаются сильным выхолаживанием в зимнее время (сибирский антициклон) и высокими температурами летом. Климат Нижней Волги характеризуется жарким летом и относительно короткой, но холодной зимой. В зимнее время на Верхнем и Среднем Поволжье преобладает циклоническая деятельность с западными и северо-западными вторжениями. В Нижнем Поволжье в зимнее время среднее число дней с антициклонической деятельностью почти в 2 раза больше, чем с циклонической. Влияние сибирского антициклона имеет место более чем в 70% случаев, в остальных случаях оказывают влияние южные циклоны. Особенностью летней циркуляции для всего Волжского региона является преобладание меридионального типа над зональным.

Происходящее в последнее время изменение глобального климата проявилось и в этом регионе. Так, начиная с 1980х годов наблюдается постепенное увеличение стока Волги, наиболее выраженное в зимний период. Характерной чертой, которую следует отметить, является высокая межгодовая изменчивость режима увлажнения, во многом обусловленная особенностями атмосферной циркуляции отдельных лет. В последующей части статьи дается количественный анализ современных наблюдаемых изменений гидротермического режима бассейна Волги на основе данных о месячной температуре воздуха, осадках и о формах атмосферной циркуляции.

В последние годы во многих исследованиях климатических изменений часто используются глобальные сеточные архивы, полученные интерполяцией данных наблюдений на метеостанциях, либо посредством модельного реанализа. В нашей

предшествующей работе [8] были рассмотрены наиболее распространенные сеточные архивы месячной дискретности университета Восточной Англии CRU TS 2.1 и университета Делавера, основанные на интерполяции данных наблюдений, а также два архива, полученные при помощи модельного реанализа (ERA-40 и NCEP-1). Было показано, что все они воспроизводят данные наблюдений температуры и осадков на территории России с существенными погрешностями, причем смещения оценок часто имеют характерные пространственные распределения. С учетом выводов этой работы мы отказались от использования сеточных архивов при анализе современных изменений температуры и осадков в бассейне Волги и использовали данные измерений на сети из 455 метеостанций на территории бывшего СССР. Этот архив температуры воздуха и осадков месячной дискретности в настоящее время доступен на вэб-сайте ВНИИГМИ МЦД. Первоначально он был собран, контролировался и вплоть до настоящего времени поддерживается Институтом глобального климата и экологии, в связи с чем во многих российских и зарубежных публикациях он обозначается как архив Г.В. Грузы. Максимальный период охвата во времени этого архива с 1886 по 2008 г., при этом большинство метеостанций имеют по меньшей мере столетнюю продолжительность рядов наблюдений. Из этого архива была сделана выборка из 66 станций, среди которых 42 расположены непосредственно в бассейне Волги и 24 на примыкающих к нему территориях.

Данные наблюдений на метеостанциях были использованы для сравнительной оценки гидротермического режима бассейна Волги в условно стационарный период и в среднем за последние три десятилетия. В гидрологии условно-стационарным обычно принимают период до конца 1970х годов, поскольку в рядах речного стока отсутствовали сколько-нибудь значимые изменения [5, 14,15]. В последующие три десятилетия сток многих рек заметно изменился, большей частью в сторону увеличения. Для сопоставимости с результатами иных гидрологических исследований все расчеты были выполнены для двух периодов 1946-1977 и 1978-2006 гг.

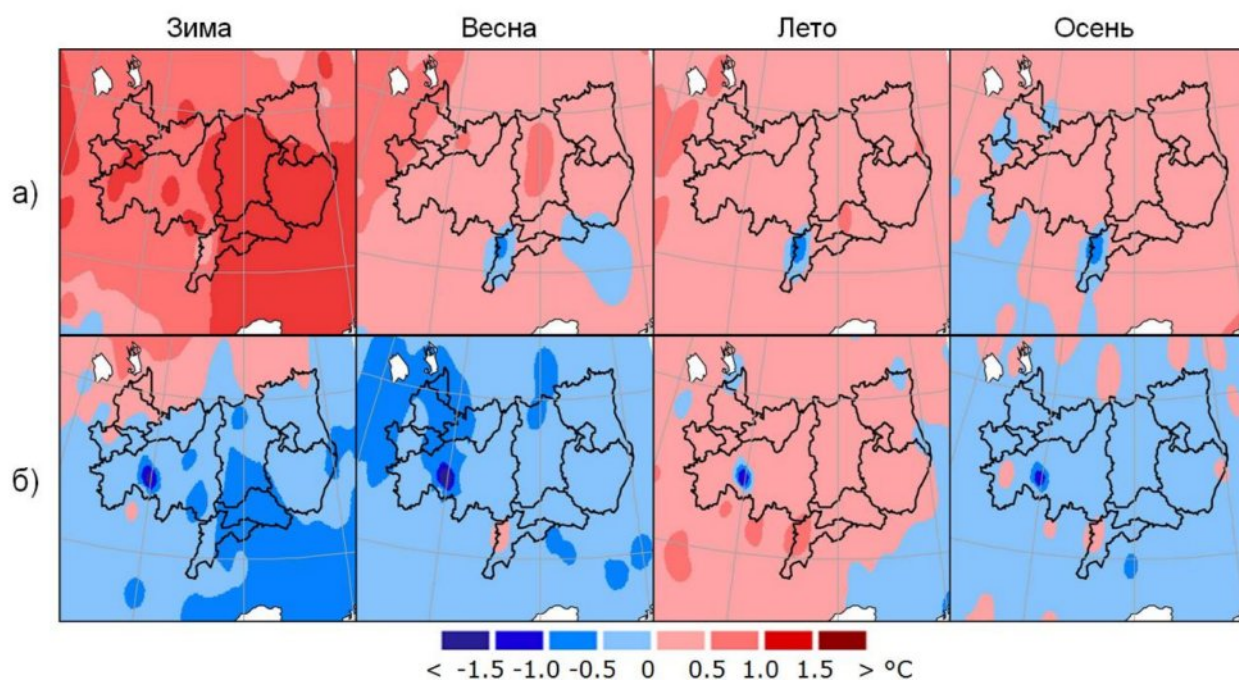


Рис.1. Аномалии средней температуры воздуха для зимы (декабрь-февраль), весны (март-май), лета (июнь-август) и осени (сентябрь-ноябрь) по отношению к норме 1961-1990 гг. для периодов 1978-2006 гг. (а) и 1946-1977 гг. (б).

Как видно из рис.1, где представлены аномалии температуры воздуха на территории Волжского бассейна для четырех сезонов года, для второго периода (1978-2006) отмечается заметное увеличение температур во все сезоны, кроме летнего. Наиболее значительное потепление произошло на востоке и северо-востоке Волжского региона, где зимние и осенние температуры увеличились более чем на 2°C. Максимальное увеличение температур воздуха имело место в январе и феврале в последние два десятилетия. В последние 30 лет изменения летней температуры были сравнительно невелики. Начиная с 2000-х годов слабые отрицательные аномалии, характерные для 80-х годов прошлого столетия, сменились небольшими положительными. Максимальное повышение летних температур (до 2°C) отмечалось в июле только на крайнем северо-западе Волжского региона, в то время как в августе в среднем за последние 30 лет сохранялись слабые отрицательные аномалии.

Анализ атмосферных осадков показал, что в целом для территории региона за последний период характерно преобладание положительных аномалий разной интенсивности, как в зимний, так и в летний сезоны (Рис.2). В среднем за период 1978-2006 гг. практически весь Волжский бассейн в зимние месяцы находился в области небольших положительных аномалий, при этом отмечалась некоторая тенденция к увеличению осадков в феврале и марте. Летом величины аномалий осадков значительно больше и картина их распределения мозаичнее, что объясняется особенностями летней циркуляции (заметно выше роль внутримассовых процессов по сравнению с процессами на полушарии). При этом на всей территории региона в теплое время года в основном преобладали положительные аномалии, наибольшие их значения отмечались в июне (20-30 мм/мес и более), в то время как в июле имела место тенденция уменьшения количества осадков. При этом с начала 2000-х годов на большей части Волжского региона имели место отрицательные аномалии осадков (до 20-30 мм/мес).

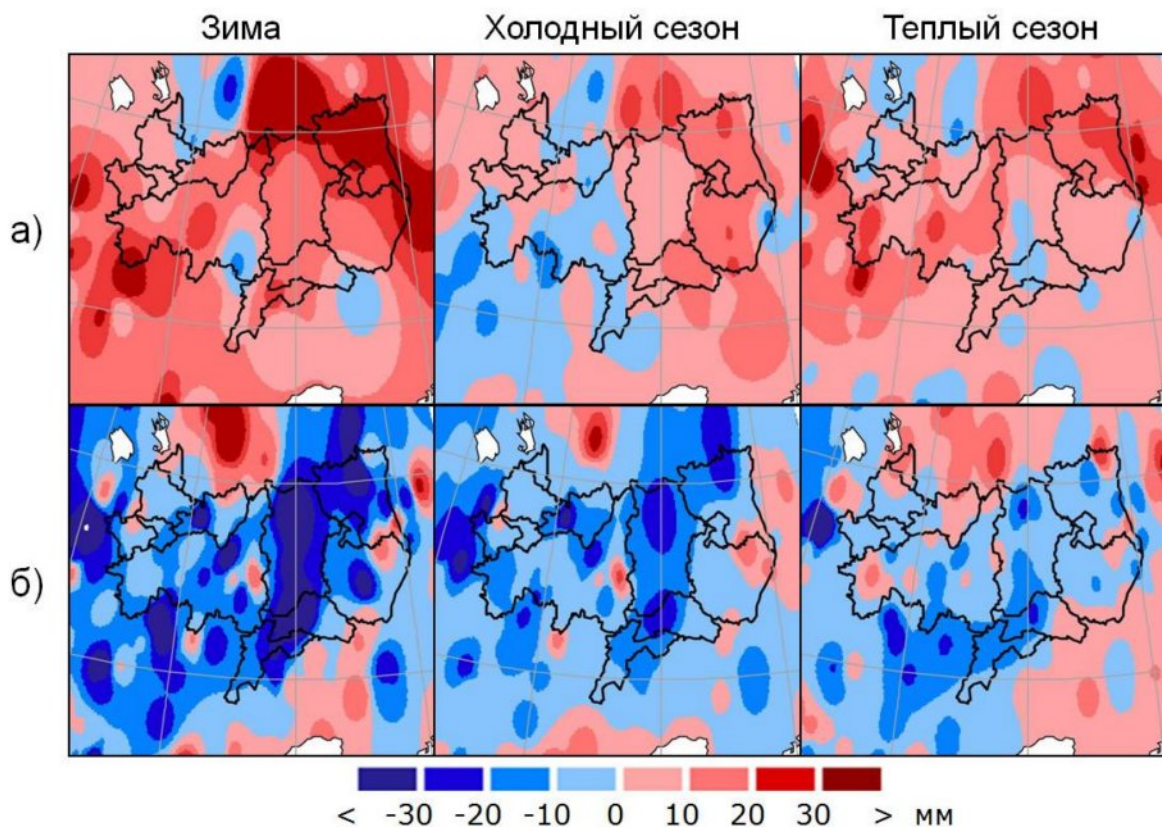


Рис.2. Аномалии сумм осадков для года, теплого (май-сентябрь) и холодного (ноябрь-март) сезонов по отношению к норме 1961-1990 гг. для периодов 1978-2006 гг. (а) и 1946-1977 гг. (б).

Более детальный анализ, выполненный на основе данных об изменении температуры воздуха и осадков суточной дискретности (в данной статье эти результаты не приводятся), позволяет говорить об изменчивости этих параметров не только от месяца к месяцу, но и внутри каждого месяца, от декады к декаде. Такая изменчивость свидетельствует, прежде всего, о том, что на температурный режим и режим увлажнения определяющее влияние в этом временном масштабе оказывает атмосферная циркуляция. По этой причине нами была предпринята попытка выявить пространственные закономерности полей температуры и осадков, обусловленные сменой мод атмосферной циркуляции. Для этого целесообразно использовать классификации макромасштабных циркуляционных форм, разработанные более 60 лет назад в работах Вангенгейма и Гирса [6] и Дзердзеевского [7]. Обе эти классификации основаны на анализе пространственных закономерностей распределения типичных барических образований во всем северном полушарии.

Для установления зависимостей между атмосферной циркуляцией и пространственным распределением аномалий температуры воздуха и осадков были использованы данные суточного разрешения по формам циркуляции по классификации Вангенгейма – Гирса [6], основанной на анализе пространственных закономерностей распределения типичных барических образований во всем северном полушарии, за период 1891-2008 гг. и данные месячного разрешения по температуре и осадкам по Волжскому региону из архива Грузы. Основопологающей гипотезой для этого анализа является предположение о том, что каждой из циркуляционных форм соответствует вполне определенная и достаточно устойчивая пространственная картина распределения аномалий температуры воздуха и осадков, осредненных за отдельные месяцы или сезоны года. Для проверки этой гипотезы использовались дискретные ряды лет, в которых повторяемость какой-либо одной из циркуляционных форм в заданный месяц или сезон превышала 50%. Повторяемость здесь и далее определяется как отношение суммарного числа дней с данной формой циркуляции к общему числу дней в рассматриваемый период (месяц или сезон), выраженное в процентах. Также был рассмотрен ряд оставшихся лет, когда ни одна из форм циркуляции не преобладала. Такие дискретные ряды были составлены для каждого из 12 месяцев, а также отдельно для зимнего и летнего периодов. По этим данным для Волжского бассейна и прилегающих территорий рассчитывались аномалии температуры воздуха и атмосферных осадков по отношению к нормам за период 1961-1990 гг. Карты аномалий температуры воздуха для января и июля в зависимости от формы циркуляции представлены на рис.3(а). Месячная дискретизация была выбрана для того, чтобы обеспечить достаточную продолжительность рядов с преобладанием каждой из циркуляционных форм. Анализ карт позволяет выделить устойчивые закономерности пространственного распределения аномалий температур и осадков на территории России, существенно различающиеся для трех форм циркуляции. Выделенные по месячным данным закономерности характерны также и для сезонов в целом, однако при сезонном осреднении продолжительность некоторых дискретных рядов весьма невелика, что затрудняет анализ. Отметим некоторые характерные черты выявленных закономерностей, которые в значительной степени определяют изменчивость температуры и осадков в Волжском регионе.

В январе при циркуляции W практически на всей территории бассейна преобладают положительные (более 2°C) аномалии температуры. При циркуляции E в северной части бассейна отмечаются незначительные (менее 1°C) положительные аномалии, в то время как на остальной его территории имеют место небольшие

отрицательные аномалии. При преобладании циркуляции С ярко выраженные отрицательные аномалии температуры (до  $-2^{\circ}\text{C}$ ) характерны для всего Волжского региона. Эти данные хорошо согласуются с оценками, сделанными в работах [3, 9, 10], где отмечено наличие положительной корреляции между интенсивностью осадков в бассейне Волги и повторяемостью формы циркуляции W, в то время как корреляция осадков с повторяемостью форм циркуляции С и Е слабая и отрицательная.

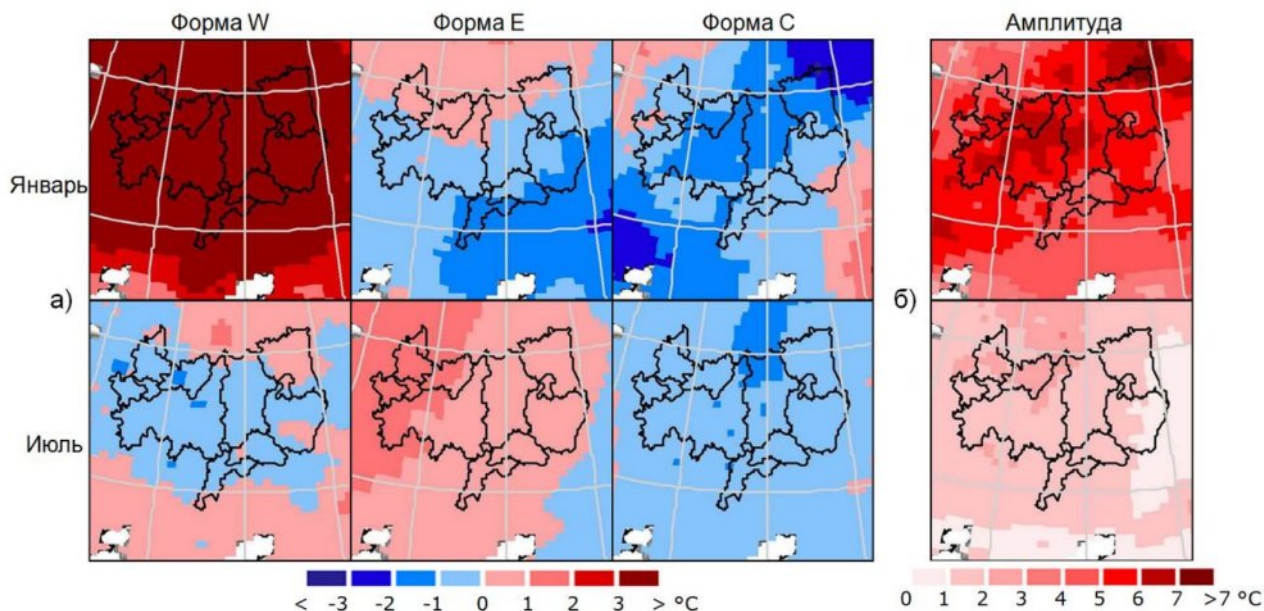


Рис.3. Аномалии температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$  по отношению к норме 1961-90гг.) для дискретных рядов лет с преобладанием (50%) каждой из форм циркуляции W, E, С (а) и амплитуды изменений температуры воздуха, обусловленные преобладанием разных форм циркуляции (б) в январе (W – 32 года, E – 39, С – 10) и июле (W – 14, E – 47, С – 26).

В июле картина распределения температурных аномалий имеет более сложный и неоднозначный характер, прежде всего из-за меньшей изменчивости температуры в летний период. Можно отметить, что при форме Е весь регион находится в зоне положительной аномалии, а при формах W и Е – отрицательной.

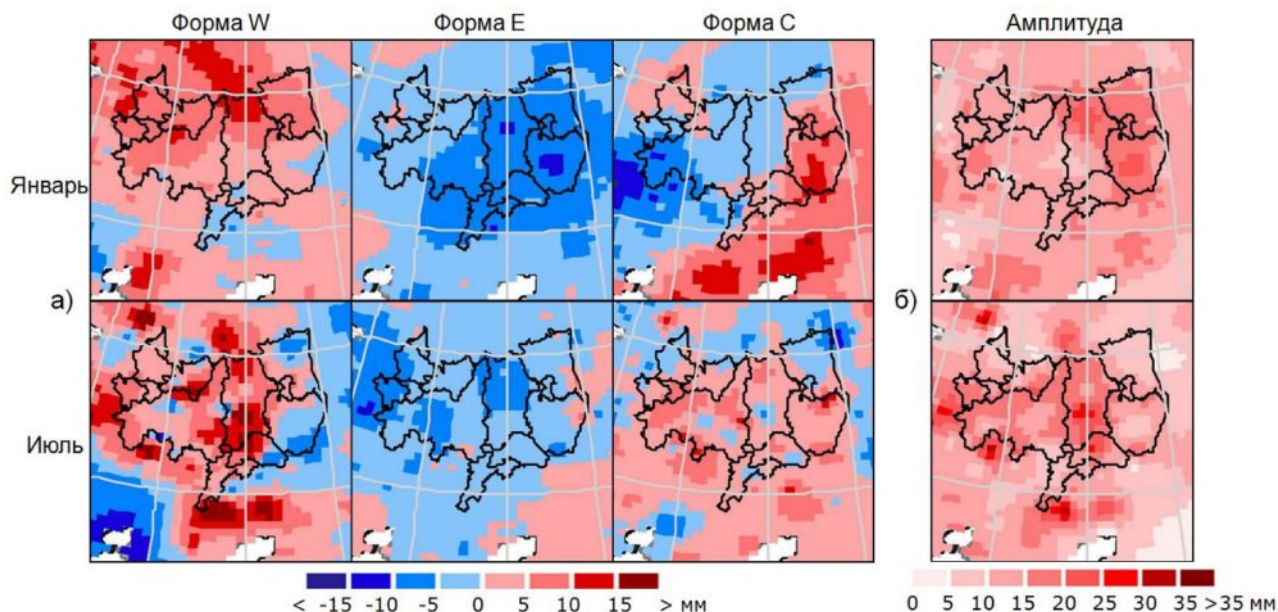


Рис.4. Аномалии сумм осадков (мм по отношению к норме 1961-90гг.) для дискретных рядов лет с преобладанием (50%) каждой из форм циркуляции W, E, C (а) и амплитуды изменений сумм осадков, обусловленные преобладанием разных форм циркуляции

На рис.4(а) представлены месячные суммы осадков, осредненные по годам с преобладанием одной из трех форм циркуляции. Как видно из этого рисунка, распределение осадков носит более сложный характер по сравнению с полем температуры. Величины летних аномалий осадков заметно больше, чем зимних. Зимой при циркуляции W на большей части бассейна, за исключением юга, отмечается слабая положительная аномалия, при циркуляции E – слабая отрицательная. В случае преобладания циркуляции C – большая часть бассейна находится в области отрицательных аномалий, небольшие положительные аномалии отмечаются только на крайнем западе и юго-востоке региона. Летом при форме W большая часть территории находится в зоне положительных аномалий, наибольшие аномалии осадков (до 20-30 мм/мес) отмечаются на юге Камского бассейна, в бассейне Оки, наоборот, имеет место снижение осадков. При форме E практически вся территория, за исключением крайнего юга, находится в зоне отрицательных аномалий осадков, максимальные значения которых (до 20-30 мм/мес) отмечаются в западной части бассейна р. Камы. При форме C бассейны Камы и Нижней Волги находятся в зоне положительной аномалии (до 30 мм/мес) осадков, в то время как бассейны Верхней Волги и Оки – в зоне отрицательной.

На рисунке 3(б) и 4(б) приведены карты, позволяющие оценить средние показатели изменчивости температуры воздуха и осадков при смене циркуляционных форм, определяемые как наибольшая разность месячных температур и осадков, соответствующих различным парам мод атмосферной циркуляции (т.е. разности карт W, E и C). Как видно из рисунка 3(б), изменчивость температуры, обусловленная сменой циркуляционных форм, имеет явно выраженный сезонный ход и географическое распределение. Максимальная амплитуда изменения температуры при смене типа циркуляции отмечается в зимнее время и достигает 7°C в центральной части бассейна Волги, минимальные изменения имеют место летом, когда перепады температуры при смене циркуляционных форм на большей части бассейна не превышают 2°C и лишь в северной его части достигают 3 °C.

Возможные амплитуды изменения зимних и летних осадков представлены на рисунке 4(б), из которого следует, что зимой (январь) изменчивость осадков, обусловленная сменой циркуляционных форм, в бассейне Волги может достигать 25 мм/мес. Летом (июль) изменчивость осадков даже несколько больше, в отдельных районах амплитуды достигают 30 мм/мес и больше. В летнее время картина распределения амплитуд осадков при смене циркуляционных форм более мозаичная, что свидетельствует о значительной роли местных условий.

Полученные результаты можно использовать для уточнения прогнозов по гидродинамическим моделям на интервалах времени порядка одного-двух десятилетий. На таком временном интервале наряду с процессами синоптического масштаба, воздействие которых на поля температуры и осадков обобщенно отражено на представленных выше картах, может оказывать воздействие долгопериодная составляющая изменения климата. Ее можно оценить при помощи гидродинамического моделирования и на относительно небольшом интервале времени характеризовать линейным региональным трендом. Вместе с тем, даже при экстремальных сценариях выбросов парниковых газов, изменение температуры и осадков в десятилетнем временном масштабе, обусловленные долгопериодными климатическими изменениями, будут значительно меньше аномалий, определяемых циркуляционными факторами.

Совершенно очевидно, что изменчивость климата (или декадные изменения климата) в значительной степени определяются преобладанием той или иной циркуляционной моды и смена её может происходить в течение очень короткого времени и приводить к резким изменениям гидротермического режима. Таким образом, неопределенность прогноза декадной климатической изменчивости во многом связана с повторяемостью различных форм циркуляции, прогнозировать которую на десятилетние интервалы времени можно лишь экстраполяционными методами, используя данные за предшествующий период. Именно такой метод широко используется при составлении долгосрочных прогнозов погоды на сезон. Известно, что, начиная с 80-х годов прошлого столетия, происходило постепенное увеличение повторяемости формы зональной циркуляции W и уменьшение формы E, при этом повторяемость формы C также увеличивалась, но она оставалась заметно ниже первых двух форм [1, 12]. До начала 21 века этот процесс был характерен для всех сезонов года. В последующем в зимний период наметилась обратная тенденция, т.е. уменьшение повторяемости формы W и увеличение повторяемости E при том, что в настоящее время обе формы имеют приблизительно равную повторяемость зимой (порядка 40%). Это дает основание полагать, что в ближайшее десятилетие в полях аномалий температур и осадков преобладающие в настоящее время закономерности, характерные для формы W, будут постепенно вытесняться во многом противоположными им закономерностями, выявленными для формы E. Максимальные изменения гидротермического режима, обусловленные сменой форм циркуляции, можно оценить, используя карты на рисунках 3(б) и 4(б). Эти данные существенно расширяют возможность оценки последствий изменений климата по сравнению с использованием только лишь результатов физически полных гидродинамических моделей.

Авторы выражают признательность сотрудникам отдела долгосрочных прогнозов Арктического и Антарктического института Росгидромета за предоставление данных о формах атмосферной циркуляции и персонально Г.В. Груза за предоставление обновленных данных по температуре и осадкам. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 07-05-00209 и 09-05-13544.

#### Литература

1. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. и Захарова О.К. 2010. Анализ и прогноз пространственных закономерностей полей температуры воздуха и осадков с учетом атмосферной циркуляции: применение в экосистемном моделировании. В сб.: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем, т. XXII. Ю.А. Израэль (ред.), (в печати).
2. Арпе К., Спорышев П.В., Семенов В.А., Бенгтссон Л., Голицын Г.С., Елисеев А.В., Мелешко В.П., Мещерская А.В. и Мохов И.И. Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы. В сб.: Изменения климата и их последствия. СПб., «Наука», 2002, с.165-179.
3. Бабкин В.И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической активности. Метеорология и гидрология, 1995, № 1, с.94-100.
4. Борзенкова И.И. и Лемешко Н.А. 2005. Водный баланс бассейна Волги в начале XXI века (на основе палеоклиматических сценариев). Метеорология и гидрология, 2005, №7, с.52-60.
5. Водные ресурсы России и их использование. 2008. И.А.Шикломанов (Ред.), С.Пб.: Гидрометеоиздат, 600 с.
6. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. 1960, Л.: Гидрометеоиздат, 216 с.
7. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в 20 столетии. 1968, М.: Наука, 197 с.

8. Жильцова Е.Л. и Анисимов О.А. 2009. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальным климатическим архивом. *Метеорология и Гидрология*, №10, с.79-89.
9. Кондратович К.В. Антропогенные геофизические и космические факторы изменения циркуляционных эпох и уровня Каспия. *Водные ресурсы*, 1994, № 6, т. 21, с.623-630.
10. Малинин В.И. 1994. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб.: Гидрометеиздат, 158 с.
11. Мещерская А.В., Голод М.П. и Белянкина И.Г. 2002. Колебания уровня Каспийского моря в связи с особенностями общей циркуляции атмосферы в XX веке. В сб.: *Изменения климата и их последствия*. СПб.: Наука, с.180-194.
12. Сидоренков Н.С. и Орлов И.А. 2008. Атмосферные циркуляционные эпохи и изменение климата. *Метеорология и гидрология*, 2008, № 9, с.22-28.
13. Смирнов Н.П. и Малинин В.Н. 1988. Водный баланс атмосферы как гидрологическая задача. Л: Изд-во ЛГУ, 197 с.
14. Шикломанов И.А. и Георгиевский В.Ю. 2002. Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы. В сб.: *Изменения климата и их последствия*. СПб.: Наука, с.152-164.
15. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. 2000. Сток реки Волги и уровень Каспийского моря: влияние естественных и антропогенных факторов - Международный научно-промышленный форум «Великие реки –2000». Н.Новгород. ННГАСУ, с.45-48.

### **Реферат**

Представлены карты аномалий сезонных температур воздуха и осадков, осредненные по всему Волжскому региону и прилегающей к нему территории, для двух временных периодов 1946-1977 и 1978-2008гг. Показано, что существуют значительные различия в термическом режиме и режиме увлажнения Волжского региона для этих двух периодов. Обсуждается связь между изменением температуры и осадков с формами циркуляции по классификации Вангенгейма-Гирса и возможность использования этих данных для уточнения климатических сценариев, получаемых на основе физически полных гидродинамических моделей.

### **Abstract**

Maps contrasting the air temperature and precipitation in the periods 1946-1977 and 1978-2008 have been developed for the Volga river basin. Analysis indicated significant difference in the thermal regime and precipitation between the two periods. The paper discusses the effect of changes in the modes of atmospheric circulation on the spatial patterns of air temperature and precipitation and concludes that such relations may be used to adjust the climate projections derived from GCMs.