

## Тенденции зимнего увлажнения территории бассейнов Северной Двины и Печоры в XX – начале XXI вв. по наземным и спутниковым данным

Е. А. Черенкова

*Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия*  
*E-mail: cherenkova@igras.ru*

Исследованы тенденции атмосферных осадков зимой в бассейнах рек Северная Двина и Печора в XX – начале XXI вв. Установлено, что в период 1901–1990 гг. преобладали значимые положительные коэффициенты трендов зимних осадков со средней скоростью роста 1,4 мм/10 лет на территории бассейна Северной Двины и 4,6 мм/10 лет — в бассейне Печоры. В 1990-х гг. произошла смена знака тренда, обусловленная уменьшением количества зимних осадков, о чём свидетельствуют как наземные, так и спутниковые данные. В 1991–2015 гг. осадки убывали со скоростью 0,6 мм/10 лет в бассейне Северной Двины и 3,1 мм/10 лет — в бассейне Печоры. Снижение количества зимних осадков в бассейне Северной Двины в течение пятнадцати лет с начала текущего столетия произошло в основном за счёт изменений осадков на востоке бассейна. В то же время наиболее значимые изменения осадков в бассейне Печоры происходили в его центральной части. Показано, что число зимних дней с положительными температурами возросло с 1991 г. на территории обоих рассмотренных бассейнов. Увеличение числа дней с оттепелями в период 1991–2015 гг. (по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг.) на метеостанциях в бассейне Северной Двины было более существенным, чем в бассейне Печоры, и составляло в среднем один день. Несмотря на то, что в 2001–2015 гг. практически всеми метеостанциями зафиксировано сокращение величины снеготазпасов, наблюдаемого количества дней с оттепелями на севере Европейской территории России ещё недостаточно для активного таяния снега и существенного пополнения зимнего стока рек. О несущественности миграции талой воды на исследуемой территории зимой в период 2001–2015 гг. косвенно свидетельствуют спутниковые данные.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, оттепели, снеготазпасы, дистанционное зондирование, север Европейской территории России, Северная Двина, Печора

Одобрена к печати: 21.06.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-285-292

### Введение

Последние десятилетия XX и начало XXI вв. характеризовались потеплением в зимний период на Европейской территории России (ЕТР), наиболее существенно проявившимся на её севере. Так, скорость роста зимней температуры воздуха в 1976–2012 гг. в Северо-Западном Федеральном округе составила 0,58 °C/10 лет (Второй..., 2014). По данным того же источника, в этот период в регионе также наблюдалась тенденция к увеличению осадков зимой со скоростью 1,3 мм/мес за 10 лет. Согласно данным наблюдений, увеличение максимальных снеготазпасов в 1966–2010 гг. отмечено на севере Восточно-Европейской равнины: в западной части — на 4,5 %/10 лет, в восточной — на 6 %/10 лет (Bulygina et al., 2011). Наибольшее влияние на изменение зимних осадков на территории Северной Европы оказывает Североатлантическое колебание (Hurrell, 2005). Выявлено, что зимой в период 1952–2012 гг. ведущий режим, демонстрирующий положительную статистически значимую связь осадков на севере ЕТР с Североатлантическим колебанием, объясняет 79,1 % общей изменчивости связанных изменений осадков в Европе и высоты геопотенциала на уровне 500 гПа Северного полушария (Черенкова, Семенов, 2017).

Период с середины 1990-х гг. характеризовался устойчивыми положительными аномалиями приповерхностной температуры Северной Атлантики (Sutton, Dong, 2012) и ослаблением зонального переноса (Outten, Esau, 2012). Зимой в то же время наблюдалось уменьшение ледовитости Баренцева моря, ускорившееся в начале XXI в. (Иванов и др., 2013; Semenov et al.,

2015). Исследователи предполагают, что изменения концентрации морского льда в Баренцевом и Карском морях могут влиять на перестройку атмосферной циркуляции через вариативность альbedo освобождённой ото льда поверхности воды и изменение теплообмена в системе «океан – атмосфера». Они способны вызвать потепление в тропосфере, изменение меридионального температурного градиента и ослабление зональных ветров в средних широтах (Petoukhov, Semenov, 2010).

Изменения климатических параметров оказывают влияние на гидрологический режим рек. Так, на фоне современного потепления наблюдалось значительное увеличение водности рек на ЕТР (реки Печора, Мезень, Онега, Северная Двина, Волга, Дон), отразившееся в росте зимнего стока в 1975–2010 гг. по сравнению с предыдущим тридцатилетием (Джамалов и др., 2015). В той же работе отмечается, что зимний сток рек Северного Края увеличился менее существенно, чем сток рек, водосборы которых расположены южнее. Так, рост водности рек на севере ЕТР не превысил 30 % (по сравнению с увеличением стока на более чем 100 % в бассейнах Волги и Дона), а наибольшее увеличение зимнего стока было зафиксировано гидропостами на притоках Северной Двины (р. Вага) и Печоры (р. Уса) (Джамаилов и др., 2015). Это согласуется с тем, что в зимние месяцы 1991–2008 гг. рост количества дней с оттепелями и увеличение их продолжительности (по сравнению с 1961–1990 гг.) на юге ЕТР были выше, чем в более северных её регионах (Кренке и др., 2012). Во время оттепелей происходит снеготаяние и водоотдача из снежного покрова, пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока (Лавров, Калужный, 2012).

Анализ изменений зимнего увлажнения территории крупных речных бассейнов на севере ЕТР является весьма важным как с точки зрения понимания причин изменений зимнего стока, так и для оценки тенденций стока весеннего половодья. Цель статьи состоит в исследовании климатических характеристик, формирующих увлажнение на севере ЕТР в зимний период в конце XX – начале XXI вв. Фокус исследования направлен на анализ наблюдаемых изменений в бассейнах рек Северная Двина и Печора.

## Материалы и методы

Для анализа трендов температуры воздуха и осадков использовался сеточный архив данных месячных сумм осадков CRU-TS 4.0 Университета Восточной Англии (Harris et al., 2014), созданный на основе данных наземных наблюдений, полученных из национальных метеослужб и интерполированных в узлы сетки пространственного разрешения  $0,5 \times 0,5^\circ$ . Дополнительно анализировались данные о суммарных месячных осадках над сушей и океанами из архива GPCP V2.2 (Huffman et al., 2009) пространственного разрешения  $2,5 \times 2,5^\circ$ , начало измерений которых датируется 1979 г. Архив создан на основе комбинирования прямых наземных станционных измерений осадков с косвенными измерениями характеристик облачности и яркостной температуры в микроволновом и инфракрасном диапазонах, полученных с нескольких спутников.

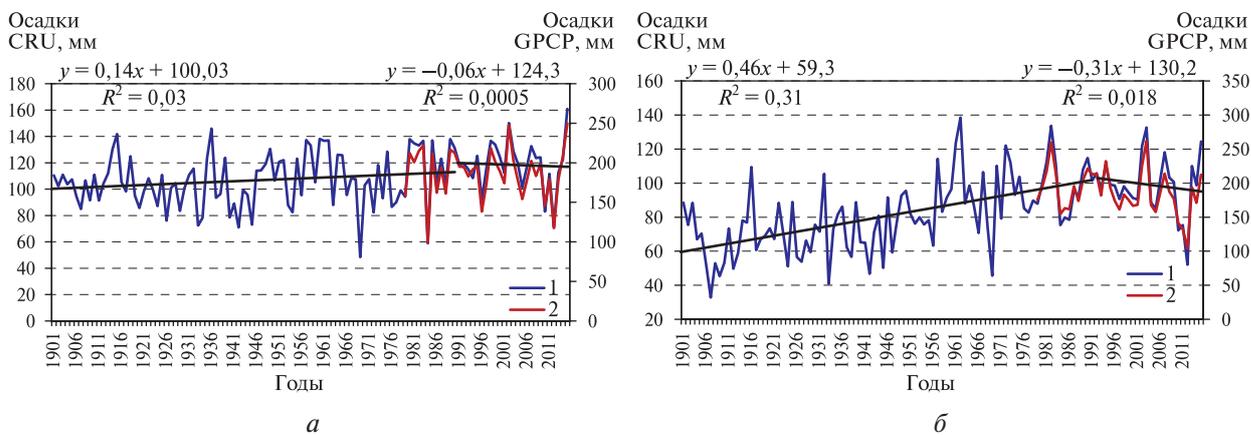
Зимнее снегонакопление исследовано по данным водного эквивалента снега из архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) ([www.meteo.ru](http://www.meteo.ru)), которые были получены в ходе маршрутных снегомерных съёмки с десятидневным временным разрешением (и каждые пять дней в период интенсивного снеготаяния) в лесу и/или в поле на удалении от метеостанций от 0,5 до 2 км. На зимнее увлажнение оказывает влияние температура воздуха, поскольку хорошо известна ведущая роль температурного фактора в изменении характеристик снежного покрова. Количество дней с положительной температурой в среднем за зимние месяцы рассчитывалось по суточным данным наблюдений за температурой воздуха из архива отечественной Гидрометслужбы. Анализ накопленной зимой влаги в начале XXI в. был проведён на основе данных дистанционного зондирования из глобального архива аномалий суммарного влагосодержания ( $\text{кг/м}^2$ ) пространственного разрешения  $1 \times 1^\circ$  по данным гидрологической модели Noach 2.7.1 Global Land Data Assimilation System (GLDAS) эксперимента

Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) (Rodell et al., 2004). Данные получены на основе спутниковых измерений колебаний гравитационного поля Земли в предположении о наличии их устойчивой связи с изменениями распределения масс.

Статистическая значимость трендов на уровне 0,05 определялась согласно критерию оценки параметров регрессионного уравнения, описанному в работе (Seber, 1977).

### Обсуждение результатов

Как следует из анализа *рис. 1а* и *б*, положительные линейные тренды зимних осадков, свидетельствующие об увеличении их количества, преобладали на севере ЕТР в период 1901–1990 гг. При этом средняя скорость роста осадков на территории бассейнов рек Северная Двина и Печора составляла 1,4 и 4,6 мм/10 лет соответственно. Статистически значимые тренды в этот период наблюдались на всей территории бассейна Печоры и на большей части территории бассейна Северной Двины (кроме западных регионов). С начала 1990-х гг. произошла смена знака направленности изменений: в 1991–2015 гг. осадки убывали со скоростью 0,6 мм/10 лет в бассейне Северной Двины (см. *рис. 1а*) и со скоростью 3,1 мм/10 лет — в бассейне Печоры (см. *рис. 1б*). Отметим, что суммарные за зиму осадки воспроизводятся методами дистанционного зондирования менее реалистично, чем летние осадки, количество которых на севере ЕТР было переоценено по данным GPCP на 7,6 % (Черенкова, 2018). Зимние осадки по спутниковой информации достаточно сильно завышаются в рассмотренных бассейнах рек по сравнению с данными архива CRU-TS 4.0: в 1,6 раза — в бассейне Северной Двины и почти в 2 раза — в бассейне Печоры. Вместе с тем, как показано на *рис. 1а* и *б*, временные ряды осадков по данным обоих архивов тесно связаны и тренды изменений осадков имеют одинаковую направленность.



*Рис. 1.* Межгодовая изменчивость осадков (мм·сут<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>) зимой в среднем по территории бассейна Северной Двины (*а*) и Печоры (*б*) по наземным данным CRU (1) в период 1901–1990 гг. и спутниковым данным GPCP (2) в период 1979–2015 гг.

На графиках *рис. 2а–е* (см. с. 288) с 1991 г. отчетливо прослеживается рост количества дней с оттепелями зимой на метеостанциях, расположенных в обоих рассмотренных бассейнах. Увеличение числа дней с оттепелями в 1991–2015 гг. по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг. на метеостанциях в бассейне Северной Двины (см. *рис. 2а–в*) было более существенным, чем в бассейне Печоры (см. *рис. 2г–е*). Наибольшим и статистически значимым был прирост в среднем на 1 день на метеостанциях Шенкурск (см. *рис. 2а*), Котлас (см. *рис. 2б*), Тотьма (см. *рис. 2в*). С другой стороны, наблюдаемый рост дней с оттепелями ассоциировался с положительными, но повсеместно незначимыми трендами их изменений в 2001–2015 гг. практически на всей территории севера ЕТР (*рис. 3б*, см. с. 288). Исключение составили метеостанции на Кольском п-ве и на территории Ненецкого автономного округа,

которые в тот же период показали тенденцию к уменьшению количества дней с оттепелями. В то же время пространственная структура знака трендов доли жидких осадков зимой согласуется со структурой трендов оттепелей, однако эти изменения незначительны (рисунок не приводится).

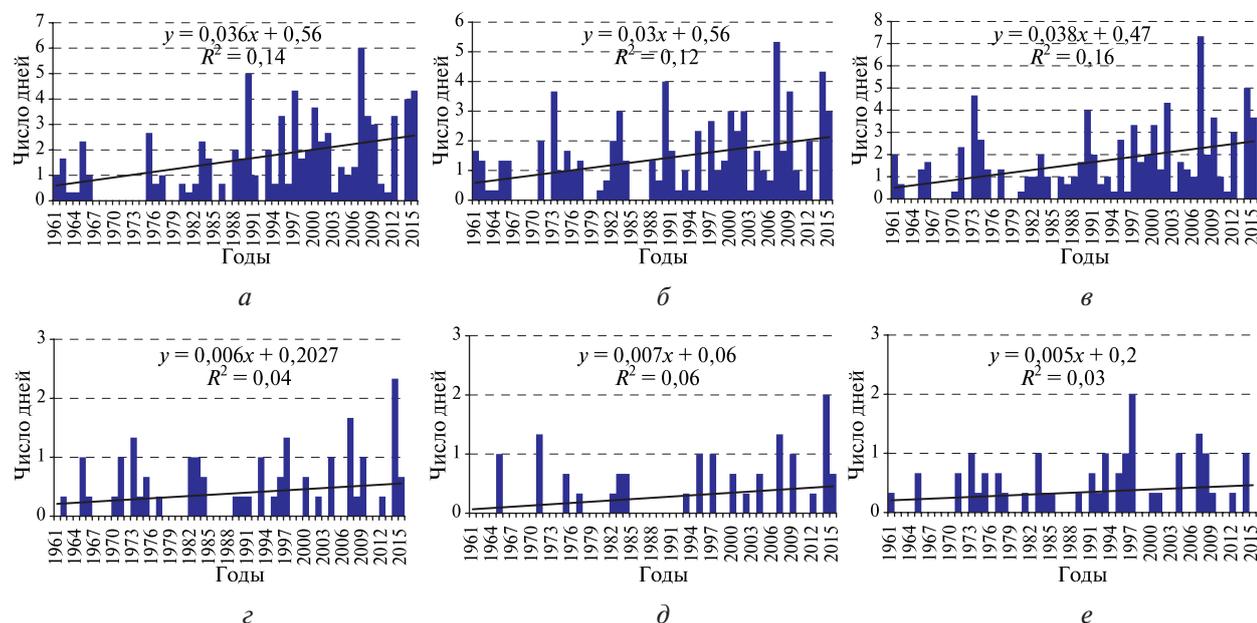


Рис. 2. Межгодовая изменчивость числа дней (дней/год) с положительными температурами воздуха зимой и линейные тренды их изменений в период 1961–2015 гг. на метеостанциях Шенкурск (а), Котлас (б), Тотма (в), расположенных в бассейне Северной Двины, и Усть-Цильма (г), Печора (д), Нарьян-Мар (е) в бассейне Печоры

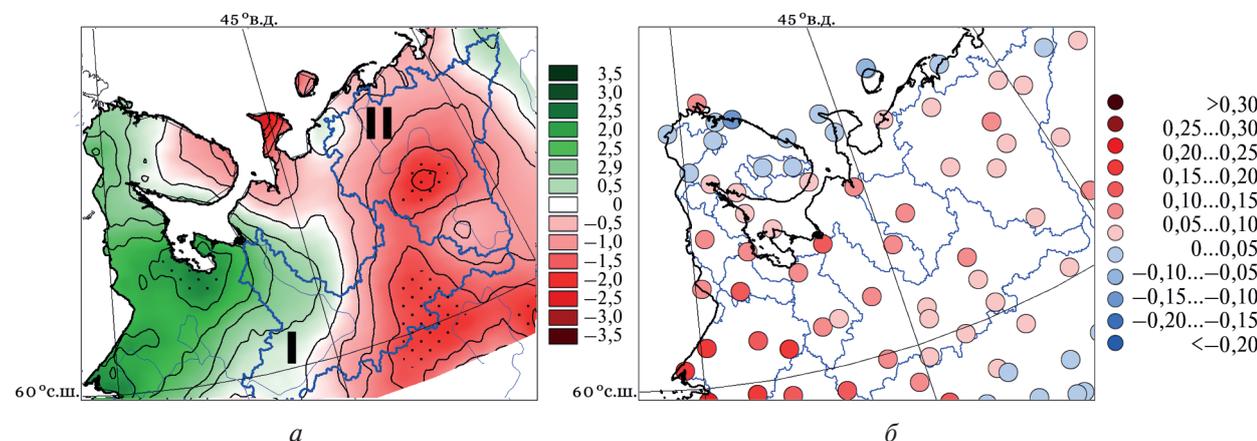
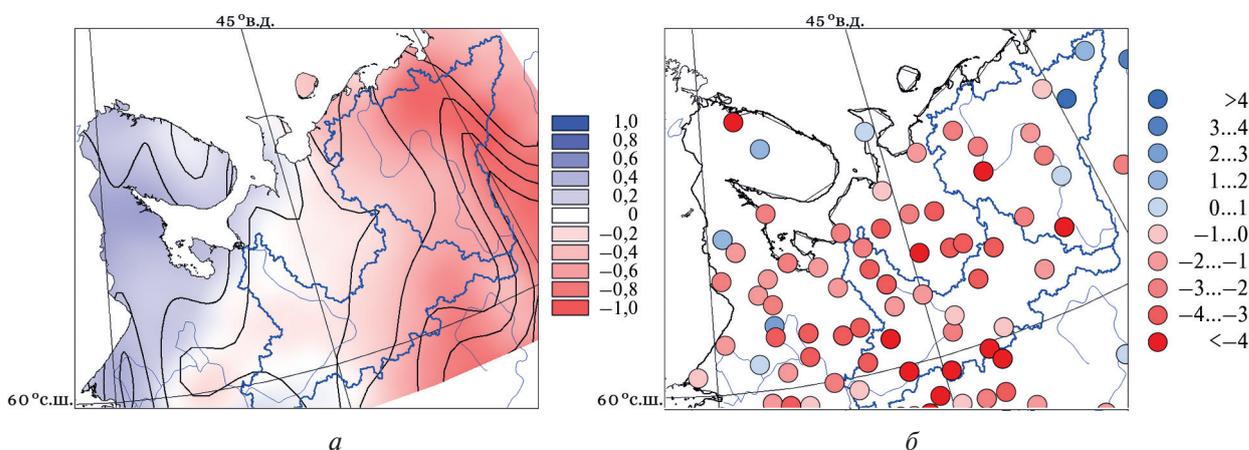


Рис. 3. Коэффициенты линейного тренда осадков (мм/год) (а) по данным CRU и оттепелей (число дней/год) (б) по данным метеостанций на севере ЕТР зимой в период 2001–2015 гг.; I — бассейн Северной Двины, II — бассейн Печоры. Статистически значимые изменения трендов осадков обозначены точками

На рис. 3а проиллюстрировано, что в зимние месяцы 2001–2015 гг. в западной половине исследуемой территории наблюдался рост осадков, в то время как в восточной отмечалась тенденция к их уменьшению. Снижение количества зимних осадков в этот период в среднем по территории бассейна Северной Двины, отражённое на графике рис. 1а, состоялось в основном за счёт значимых изменений осадков на востоке бассейна. Наиболее сильное понижение уровня осадков в бассейне Печоры в течение пятнадцати лет с начала текущего столетия (см. рис. 1б) происходило в его центральной части (см. рис. 3а).

Анализ карт *рис. 3* и *4* показал, что в период 2001–2015 гг. на востоке исследуемой территории наблюдались отрицательные тренды осадков зимой, число дней с оттепелями возросло незначительно, а гравиметрические спутниковые данные продемонстрировали уменьшение влагосодержания практически во всём регионе. Следовательно, на этой территории масса снега уменьшилась за счёт снижения количества осадков (см. *рис. 4б*). В тот же период на западе территории количество осадков увеличилось, наиболее сильным и статистически значимым был их рост в прибрежных регионах Онежской губы. Спутниковые данные по большей части подтвердили тенденцию увеличения влагосодержания на западе исследуемой территории. На фоне более существенного роста числа дней с оттепелями на западе, чем на востоке, происходило уменьшение водного эквивалента снега, которое было зафиксировано практически всеми метеостанциями (см. *рис. 4б*). В меридионально ориентированной полосе в центре территории, где изменение зимних осадков было наименьшим (см. *рис. 3а*), температурный фактор оказывал определяющее влияние на уменьшение массы снега (см. *рис. 4а*).



*Рис. 4.* Коэффициенты линейного тренда: *а* — влагосодержания ( $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ) в феврале по спутниковым данным; *б* — водного эквивалента снега (мм/год) в первую декаду марта в 2001–2015 гг. по данным метеостанций на севере ЕТР

В условиях отрицательных температур и промерзания почвы в течение зимних месяцев на севере ЕТР гравиметрические спутниковые данные, по сути, отражают изменения влагосодержания наземного слоя, которое формируется как за счёт твёрдых, так и жидких осадков. Анализ пространственно-временной согласованности зимних осадков, влагосодержания и водного эквивалента снега косвенно свидетельствует о незначительной миграции выпавших зимних осадков по территории (см. *рис. 4а*). Образовавшаяся в результате таяния снега вода, просачиваясь в подтаявшую почву, оставалась в верхнем её слое по причине всё ещё недостаточного количества дней с оттепелями для активного таяния снега и значимого роста зимнего стока рек. При сохранении тенденций зимнего потепления и продолжении увеличения числа оттепелей следует ожидать более активного таяния снега и ощутимого пополнения талых вод, что в совокупности с ростом доли жидких осадков в общем количестве осадков может привести к более существенному, чем наблюдаемое в современный период, увеличению зимнего стока рек на севере ЕТР.

## Заключение

Проведённое исследование позволило сделать следующие выводы.

Статистически значимые положительные тренды осадков в зимние месяцы в период 1901–1990 гг., выявленные по наземным данным, наблюдались практически на всей территории бассейнов рек Северная Двина и Печора. Рост осадков в этот период составил 1,4 мм/10 лет

в среднем на территории бассейна Северной Двины и 4,6 мм/10 лет — в бассейне Печоры. В 1990-х гг. произошла смена направленности изменений зимних осадков в бассейнах обеих рек как по наземным, так и по спутниковым данным, обусловленная уменьшением количества осадков. Установлено, что количество зимних осадков на севере ЕТР существенно превышает методами дистанционного зондирования. Расхождение сумм зимних осадков по наземным и спутниковым данным может быть связано с особенностью архива осадков CRU-TS 4.0. В 1991–2015 гг. зимние осадки убывали со скоростью 0,6 мм/10 лет в бассейне Северной Двины и со скоростью 3,1 мм/10 лет — в бассейне Печоры, а тренды были незначимы на территории обоих бассейнов. Снижение количества зимних осадков в бассейне Северной Двины в период 2001–2015 гг. состоялось в основном за счёт изменений осадков в восточной его части. В то же время наиболее значимые изменения осадков в бассейне Печоры происходили в его центре.

Количество зимних дней с оттепелями возросло с 1991 г. на территории обоих рассмотренных бассейнов. Вместе с тем увеличение числа дней с оттепелями в период 1991–2015 гг. (по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг.) на метеостанциях в бассейне Северной Двины было более существенным, чем в бассейне Печоры, и составляло в среднем один день. Несмотря на продолжающееся зимнее потепление на севере ЕТР в начале текущего столетия, рост количества дней с положительными температурами воздуха на фоне незначимого увеличения жидких осадков привёл к сокращению величины снеготопливных запасов. Однако спутниковые данные косвенно свидетельствуют о том, что миграция талой воды на исследуемой территории зимой в период 2001–2015 гг. была несущественной. Наблюдаемое потепление зимой на севере ЕТР пока не способно привести к значительному увеличению объёмов зимнего стока вследствие пополнения талыми и дождевыми водами.

Исследование трендов осадков в бассейнах Северной Двины и Печоры проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00891). Анализ изменений климатических условий на севере Европейской территории России выполнен в рамках проекта № 17-77-20123, финансируемого Российским научным фондом.

## Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
2. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Телегина Е. А. Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 581–588.
3. Иванов В. В., Алексеев В. А., Алексеева Т. А., Колдунов Н. В., Репина И. А., Смирнов А. В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.
4. Кренке А. Н., Черенкова Е. А., Чернавская М. М. Устойчивость залегания снежного покрова на территории России в связи с изменениями климата // Лёд и снег. 2012. Т. 52. № 1. С. 29–37.
5. Лавров С. А., Калюжный И. Л. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях изменения климата // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока: сб. тр. Всерос. науч. конф. Москва, 10–12 апр. 2012. М.: Ин-т водных проблем РАН, 2012. С. 432–441.
6. Черенкова Е. А. Влияние изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции и температуры поверхности океана на тренды летних осадков на Европейском севере России по наземным и спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 229–238.
7. Черенкова Е. А., Семенов В. А. Связь зимних осадков на территории Европы с изменениями ледовитости Арктического бассейна, температуры океана и атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. 2017. № 4. С. 38–52.
8. Bulygina O. N., Groisman P. Y., Razuvayev V. N., Korshunova N. N. Changes in snowcover over Northern Eurasia since 1966 // Environmental Research Letters. 2011. V. 6. P. 045204.
9. Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations — the CRU TS3.10 Dataset // Intern. J. Climatology. 2014. V. 34(3). P. 623–642.
10. Huffman G. J., Adler R. F., Bolvin D. T., Gu G. Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1 // Geophysical Research Letters. 2009. V. 36. P. L17808.

11. *Hurrell J. W.* Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation // *Science*. 1995. V. 269. P. 676–679.
12. *Outten S. D., Esau I.* A link between Arctic sea ice and recent cooling trends over Eurasia // *Climatic Change*. 2012. V. 110. P. 1069–1075.
13. *Petoukhov V., Semenov V. A.* A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophysical Research*. 2010. V. 115. P. D21.
14. *Rodell M., Houser P. R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J. K., Walker J. P., Lohmann D., Toll D.* The Global Land Data Assimilation System // *Bull. American Meteorological Society*. 2004. V. 85(3). P. 381–394.
15. *Seber G. A. F.* Linear Regression Analysis. John Wiley and Sons, 1977. 496 p.
16. *Semenov V. A., Martin T., Behrens L. K., Latif M.* Arctic sea ice area in CMIP3 and CMIP5 climate model ensembles — variability and change // *The Cryosphere Discussions*. 2015. V. 9. P. 1077–1131.
17. *Sutton R. T., Dong B.* Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s // *Nature Geoscience*. 2012. V. 5. P. 788–792.

## Trends of winter humidification of the Northern Dvina and Pechora basins in the 20<sup>th</sup> – early 21<sup>st</sup> centuries based on terrestrial and satellite data

E. A. Cherenkova

*Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia  
E-mail: cherenkova@igras.ru*

Tendencies of winter precipitation in the basins of the Northern Dvina and Pechora rivers in the 20<sup>th</sup>–early 21<sup>st</sup> centuries are in the focus of this study. Analysis of both surface and satellite data shows that positive coefficients of trends in winter precipitation with an average rate of growth of 1.4 mm/10 years in the Northern Dvina basin and 4.6 mm/10 years in the Pechora basin prevailed in 1901–1990. In the 1990s, there was a change in the direction of the trends due to the decrease in precipitation. Precipitation was decreasing in 1991–2015 at a rate of 0.6 mm/10 years in the Northern Dvina basin and at a rate of 3.1 mm/10 years in the Pechora basin. The overall decrease in winter precipitation in the Northern Dvina basin over the last fifteen years was substantially impacted by the changes in precipitation in the eastern part of the basin. At the same time, the most significant changes in precipitation in the Pechora basin have occurred in its central part. It was detected that the number of days with thaws at meteorological stations in the Northern Dvina basin was more significant than in the Pechora basin in 1991–2015 compared to the climate norm of 1961–1990 and reached one day in average. In spite of the fact that in 2001–2015 almost all meteorological stations recorded a reduction in the value of snow water equivalent, the number of days with thaws in the north of European Russia was still insufficient for active snow melting and the significant increase of the winter river runoff. The insignificance of the melt water migration in the study area in winter 2001–2015 was indirectly confirmed by satellite data.

**Keywords:** precipitation, thaws, snow water equivalent, remote sensing, north of European Russia, Northern Dvina, Pechora

Accepted: 21.06.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-285-292

## References

1. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* (Roshydromet second assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation), Moscow: Rosgidromet, 2014, 1009 p.

2. Dzhamalov R. G., Frolova N. L., Telegina E. A., *Izmenenie zimnego stoka rek Evropeiskoi chasti Rossii* (Winter runoff variations in European Russia), *Vodnye resursy*, 2015, Vol. 42, No. 6, pp. 581–588.
3. Ivanov V. V., Alekseev V. A., Alekseeva T. A., Koldunov N. V., Repina I. A., Smirnov A. V., *Arkticheskii ledyanoi pokrov stanovitsya sezonnym? (Is the Arctic Ice Cover Becoming Seasonal?)*, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 4, pp. 50–65.
4. Krenke A. N., Cherenkova E. A., Chernavskaya M. M., *Ustoichivost' zaleganiya snezhnogo pokrova na territorii Rossii v svyazi s izmeneniyami klimata* (Snow cover stability in Russia due to climate change), *Led i sneg*, 2012, Vol. 52, No. 1, pp. 29–37.
5. Lavrov S. A., Kalyuzhnyi I. L., *Fizicheskie protsessy i zakonomernosti formirovaniya zimnego i vesennego stoka rek v usloviyakh izmeneniya klimata* (Physical processes and regularities of formation of winter and spring river flows under climate change), *Sovremennye problemy stokhasticheskoi gidrologii i regulirovaniya stoka* (Current problems of stochastic hydrology and flow regulation), Proc. All-Russia Scientific Conf., Moscow, 2012, pp. 432–441.
6. Cherenkova E. A., *Vliyanie izmenenii krupnomasshtabnoi atmosfernoj tsirkulyatsii i temperatury poverkhnosti okeana na trendy letnikh osadkov na Evropeiskom severe Rossii po nazemnym i sputnikovym dannym* (Influence of changes in large-scale atmospheric circulation and ocean surface temperature on the trends of summer precipitation in the north of European Russia based on terrestrial and satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 229–238.
7. Cherenkova E. A., Semenov V. A., *Svyaz' zimnikh osadkov na territorii Evropy s izmeneniyami ledovitosti Arkticheskogo basseina, temperatury okeana i atmosfernoj tsirkulyatsii* (A link between winter precipitation in Europe and the Arctic sea ice, sea surface temperature, and atmospheric circulation), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, No. 4, pp. 38–52.
8. Bulygina O. N., Groisman P. Y., Razuvaev V. N., Korshunova N. N., *Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966*, *Environmental Research Letters*, 2011, Vol. 6, p. 045204.
9. Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H., *Updated high-resolution grids of monthly climatic observations — the CRU TS3.10 Dataset*, *Intern. J. Climatology*, 2014, Vol. 34(3), pp. 623–642.
10. Huffman G. J., Adler R. F., Bolvin D. T., Gu G., *Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1*, *Geophysical Research Letters*, 2009, Vol. 36, p. L17808.
11. Hurrell J. W., *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation*, *Science*, 1995, Vol. 269, pp. 676–679.
12. Outten S. D., Esau I., *A link between Arctic sea ice and recent cooling trends over Eurasia*, *Climatic Change*, 2012, Vol. 110, pp. 1069–1075.
13. Petoukhov V., Semenov V. A., *A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents*, *J. Geophysical Research*, 2010, Vol. 115, p. D21.
14. Rodell M., Houser P. R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J. K., Walker J. P., Lohmann D., Toll D., *The Global Land Data Assimilation System*, *Bull. American Meteorological Society*, 2004, Vol. 85(3), pp. 381–394.
15. Seber G. A. F., *Linear Regression Analysis*, John Wiley and Sons, 1977, 496 p.
16. Semenov V. A., Martin T., Behrens L. K., Latif M., *Arctic sea ice area in CMIP3 and CMIP5 climate model ensembles — variability and change*, *The Cryosphere Discussions*, 2015, Vol. 9, pp. 1077–1131.
17. Sutton R. T., Dong B., *Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s*, *Nature Geoscience*, 2012, Vol. 5, pp. 788–792.