

Изменчивость зимнего стока реки Ока в зависимости от изменения климата

© 2018 г. Т.Б. Титкова

Институт географии РАН, Москва, Россия
ttitkova@yandex.ru

Variability of winter runoff of the Oka River and its relationship with climate change

T.B. Titkova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
ttitkova@yandex.ru

Received August 1, 2017

Accepted October 28, 2017

Keywords: *days with positive temperatures, Oka basin, precipitation, river runoff, soil temperature, water equivalent of snow.*

Summary

Response of a river flow in a winter low-water period to the climate changes is analyzed by the example of the Oka River (245 thousand km²). The analysis was done for each individual month from December to March during the period 1980–2015. The data were obtained for the hydrometric section Oka–Gorbatov. The following climatic characteristics were used for the analysis: 1) the number of days with positive air temperatures; 2) the temperature of the upper soil layer; 3) the sum of precipitation (data of meteorological station); 4) water equivalent of snow (the data from the satellite ESA GlobSnow, SWE version 2). Accuracy of the satellite data was estimated with respect to the observational data. In 1981–2010, significant increase in winter runoff occurred in December and March. This period was divided into two phases: 1) the end of the 20th century which was characterized by increasing of precipitation, the soil temperature, number of days with positive temperatures, and that resulted in the growth of the water equivalent of snow; 2) the beginning of the 21st century – by significant fluctuation in precipitation, number of days with positive temperatures as well as by a drop in the soil temperature and water equivalent of snow. The runoff volume was found to be in a direct relationship with the number of days with positive temperatures, the soil temperature, the precipitation sum, and in the inverse relationship with the water equivalent of snow. Both, the regression and dispersion analyses indicated that the above set of climatic characteristics was sufficient to explain changes in the winter runoff. According to the degree of influence on the winter runoff, these characteristics can be ranked as follows: the number of days with positive temperatures; the average soil temperature; the water equivalent of snow; the precipitation sum. The effect of the water equivalent on the runoff becomes significant from mid-winter and remains the most significant factor by the end of snowmelt.

Citation: Titkova T.B. Variability of winter runoff of the Oka River and its relationship with climate change. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2018. 58 (2): 191–198. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-2-191-198

Поступила 1 августа 2017

Принята к печати 28 октября 2017 г.

Ключевые слова: *бассейн р. Ока, водный эквивалент снега, дни с положительными температурами, осадки, речной сток, температура почвы.*

Определена реакция зимнего стока рек в бассейне р. Ока (притока Волги) в 1981–2010 гг. на изменение климатических характеристик: суммы осадков, числа дней с положительными температурами воздуха и температуры верхнего слоя почвы, полученных по данным метеостанций, а также водного эквивалента снега, определённого по данным спутникового зондирования. Значимое увеличение зимнего стока в бассейне Оки наблюдается в периоды становления зимнего снежного покрова и начале снеготаяния.

Введение

Проявление глобального потепления второй половины XX – начала XXI вв. (1976–2012 гг.) на Восточно-Европейской равнине, выраженное в росте среднегодовой приземной температуры, составило 0,52 °C/10 лет [1]. В последнее десятилетие в зимний период наблюдается замедление глобаль-

ного потепления. В отличие от продолжающегося потепления весной и осенью, скорость зимнего потепления в Европейской России понизилась с 0,68 °C/10 лет в среднем за период 1976–2006 гг. до 0,43 °C/10 лет в среднем за период 1976–2012 гг., так как с конца 1990-х годов наблюдается замедление зимнего потепления [1]. Около половины потепления в Северном полушарии можно объ-

яснить тем, что с середины 1970-х годов до начала XXI в. Северная Атлантика перешла от холодной к тёплой фазе, и это сопровождалось аномальными потоками тепла из океана в атмосферу в Северной Атлантике и Арктике [2]. Эмпирические данные подтверждают зимнее увеличение осадков на территории Европы в тёплую фазу [3].

Рост увлажнения Восточно-Европейской равнины на фоне глобального потепления во второй половине XX в., смягчение температурного режима зим, увеличение числа оттепелей, а также уменьшение глубины промерзания пород зоны аэрации — всё это в последние десятилетия создаёт необходимые климатические условия для улучшения условий питания подземных вод и увеличения водного режима рек в зимних условиях, что отмечается во многих работах [4–6]. Водный эквивалент снега (ВЭС) — это потенциальное количество воды, которое может просочиться в почву и повлиять на изменение стока рек в зимних условиях, поэтому рассмотрение его в качестве одного из факторов, влияющих на сток, весьма важно.

Задачи настоящей работы — определить реакцию зимнего стока бассейна р. Ока на изменение климатических характеристик, в том числе водного эквивалента снега, и оценить степень значимости и влияния климатических параметров на зимний сток во второй половине XX — начале XXI вв.

Данные и методы

К климатическим характеристикам, влияющим на величину просачивания, относятся: сумма осадков; число дней с положительными температурами воздуха (дни $T > 0$ °C); температура верхнего слоя почвы ($T_{\text{п}}$) и запасы воды в снежном покрове — водный эквивалент снега (ВЭС, мм). Данные метеостанций по этим параметрам и ВЭС для бассейна Оки в географических пределах 51,5–57,5° с.ш. и 32–45,5° в.д. взяты из архива ВНИИГМИ-МЦД (www/meteo.ru) и проанализированы по 29 станциям. Затем данные интерполировались в сетку $1^\circ \times 1^\circ$. Изменение величины зимнего стока (за декабрь–март) рассчитывалось по среднемесячным значениям расходов воды (Q , м³/с) в створе Ока–Горбатов.

Наземные стационарные данные ВЭС в идеале должны быть представлены с декадным разрешением примерно 10, 20, 30 числа каждого месяца,

но они имеют большое число пропусков по срокам и годам, особенно с 1990-х годов, как раз в период наибольших изменений. Поэтому наземных измерений ВЭС не всегда достаточно для получения достоверных сведений о его распределении и изменении. Перспективность применения данных дистанционного зондирования связана с их непрерывностью, широким пространственным охватом и высоким разрешением. В работе использована спутниковая оценка водного эквивалента снега (<http://nsidc.org/data/NSIDC-0595>) ESA Glob Snow (SWE) версии 2 из Европейского космического агентства (ESA). Информация о снеге доступна с 1979 г. и в настоящее время непрерывно пополняется. Запись SWE Glob Snow проводится на основе методологии [7, 8], где объединены данные космического радиометра (SMMR, SSM/I и SSMIS) и данные о толщине снега на метеостанциях. Пространственное разрешение данных дистанционного зондирования примерно 25×25 км. Метод получения ВЭС основан на алгоритме совмещения данных метеостанций о толщине снега и данных спутниковых радиометров. Поэтому была оценена точность спутниковых данных о водном эквиваленте снега относительно наблюдаемых. Ошибки оценивались для бассейна р. Ока. Период осреднения составил 30 лет (1981–2010 г.). Отдельно рассматривались следующие месяцы: декабрь, январь, февраль и март. Суточные спутниковые данные использовались для сроков наземных наблюдений. Для исключения мезомасштабных ошибок начальный массив 25×25 км был интерполирован в сетку $1^\circ \times 1^\circ$ для каждого срока имеющихся наземных наблюдений. Погрешность определялась в узлах сетки за каждый срок наземных наблюдений: $\Pi = (P_c - P_n)/P_n$, где Π — погрешность; P_c и P_n — характеристика снежного покрова соответственно по спутниковым данным и по материалам наземных наблюдений.

По средним месячным данным за декабрь–март в бассейне Оки определены линейные тренды зимнего стока и климатических параметров. Отметим, что значения трендов стока в декабре и марте могут быть определены с некоторой погрешностью из-за неопределённости начала и конца зимнего стока. Был проведён корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализ влияния климатических характеристик, в том числе и водного эквивалента снега, на зимний сток бассейна Оки. Степень влияния климатических факторов на расход воды оценивалась с помощью параметра

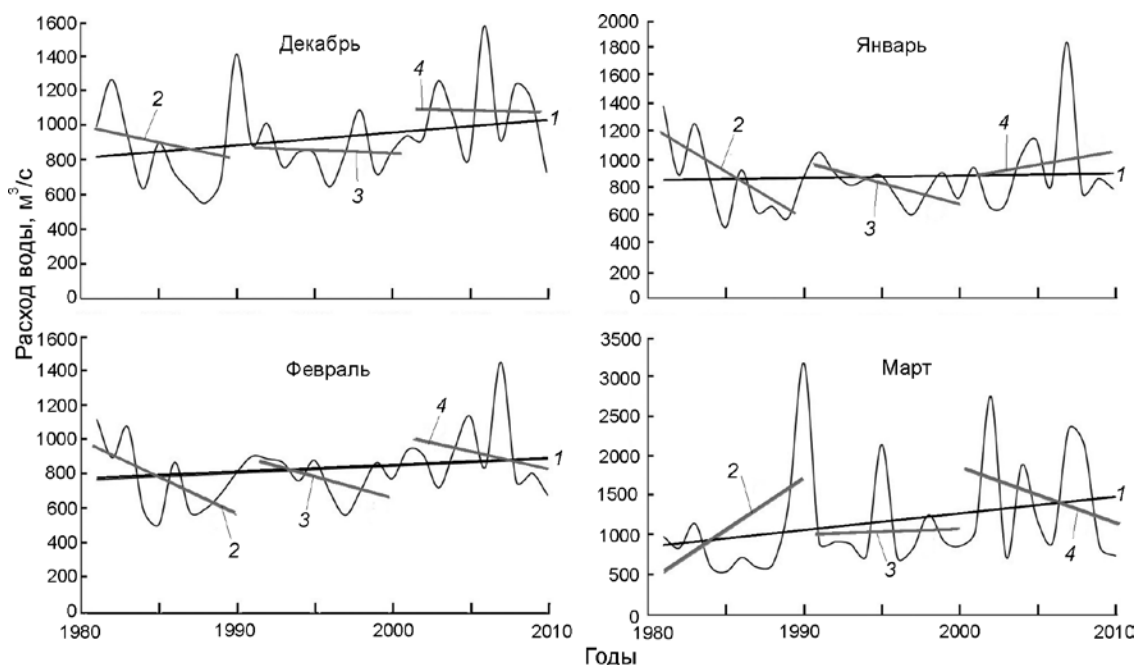


Рис. 1. Изменение расхода воды в створе Ока–Горбатов ($\text{м}^3/\text{с}$) с линейными трендами.

Цифрами на рис. 1, 3–5 обозначены тренды за периоды: 1 – 1981–2010 гг.; 2 – 1981–1990 гг.; 3 – 1991–2000 гг.; 4 – 2001–2010 гг.

Fig. 1. The change of runoff in the Oka–Gorbatov alignment (m^3/s) with linear trends.

Numbers on a fig. 1, 3–5 indicate the trends for the periods: 1 – 1981–2010; 2 – 1981–1990; 3 – 1991–2000; 4 – 2001–2010

корреляции – коэффициента детерминации R^2 . Теснота зависимости принималась удовлетворительной, если R^2 меняется от 0,3 до 0,5.

Для проверки правильности построенного уравнения регрессии применяется критерий Фишера: $F_{\text{расч}} = (n - 2)r_{xy}^2 / (1 - r_{xy}^2)$, где n – число наблюдений; r – коэффициент парной корреляции. При уровне значимости $p < 0,05$, если $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$, уравнение регрессии подобрано верно и зависимость считается значимой и достоверной; p -коэффициент уровня значимости служит для проверки нулевой гипотезы о наличии или отсутствии парной корреляции при уровне значимости 0,05. Если вычисленный уровень значимости меньше заданного уровня, то принимается гипотеза о значимом отличии p -коэффициента от нуля и, следовательно, значимом влиянии независимой переменной на исследуемую.

Результаты

Тренды климатических характеристик в зимний период в бассейне Оки. Если рассматривать период 1981–2010 гг., то значимое увеличение зимне-

го стока Q ($\text{м}^3/\text{с}$) произошло в период окончательного становления снежного покрова (декабрь) и в период начала снеготаяния (март). В январе–феврале тенденция увеличения зимнего стока существует, но она незначима (рис. 1). Значимые тренды по десятилетиям в течение 1981–1990 гг. выявлены в январе (отрицательный) и марте (положительный) (табл. 1). Оценим правомерность использования спутниковой информации о ВЭС. При сравнении спутниковых показаний по разным моделям расчёта о наличии снежного покрова и наблюдаемых данных прослеживаются общие тенденции. Отмечается завышение наличия снега в осенний период и небольшое занижение в весенний [9]. Это объясняется тем, что в период становления снежного покрова микроволновые датчики (SMMR, SSM/I) стабильно показывают меньшие значения, чем по наблюдаемым данным, так как снежный покров толщиной менее 5 см не обеспечивает сигнал достаточной силы, чтобы снег мог быть обнаружен. По мере роста толщины снежного покрова согласованность между наземными и дистанционными данными улучшается [10].

В бассейне Оки в распределении по месяцам максимальная ошибка ВЭС – до 25% – наблюда-

Таблица 1. Средние по десятилетиям линейные тренды исследуемых параметров в бассейне р. Ока

Месяц	1981–1990 гг.	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	1981–2010 гг.
<i>Расход воды в створе Ока–Горбатов Q, м³/с</i>				
Декабрь	–15	–6	0	75
Январь	–62*	–25	16	17
Февраль	–38	–17	–10	41
Март	128	3	–48	208
<i>Водный эквивалент снега, мм</i>				
Декабрь	2,2	3,1	–2,8	–5,8
Январь	2,6	2,6	–3,9	–8,9
Февраль	1,7	2,8	–2,2	–8,5
Март	0,8	3,3	–1,5	–10
<i>Сумма осадков ΣP, мм</i>				
Декабрь	–2,1	2,8	2,4	1,3
Январь	–1,7	–0,3	–0,1	2,2
Февраль	0,3	2,2	–1,4	2,5
Март	2	1,7	0,4	5
<i>Число дней с положительной температурой воздуха $T > 0$ °C</i>				
Декабрь	–0,2	0,4	0,1	1,4
Январь	0,2	–0,2	–0,2	0,3
Февраль	0,5	0,2	–0,2	1
Март	0,5	–0,2	0	1,3
<i>Температура почвы T_n на глубине 20 см, °C</i>				
Декабрь	2,7	0,3	1,6	0,5
Январь	1,3	0,2	–1,3	0,3
Февраль	5,3	0,8	–1	0,4
Март	4,2	0,3	–0,4	0,3

*Жирным шрифтом в табл. 1–3 выделены значимые тренды с уровнем значимости 0,05.

ется в начале зимы, в декабре, и минимальная – до 10% – в конце снежного периода, в марте, что допустимо для спутниковых данных [11]. По пространству, во все месяцы ошибка ВЭС минимальна на открытых участках в степной зоне – от –5 до 10%, постепенно увеличивается до 15% в зоне широколиственных лесов и максимальна в зоне широколиственно-тёмнохвойных смешанных лесов – до 20–25%. Таким образом, массивы спутниковой информации водного эквивалента снега удовлетворительно воспроизводят значения параметра относительно наземных наблюдений, что позволяет использовать эти данные в настоящей работе.

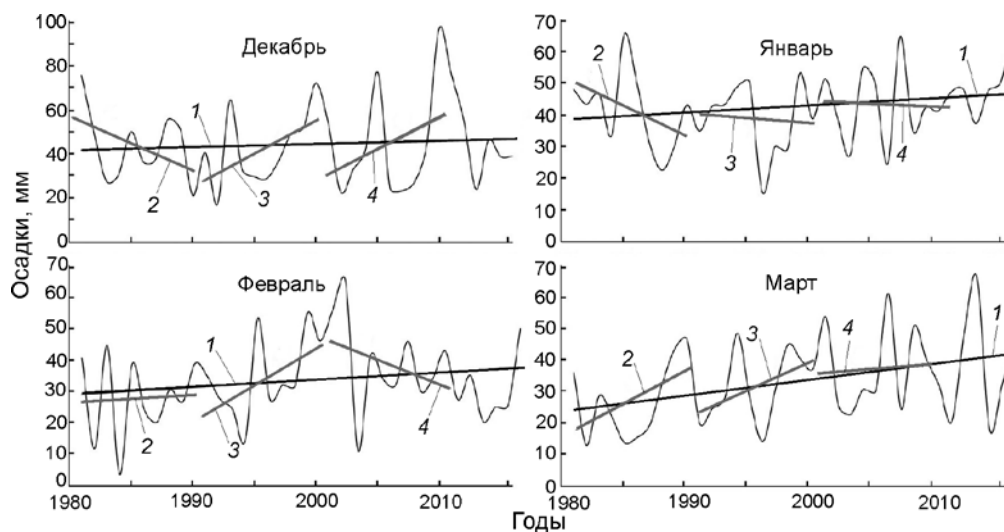
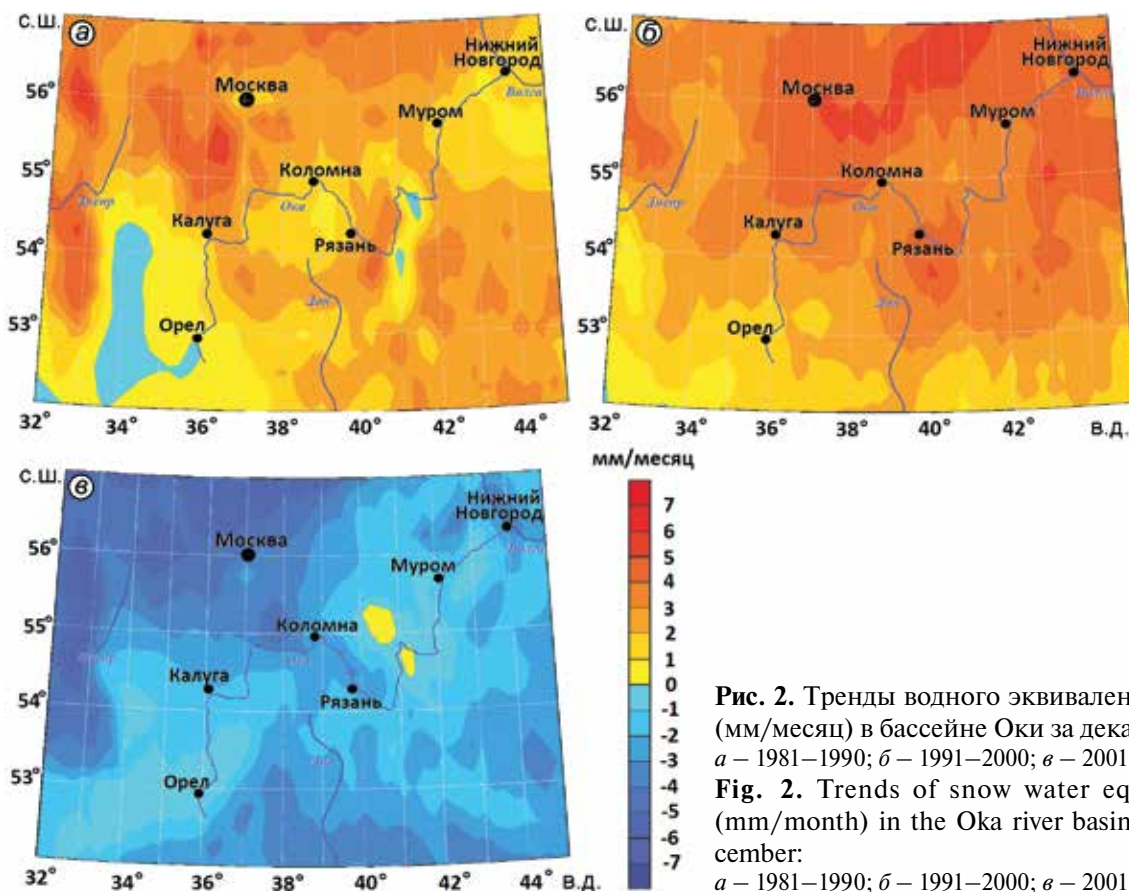
Положительные значимые тренды ВЭС во все месяцы с декабря по март наблюдались в два последних десятилетия XX в. практически во всём бассейне Оки, исключая март 1981–1990 гг. (см. табл. 1). Пример пространственного распределения трендов ВЭС в бассейне Оки в декабре приведён на рис. 2. Максимум положительного тренда пришёлся на 1991–2000 гг. С начала XXI в. ситуация карди-

нально изменилась. В среднем за десятилетия тренды ВЭС с декабря по март стали отрицательными.

Тренды месячных сумм осадков ΣP (мм) в бассейне Оки отличаются большой изменчивостью по месяцам и десятилетиям (рис. 3). Общий рост осадков можно отметить в зимы 1991–2000 гг. (кроме января). В остальные десятилетия тренды зимних осадков разнонаправленны. В 1981–1990 гг. в декабре и январе наблюдалось значимое уменьшение сумм осадков, а в марте – их рост. В 2001–2010 гг. увеличение осадков произошло в декабре, а уменьшение – в феврале. Значимых трендов дней с положительной среднесуточной температурой воздуха (дни с $T > 0$ °C) в бассейне Оки за десятилетия не прослеживается (см. табл. 1) ввиду больших колебаний из года в год (рис. 4). Однако при рассмотрении в целом периода 1981–2016 гг. положительные тренды дней со среднесуточной температурой воздуха больше 0 °C значимы для декабря, февраля и марта. Влияние промерзания почвы на зимний сток выражается в воздействии её на запасы почвенной влаги. Значимые положительные тренды среднемесячной температуры почвы на глубине 20 см ($T_n = 20$ см, °C) наблюдались во все месяцы декады 1981–1990 гг. (см. табл. 1). В последующее десятилетие средняя температура почвы менялась мало (рис. 5). В начале XXI в. температура почвы имеет значимый положительный тренд в декабре. В январе положительный тренд незначим. В феврале и марте наметилась тенденция понижения температуры почвы. В целом за весь период тренды положительны, но незначимы.

Статистический анализ зависимости речного стока от климатических параметров. Проведён корреляционный анализ зависимости речного стока от климатических параметров за декабрь–март в период 1981–2010 гг. Дополнительно анализировалась связь стока в текущем месяце с климатическими параметрами предыдущего месяца (табл. 2). Больше число значимых корреляций величины стока Q (м³/с) от климатических параметров прослеживается, если мы анализируем изменения в течение одного месяца. Максимальная положительная зависимость стока прослеживается от числа дней с положительной температурой (дни с $T > 0$ °C) и средней температурой почвы на глубине 20 см ($T_n = 20$ см, °C). Коэффициенты корреляции максимальны в марте (0,8) и минимальны в феврале (0,4).

В течение всей зимы прослеживается обратная связь стока с ВЭС, т.е. чем больше сток, тем



больше воды просачивается в почву и наблюдается меньший запас воды в снежном покрове. Количество осадков значимо коррелирует со сто-

ком в январе и феврале. Если рассматривать сток в последующий месяц относительно климатических характеристик, то общая картина связи со-

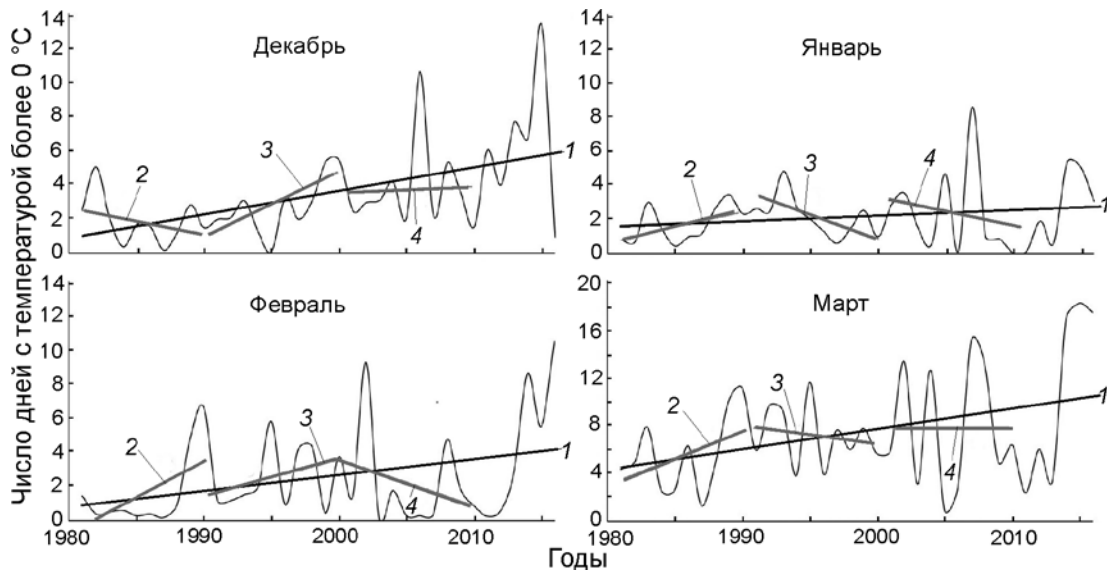


Рис. 4. Изменение числа дней с положительной среднесуточной температурой воздуха в бассейне Оки с линейными трендами.

Усл. обозначения см. на рис. 1

Fig. 4. Change in the number of days with a positive average daily temperature in the Oka river basin with linear trends. Legend see Fig. 1

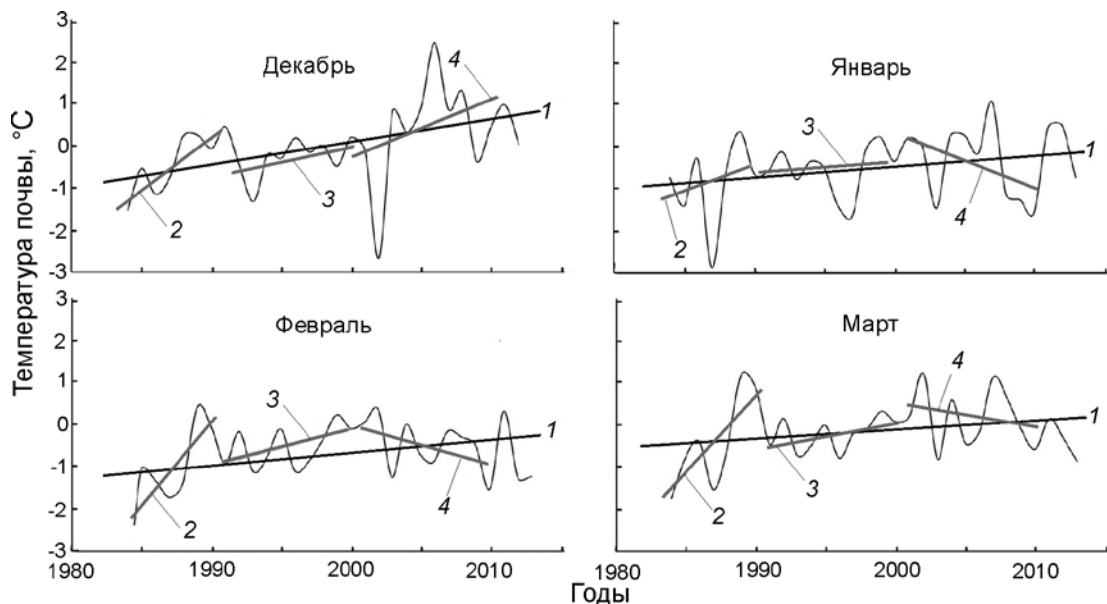


Рис. 5. Изменение среднемесячной температуры почвы на глубине 20 см в бассейне Оки с линейными трендами.

Усл. обозначения см. на рис. 1

Fig. 5. Change in the average monthly soil temperature at a depth of 20 cm in the Oka river with linear trends. Legend see Fig. 1

храняется, но коэффициенты корреляции уменьшаются. Регрессионный анализ показал, что зависимость речного стока от климатических параметров R^2 в текущем месяце находится в пределах 38–78% и 11–74% с климатическими па-

раметрами предыдущего месяца, что показывает достаточную точность описания процесса стока данными параметрами (табл. 3). Дисперсионный анализ подтвердил правильность построенного уравнения регрессии. В основном, набор иссле-

Таблица 2. Корреляция речного стока с климатическими параметрами

Месяц	ВЭС	Сумма осадков ΣP	Число дней с положительной температурой воздуха $T > 0$ °С	Температура почвы $T_{п}$ на глубине 20 см
<i>Корреляция стока с климатическими параметрами в текущем месяце</i>				
Декабрь	-0,4	0,3	0,6	0,5
Январь	-0,4	0,5	0,6	0,6
Февраль	-0,2	0,4	0,4	0,4
Март	-0,5	0,2	0,8	0,8
<i>Корреляция стока в текущем месяце с климатическими параметрами предыдущего месяца</i>				
Декабрь	-0,1	0,0	0,0	0,2
Январь	-0,3	0,5	0,6	0,7
Февраль	-0,1	0,5	0,7	0,5
Март	0,1	0,0	0,1	0,2

Таблица 3. Регрессионный и дисперсионный анализ зависимости стока р. Ока от климатических характеристик

Месяц	Коэффициент линейной корреляции R	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Фишера $F_{расч}$	Значение критерия Фишера при уровне значимости $0,05F_{табл}$	P -коэффициент уровня значимости			
					ВЭС	ΣP , мм	дни с $T > 0$ °С	$T_{п} = 20$ см, °С
<i>Связь стока с климатическими параметрами в текущем месяце</i>								
Декабрь	0,74	0,55	11,89	1,84	0,35	0,03	0,03	0,10
Январь	0,82	0,67	23,01	1,84	0,02	0,28	0,01	0,05
Февраль	0,62	0,38	4,76	1,84	0,14	0,48	0,05	0,04
Март	0,88	0,78	42,53	1,84	0,00	0,78	0,43	0,02
<i>Связь стока в текущем месяце с климатическими параметрами предыдущего месяца</i>								
Декабрь	0,34	0,11	0,36	1,84	0,92	0,45	0,35	0,14
Январь	0,86	0,74	33,54	1,84	0,04	0,28	0,00	0,01
Февраль	0,78	0,60	15,98	1,84	0,27	0,62	0,00	0,26
Март	0,39	0,15	0,68	1,84	0,15	0,63	0,12	0,38

двух параметров значимо и достоверно описывает речной сток в зимний период ($F_{расч} > F_{табл}$).

Значения p -коэффициентов уровня значимости показывают, что все параметры – число дней с положительными среднесуточными температурами (дни с $T > 0$ °С), средняя температура почвы на глубине 20 см ($T_{п} = 20$ см, °С), сумма осадков (ΣP , мм), ВЭС – оказывают влияние на сток Оки (Q , м³/с). Их можно следующим образом проанализировать по степени уменьшения влияния на сток в целом для зимы: число дней со среднесуточными положительными температурами; средняя температура почвы; ВЭС; сумма осадков. В период становления снежного покрова, в декабре, первоначальное значение для стока имеют число дней с положительными среднесуточными температурами и сумма осадков. В январе–феврале на сток в равной степени влияют число дней с положительными среднесуточными температурами, средняя температура почвы, а также ВЭС. В марте величина речного стока больше зависит от ВЭС и средней температуры почвы.

Выводы

За 1981–2010 гг. значимое увеличение зимнего стока в бассейне Оки наблюдалось в периоды становления зимнего покрова и в период снеготаяния. Значимые положительные тренды по десятилетиям прослеживались только в десятилетие 1981–1990 гг. Характер тенденций климатических параметров в бассейне Оки можно разделить на две противоположные фазы. Конец XX в. отличался увеличением осадков на фоне роста дней с положительной температурой, ростом среднемесячной температуры почвы и, как следствие, ростом водного эквивалента снега. С начала XXI в. на фоне колебаний осадков, дней с положительной температурой в течение зимы, отрицательной тенденции температуры почвы тренд ВЭС значимо отрицателен. Величина расхода воды речного стока бассейна Оки в зимний период прямо зависит от числа дней со среднесуточной положительной температурой, температуры почвы и осадков и обратно – от водного эквивалента снега. При

анализе связи стока в текущем месяце с климатическими параметрами предыдущего месяца общая картина сохраняется, но связь становится слабее.

Статистический анализ показал, что число климатических характеристик (число дней с положительными среднесуточными температурами, средняя температура почвы, осадки, ВЭС) достаточно для объяснения изменения стока Оки в зимних условиях. Параметры по степени уменьшения влияния на сток можно ранжировать следующим образом: число дней со среднесуточны-

ми положительными температурами, температура почвы, сумма осадков и ВЭС. В течение зимы, в зависимости от месяца, величина влияния этих параметров на зимний сток может меняться.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00518).

Acknowledgments. The work was supported by the Russian Foundation for Fundamental Stuaies (grant No. 17-05-00518).

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
2. *Semenov V.A., Latif M., Dommenget D., Keenlyside N.S., Strehz A., Martin T., Park W.* The impact of North Atlantic-Arctic multidecadal variability on Northern hemisphere surface air temperature // *Journ. of Climate*. 2010. № 23. P. 5668–5677. doi: 10.1175/2010JCLI3347.1.
3. *Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A.* Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation // *Geophys. Research Letters*. 2006. V. 33. P. L17706. doi: 10.1029/2006gl026242.
4. *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. doi: 10.7868/s0321059615060036.
5. *Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А.* Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44. № 6. С. 603–611. doi: 10.7868/s0321059617060049.
6. *Водные ресурсы России и их использование* / Ред. И.А. Шикломанов. СПб.: изд. ГГИ, 2008. 600 с.
7. *Pulliainen J.* Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations // *Remote Sensing of Environment*. 2006. V. 101. P. 257–269. doi: 10.1016/j.rse.2006.01.002.
8. *Takala M., Luojus K., Pulliainen J., Derksen C., Lemmetyinen J., Kärnä J., Koskinen J., Bojkov B.* Estimating Northern hemisphere snow water equivalent for climate research through assimilation of space-borne radiometer data and ground-based measurements // *Remote Sensing of Environment*. 2011. V. 115. P. 3517–3529. doi: 10.1016/j.rse.2011.08.014.
9. *Титкова Т.Б., Виноградова В.В.* Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI века по спутниковым данным // *Лёд и Снег*. 2017. Т. 57. № 1. С. 25–33. doi: 10.15356/2076-6734-2017-1-25-33.
10. *Amstrong R.L., Brodzik M.J., Kummerow C.D., Jiang J., Uratuka S.* A twenty-four year record of northern hemisphere snow cover derived from passive microwave remote sensing // *Conference on microwave remote sensing of the atmosphere and environment III*. Bellingham. 2003. V. 4894. P. 373–380. doi: 10.1117/12.467772.
11. *Chang A.T.C., Foster J.L., Hall D.* Snow water equivalence determination by microwave radiometry // *Cold Regions Science and Technology*. 1982. № 5. P. 259–267.

Reference

1. *Vtoroy otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoy Federatsii*. The second estimated report of Roshydromet about climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Roshydromet, 2014: 1009 p. [In Russian].
2. *Semenov V.A., Latif M., Dommenget D., Keenlyside N.S., Strehz A., Martin T., Park W.* The impact of North Atlantic-Arctic multidecadal variability on Northern hemisphere surface air temperature. *Journ. of Climate*. 2010, 23: 5668–5677. doi: 10.1175/2010JCLI3347.1.
3. *Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A.* Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation. *Geophys. Research Letters*. 2006, 33: L17706. doi: 10.1029/2006gl026242.
4. *Dzhamalov R.G., Telegina E.A., Frolova N.L.* Winter runoff variations in European Russia. *Vodnye resursy. Water Resources*. 2015, 42 (6): 581–588. doi: 10.7868/S0321059615060036. [In Russian].
5. *Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A.* Inside the annual distribution of river flow with an assessment of the role of winter mezhdeni. *Vodnye resursy. Water Resources*. 2017. 44 (6): 603–611. doi: 10.7868/S0321059617060049. [In Russian].
6. *Vodnye resursy Rossii i ikh ispolzovaniye*. Water resources of Russia and their use. Ed. I.A. Shiklomanov. Sankt-Petersburg: State Hydrological Institute, 2008: 600 p. [In Russian].
7. *Pulliainen J.* Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations. *Remote Sensing of Environment*. 2006, 101: 257–269. doi: 10.1016/j.rse.2006.01.002.
8. *Takala M., Luojus K., Pulliainen J., Derksen C., Lemmetyinen J., Kärnä J., Koskinen J., Bojkov B.* Estimating Northern hemisphere snow water equivalent for climate research through assimilation of space-borne radiometer data and ground-based measurements. *Remote Sensing of Environment*. 2011, 115: 3517–3529. doi: 10.1016/j.rse.2011.08.014.
9. *Titkova T.B., Vinogradova V.V.* Snow cover endurance, according satellites data, at the territory of Russia in the beginning of XXI century. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2017, 57 (1): 25–33. doi: 10.15356/2076-6734-2017-1-25-33. [In Russian].
10. *Amstrong R.L., Brodzik M.J., Kummerow C.D., Jiang J., Uratuka S.* A twenty-four year record of northern hemisphere snow cover derived from passive microwave remote sensing. *Conference on microwave remote sensing of the atmosphere and environment III*. Bellingham. 2003, 4894: 373–380. doi: 10.1117/12.467772.
11. *Chang A.T.C., Foster J.L., Hall D.* Snow water equivalence determination by microwave radiometry. *Cold Regions Science and Technology*. 1982, 5: 259–267.