

УДК 551.482; 556.02

## ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ РЕК РУССКОЙ РАВНИНЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА\*

© 2012 г. С.В. Долгов, Н.И. Коронкевич

*Институт географии РАН*

Поступила в редакцию 20.12.2011 г.

Приведены результаты оценки гидрологических и гидроэкологических последствий наблюдаемых и возможных изменений температуры воздуха в холодный и теплый периоды на территории Русской равнины с учетом вертикальной неоднородности речного стока.

**Введение.** Температура воздуха относится к основным климатическим факторам, определяющим гидрологические особенности территории, экологическое состояние подземных и поверхностных вод. Связи температуры воздуха с различными гидрологическими и гидроэкологическими показателями, особенно в связи с проблемой потепления климата, анализируются в ряде работ. Однако в основном рассматриваются ее годовые значения. Сезонным особенностям этих связей и генетической неоднородности речного стока внимания уделяется всё же недостаточно.

Цель данной работы заключается в оценке гидрологических и гидроэкологических последствий изменений температуры воздуха на территории Русской равнины с учетом генетической неоднородности речного стока и сезонных особенностей связи температуры воздуха и осадков.

**Методические особенности исследований.** Изменение температуры воздуха приводит к изменению влагообмена и вещественного обмена между элементами высотно-пространственной дифференциации речных бассейнов (атмосферным слоем, растительностью, поверхностным слоем почв, зоной аэрации и зоной насыщения). На водосборной площади изменяются не только величина, но и режим основных элементов водного баланса. Изменяется также термический режим почвогрунтов зоны аэрации и подземных вод зоны насыщения. Колебания температуры приводят и к изменениям в химическом составе поверхностных склоновых и грунтовых вод. Перечисленные

особенности реакции водосборов на изменение температуры воздуха отражаются в свою очередь и на гидрологических процессах, происходящих в речном русле. Изменяются при этом величина и режим водного, твердого и ионного стока, ледовые и термические процессы. Все эти изменения в гидрологических процессах с точки зрения условий жизнедеятельности человека и условий существования биоты могут быть как благоприятными, так и негативными, в том числе и при потеплении климата на Русской равнине.

Многие из гидроэкологических проблем формируются вследствие изменения речного стока природными и антропогенными факторами. Для оценки реакции стока на изменение климата необходимо исключить влияние антропогенных преобразований речных водосборов. Без этого использование в качестве аналогов будущих ситуаций, наблюдаемых в настоящее время изменений стока по территории или во времени, предполагает сохранение характера хозяйственной деятельности, что маловероятно. Более реалистичной представляется гипотеза о практической ее неизменности на коротких промежутках времени. В этом случае появляются дополнительные возможности для минимизации влияния антропогенных воздействий путем преобразования исходных рядов наблюдений в ряды отклонений величин стока и факторов каждого последующего года ( $i$ ) от предыдущего ( $i-1$ ). Для рядов стока, например, это преобразование имеет вид

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}.$$

Подобный подход был применен и к ряду метеорологических факторов. Такое преобразование

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00838а) и программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН (№ 13).

позволяет анализировать изменения структуры стока, обусловленные преимущественно климатическими изменениями.

В гидрологических расчетах, в том числе прогнозного характера, коррелированность метеорологических факторов часто рассматривается лишь как “препятствие” на пути повышения достоверности получаемых результатов или как осложнение при выявлении роли конкретного фактора. Однако взаимосвязь между факторами стока целесообразно рассматривать и в аспекте возможного ее учета, а не только исключения.

Предлагаемый подход дает возможность не только вычленять климатическую составляющую в многолетних колебаниях стока и его составляющих, но и осуществлять при определенных условиях ориентировочные прогнозные оценки изменений стока в связи с возможными изменениями климата, в том числе в результате глобального его потепления. Правда, в отличие от календарных прогнозов такие сценарные прогнозные оценки гидрологических последствий позволяют прогнозировать сроки их реализации. Тем не менее, они представляются весьма полезными, поскольку позволяют рассмотреть достаточно широкий спектр возможных изменений климата и стока.

**Исходная информация.** В качестве базовых в работе использованы данные многолетних наблюдений (по состоянию на 1980 г.) за атмосферными осадками по 162 метеостанциям. Они представлены 486 рядами осадков за гидрологический год (с ноября по октябрь) в целом, а также за холодный (ноябрь–март) и теплый (апрель–октябрь) периоды. Привлечены были также данные о температуре воздуха по 128 метеостанциям, дефиците влажности воздуха за теплый период года (июнь–сентябрь) по 168 пунктам, среднегодовой температуре воды в 78 реках и среднегодовой температуры поверхности почвы по 100 метеостанциям.

Другой массив исходной информации представлен многолетними наблюдениями за речным стоком и его составляющими по 192 гидрометрическим створам. Подземная составляющая определена путем генетического расчленения гидрографов по методике Б.И. Куделина. Поверхностная составляющая рассчитана по разности речного и подземного стока. В основном привлекались данные о стоке средних рек с площадями водосборов от 1000–1500 км<sup>2</sup> до 50 000 км<sup>2</sup> и находящихся в наименее измененных условиях формирования стока. Такие реки, как правило, дренируют типичные водоносные горизонты, и данные по их стоку отражают физико-географическую зональность.

Для проверки получаемых зависимостей привлечены данные за последние годы (1990–2007 гг.) по местному стоку [9], осадкам и температуре воздуха из базы данных ВНИИГМИ-МЦД.

**Наблюдаемая и возможная реакция стока на изменение температуры воздуха.** Температура воздуха относится к косвенным факторам стока, которые непосредственно не участвуют в его образовании. Тем не менее, это один из важнейших факторов, перераспределяющий сток по территории и изменяющий его во времени, а также определяющий экологическое состояние водных объектов. Причем температура воздуха влияет на реки как непосредственно, так и через ландшафтную структуру их водосборов и хозяйственную деятельность, поскольку существует ее связь с размерами водозаборов и безвозвратных изъятий воды [6]. Многие же виды хозяйственной деятельности сказываются на температуре воздуха, а в конечном счете и воды. Это относится и к антропогенным факторам потепления климата. Косвенное влияние температуры воздуха на сток и состояние рек оказывается и через коррелированные с ней метеорологические факторы – испарение и осадки.

Ранее для территории Русской равнины по пространственным градиентам среднесезонного годового стока была установлена зависимость его от годовой температуры воздуха без учета ее сезонных особенностей и структуры стока [7]. В продолжение этой работы для оценки пространственного градиента изменения структуры стока, включающей поверхностную и подземную составляющие, использовались данные по 49 административным областям [2]. Сначала были установлены корреляционные зависимости от годовой температуры воздуха ( $t$ ) суммарного годового стока ( $Y_{\text{сум}} = -200\text{Ln}(t) + 456.61$ ), его поверхностной ( $Y_{\text{пов}} = -139.04\text{Ln}(t) + 319.19$ ) и подземной ( $Y_{\text{под}} = -60.96\text{Ln}(t) + 137.39$ ) составляющих. Затем по ним определено изменение показателей стока, приходящееся на 0.1° изменения температуры. В итоге получено зонально-межзональное распределение температурных градиентов речного стока, поверхностной и подземной его составляющих (рис. 1).

Задавая данные об изменении температуры, можно с использованием полученных градиентов ориентировочно определить, насколько температура может повлиять на изменения структуры стока при изменении ее на 0.1°. Наибольшая величина градиента речного стока и его составляющих наблюдается в северных районах с низким испарением – 6.5–8 мм снижения стока на 0.1° увеличения температуры (для поверхностного и подземного стока соответственно – 4.5–5.5 мм и

2–2.5 мм). При увеличении температуры, в том числе в связи с глобальным потеплением климата, здесь может наблюдаться наиболее существенное снижение стока. Не столь заметно оно в засушливых южных районах. В южном направлении величина температурного градиента снижается до 2.3–2.5 мм уменьшения полного стока на каждую  $0.1^\circ$  роста температуры (для поверхностного и подземного стока соответственно – 1.6–1.7 мм и 0.7–0.8 мм). Причем структура пространственно-температурного градиента стока по территории остается практически постоянной. Везде повышение температуры на  $0.1^\circ$  приводит к уменьшению поверхностного стока на 70% и подземного на 30% (относительно градиента полного стока).

Использование в прогнозных целях пространственных температурных градиентов стока (рис. 1) предполагает принятие гипотезы об эргодичности и замену временных выборок пространственными. Такая необходимость возникает при отсутствии однородных временных рядов наблюдений. При их наличии и сведении к минимуму хозяйственных различий целесообразно рассчитывать градиенты по этим рядам. Это позволяет непосредственно, а не косвенно, учитывать особенности межгодовых колебаний анализируемых показателей. Временные градиенты получены при сопоставлении рядов отклонений величин стока и его факторов каждого последующего года от предыдущего.

Применение представленных на рис. 1 зависимостей для прогнозирования возможных изменений стока осложнено тем, что они отражают картину, соответствующую лишь наблюдаемому среднемноголетнему соотношению температур холодного и теплого периодов, которое в последние десятилетия существенно изменилось. Кроме того, изменения во времени такого важного стокообразующего фактора, как годовые осадки, практически не зависят от изменений годовой температуры. Коэффициент корреляции их многолетних колебаний в среднем для рассматриваемой территории равен лишь  $-0.14$ .

Однако к другому выводу можно прийти, если учесть сезонные особенности. Так, между колебаниями осадков и температуры холодного периода наблюдается достаточно тесная зависимость ( $r = 0.63$ ). В среднем одному градусу роста температуры холодного периода соответствует увеличение осадков на 10 мм. Но в теплый период, когда возрастает роль испарения, зависимость становится обратной ( $r = -0.30$ ). И росту температуры соответствует уже снижение осадков – 16 мм на один градус. Таким образом, если в холодный период рост температуры ведет к увеличению осадков и стока, то в теплый период, напротив, – к их уменьшению.

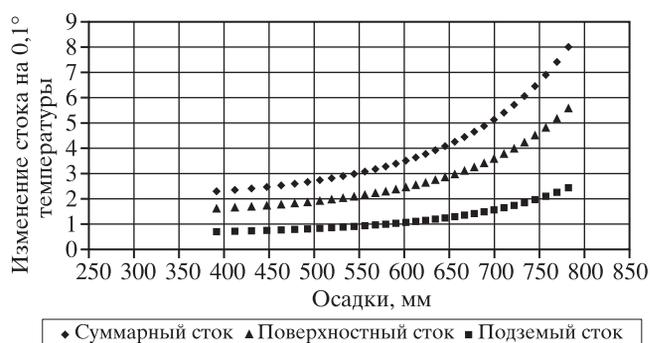


Рис. 1. Уменьшение речного стока и его составляющих на территории Русской равнины при увеличении годовой температуры воздуха на  $0.1^\circ$  в зависимости от годовых осадков.

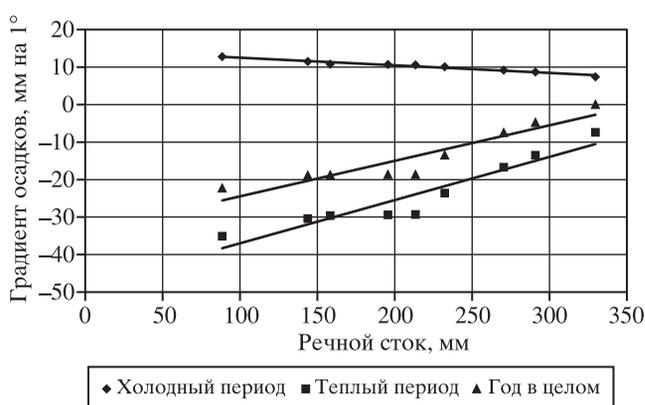


Рис. 2. Изменение осадков при повышении температуры на 1 градус на территории Русской равнины при различных значениях зонального речного стока.

С учетом связи температуры воздуха и осадков получается, что изменение годовой температуры на одну и ту же величину, например, ее рост на  $1^\circ\text{C}$ , сопровождается разным по территории изменением осадков в зависимости от физико-географической зональности, в качестве показателя которой использовался среднемноголетний речной сток (рис. 2). В северных районах увеличение осадков холодного периода компенсируется почти таким же снижением осадков теплого периода, и за год в целом осадки снижаются лишь на 2 мм на один градус роста температуры. Иная ситуация складывается в южных районах, где увеличению в холодный период температуры на  $1^\circ\text{C}$  соответствует рост осадков (более чем на 13 мм) и уменьшение их в теплый период (до 38 мм и менее). В итоге за год наблюдается значительный отрицательный градиент – 25 мм снижения осадков на каждый градус роста температуры. При этом формируются предпосылки существенного ухудшения состояния водных ресурсов.

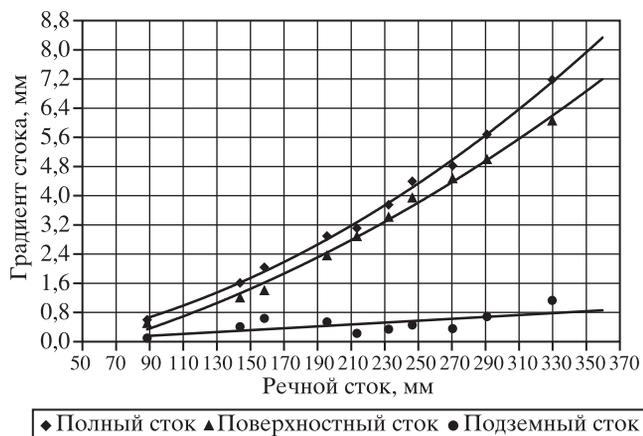


Рис. 3. Градиенты увеличения стока и его составляющих при росте годовых осадков на 10 мм в зависимости от среднего многолетнего стока на территории Русской равнины.

Из-за разнонаправленности влияния температур холодного и теплого периодов оценка возможных изменений стока непосредственно по изменениям среднегодовой температуры, если не выдерживаются ранее выявленные пропорции в соотношении температуры холодного и теплого периодов, не целесообразна. Сценарные прогнозные расчеты необходимо проводить отдельно для каждого из периодов. Предлагаемой схемой прогноза изменений стока это обстоятельство учитывается. В ней по известным температурным градиентам осадков – их изменению, приходящемуся на один градус изменения температуры (рис. 2), рассчитываются соответствующие изменения осадков за каждый период. Причем в теплый период изменения осадков более тесно связаны с изменениями дефицита влажности воздуха ( $r = -0.61$ ), чем с изменениями температуры ( $r = -0.30$ ). Поэтому для теплого периода сначала целесообразно определять изменение дефицита влажности по заданному изменению температуры, затем по нему рассчитывать изменение осадков. После этого суммированием можно определить изменение осадков за год в целом. Дальнейшие расчеты производятся уже по изменению стока в зависимости от изменения осадков (рис. 3).

Возможность применения предлагаемой методики для оценки возможных климатических изменений структуры стока оценена на независимом материале. С этой целью по 15 административным областям европейской части России использовались данные по местному стоку за период 1990–2007 гг. [9], а также осадки и температура воздуха из базы данных ВНИИГМИ-МЦД. Было выделено два интервала с близким характером антропогенной нагрузки: 1990–1998 гг. и 1999–2007 гг., данные по которым в расчетах ранее не использо-

вались. Для каждого временного интервала были рассчитаны средние значения стока, осадков и температуры за холодный и теплый периоды, а также изменения за 1990–2007 гг. этих осредненных характеристик. Гидрометеорологические показатели за 1990–1998 гг. рассматривались в качестве известных, а их изменения в 1999–2007 гг. – в качестве сценарных прогнозных. Задача заключалась в прогнозе по этим изменениям средних величин стока за период 1999–2007 гг. Причем задавались не абстрактные независимые значения изменений осадков и температуры, а реально наблюдаемые – с взаимосвязью между ними. Расчеты показали, что предлагаемая схема оценки возможных изменений стока по задаваемому изменению температуры является удовлетворительной. Коэффициент корреляции прогнозных и наблюдаемых значений стока равен 0.76. Осредненная относительная ошибка составила 7.5%.

В связи с невозможностью в настоящее время достоверно предвидеть изменения климата даже на ближайшие десятилетия, для оценки гидрологических последствий целесообразно использовать различные сценарии этих изменений. В таблице представлены результаты прогнозов изменений структуры стока, полученные с помощью рассмотренной методики для двух сценариев возможного изменения температуры воздуха и обобщенные в пределах крупных территориальных выделов. В первом случае задавался рост годовой температуры на 2 °С, обусловленный повышением температуры холодного периода на 4.8 °С, но при неизменной температуре теплого периода. А во втором случае предполагается увеличение годовой температуры на 3 °С и сохранение наблюдаемого в последние годы трехкратного превышения роста температуры холодного периода (на 4.8 °С) над ростом температуры теплого периода (на 1.6 °С). Наиболее существенное изменение структуры стока возможно при реализации первого сценария. Для территории в целом в этом случае суммарный сток ( $\Delta Y$ ) может вырасти на 7.2%, а поверхностная ( $\Delta Y_{\text{пов}}$ ) и подземная ( $\Delta Y_{\text{под}}$ ) его составляющие – соответственно на 9 и 4.2%.

Во втором сценарии рост осадков в холодный период в значительной мере компенсируется их уменьшением в теплый период, особенно в южных степных районах. По территории в целом прогнозируется небольшое увеличение полного стока (на 2.3%), поверхностной (2.9%) и подземной (1.1%) составляющих. Причем наиболее существенное увеличение стока возможно в северных таежных районах, в то время как в южных степных районах сток может не измениться, или возможно даже некоторое его уменьшение и ухудшение гидроэкологической ситуации. Этот сценарий достаточно

**Таблица.** Возможная реакция стока рек Русской равнины на изменение температуры воздуха.

Территория	Сценарий 1						Сценарий 2					
	$\Delta Y$		$\Delta Y_{\text{пов}}$		$\Delta Y_{\text{под}}$		$\Delta Y$		$\Delta Y_{\text{пов}}$		$\Delta Y_{\text{под}}$	
	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм
Русская равнина в целом	7.2	17.3	9	15	4.2	2.3	2.3	6.3	2.9	5.5	1.1	0.8
Северная тайга	8	26.5	11.1	23.1	3.8	3.4	4.6	15.5	6.3	13.5	2.2	2
Средняя тайга	8	22.5	9.5	19.7	4.1	2.8	3.3	9.8	4	8.5	1.7	1.3
Южная тайга	7.4	16.1	9.1	14	3.8	2.1	1.8	4.3	2.2	3.7	0.9	0.6
Лесостепь	6.4	10.1	7.6	8.4	4.7	1.7	0.7	1.3	0.9	1.1	0.4	0.2
Степь	3.9	3.3	3.8	2.1	4.8	1.2	0	0	0	0	0	0
Бас. Сев. Двины	8.2	25.2	8.8	22.2	5.3	3	4	12.2	4.2	10.6	2.8	1.6
Бас. Волги	7.2	13.8	8.6	11.8	3.8	2	1.3	2.4	1.5	2.1	0.6	0.3
Бас. Дона	3.8	2.7	3.1	1.7	5.6	1	-0.09	-0.06	-0.08	-0.04	-0.13	-0.02
Вологодская обл.	8	21.8	8.9	19.1	4.6	2.7	3	8.3	3.4	7.3	1.7	1
Московская обл.	7.2	13.6	9.1	11.6	3.4	2	1.2	2.3	1.6	2	0.5	0.3
Воронежская обл.	3.8	2.7	3.2	1.7	5.3	1	-0.09	-0.07	-0.08	-0.04	-0.12	-0.03

реалистичен. Так, расчеты показали, что за 1999–2007 гг. по сравнению с периодом 1951–1989 гг. температура за год увеличилась в среднем на  $1.3^\circ$ , в том числе за холодный период – на  $1.9$  градуса и за теплый – лишь на  $0.8^\circ$ . На возможность такого сценария указывает также тенденция увеличения за период 1970–2005 гг. годового речного стока в северной части бассейна Волги и его уменьшение в южных районах [1].

Распределение по территории Русской равнины прогнозного изменения (в %) структуры стока при росте годовой температуры воздуха на  $3^\circ$  и трехкратном превышении роста температуры холодного периода над ростом температуры теплого периода и связанного с этим увеличения атмосферных осадков показано на рис. 4 а, б, в.

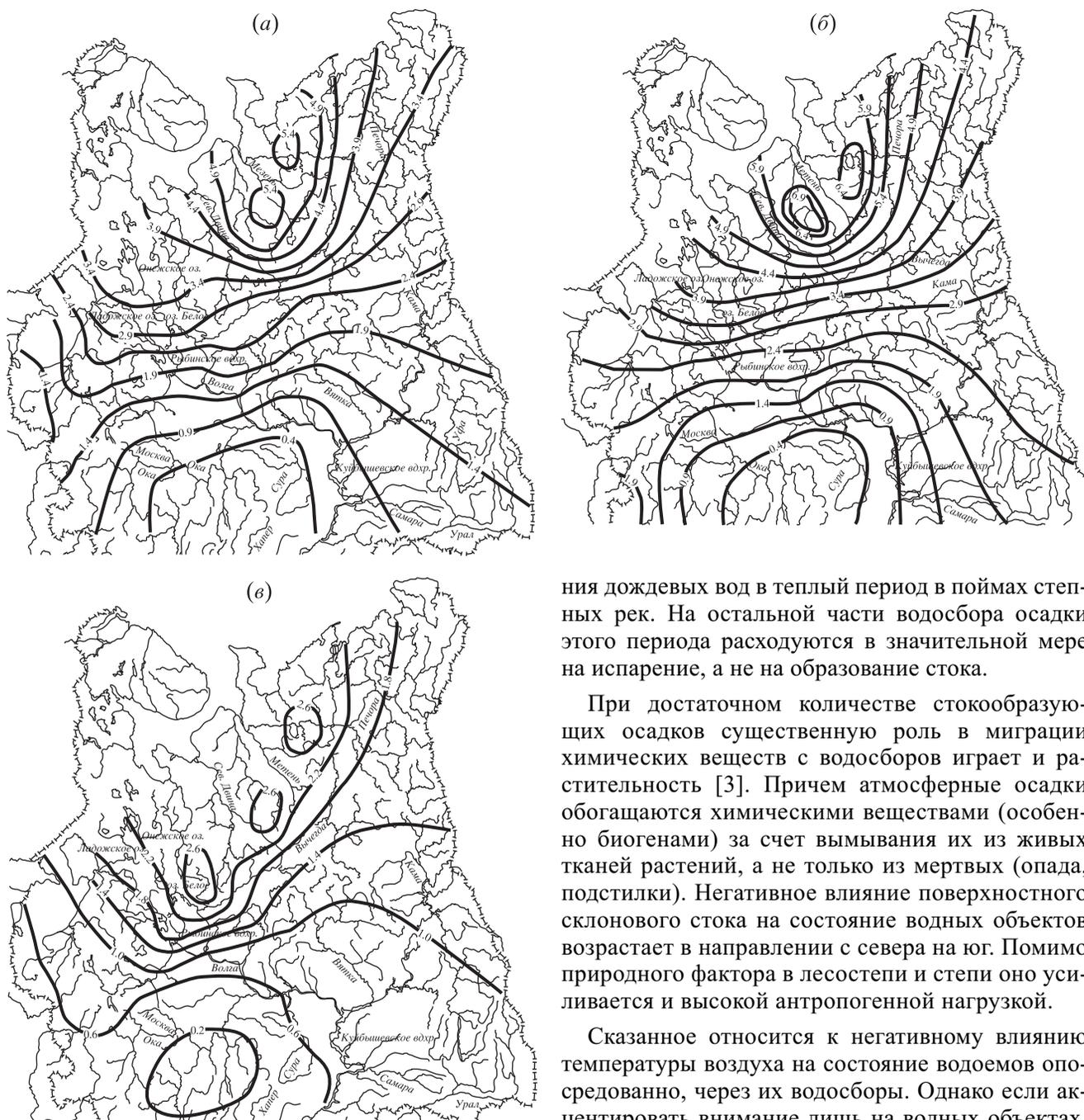
**Гидроэкологические последствия изменения температуры воздуха.** Влияние температуры воздуха на состояние рек осуществляется в двух основных аспектах. Во-первых, она во многом определяет температуру воды, от которой в свою очередь зависит величина испарения, степень зарастаемости и эвтрофикации рек, возможность их использования в рекреационных целях, концентрация в водной среде различных химических веществ, интенсивность процессов самоочищения, продолжительность ледостава и толщина льда и другие гидроэкологические параметры. На рис. 5 представлена зависимость годовой температуры воды от годовой температуры воздуха. В среднем одному градусу роста температуры воздуха соответствует повышение температуры воды на  $0.64^\circ\text{C}$ . В пределах рассматриваемой территории среднегодовая температура воздуха изменяется с се-

веро-востока на юго-запад в интервале от  $-5.5^\circ\text{C}$  до  $10^\circ\text{C}$ , а речных вод – от  $4^\circ\text{C}$  и менее до  $11^\circ\text{C}$  и более.

Не менее важным представляется и косвенное влияние температуры воздуха, оказываемое на водосборы, а, в конечном счете, и на водные объекты. Она во многом определяет ландшафтные особенности водосборов, глубину промерзания почвогрунтов (или сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород), дружность снеготаяния, интенсивность водного, твердого и химического стока со склонов, величину испарения поверхностных и грунтовых вод и др.

При прочих одинаковых условиях, чем выше температура воздуха и тесно с ней связанная температура почвогрунтов (рис. 6), тем интенсивнее на водосборах физико-химические (растворение и выщелачивание) и биохимические процессы, в том числе в зонах аэрации и насыщения, усиливается их негативное влияние на состояние водных объектов. Среднегодовая температура многолетних мерзлых пород составляет  $-1.5\dots-2.0^\circ\text{C}$  и менее в Большеземельской тундре и на полуострове Канин, где они широко распространены [8]. На юге лесной зоны температура поверхностного слоя почв достигает уже  $8-8.5^\circ\text{C}$  и увеличивается до  $11^\circ\text{C}$  в сухих степях Ростовской области.

Для выявления гидроэкологических особенностей реакции рек на изменение температуры воздуха важно учитывать сезонный аспект. Весной минерализация поверхностного склонового стока обычно не высокая. Летом, при контакте дождевой воды с хорошо прогретой почвенной поверхностью, она может значительно возрастать. Из лабораторного эксперимента следует, что минера-



**Рис. 4.** Прогнозное увеличение (в %) речного стока (а), поверхностной (б) и подземной (в) его составляющих при росте годовой температуры на 3 ° и трехкратном превышении роста температуры холодного периода над ростом температуры теплого периода.

лизация поверхностно-почвенных вод в типчакво-ковыльной степи на южном черноземе может увеличиваться в 2 раза при росте температуры от 0 до 40 °С (рис. 7). С повышением температуры усиливается миграционная способность химических элементов и вероятность загрязнения грунтовых вод и рек. Особенно велика вероятность загрязне-

ния дождевых вод в теплый период в поймах степных рек. На остальной части водосбора осадки этого периода расходуются в значительной мере на испарение, а не на образование стока.

При достаточном количестве стокообразующих осадков существенную роль в миграции химических веществ с водосборов играет и растительность [3]. Причем атмосферные осадки обогащаются химическими веществами (особенно биогенами) за счет вымывания их из живых тканей растений, а не только из мертвых (опада, подстилки). Негативное влияние поверхностного склонового стока на состояние водных объектов возрастает в направлении с севера на юг. Помимо природного фактора в лесостепи и степи оно усиливается и высокой антропогенной нагрузкой.

Сказанное относится к негативному влиянию температуры воздуха на состояние водоемов опосредованно, через их водосборы. Однако если акцентировать внимание лишь на водных объектах, то можно прийти и к другому выводу. Известно, что с ростом температуры воды самоочищающая способность водных объектов в целом усиливается [5]. При этом увеличивается скорость протекания многих химических реакций, более интенсивной становится жизнедеятельность гидробионтов (при достаточном содержании кислорода). Они минерализуют органические соединения, накапливают вредные вещества и осаждают их на дно. С изменением температуры изменяется и величина рН, от которой зависят миграционная способность элементов и выпадение осадка, условия жизнедеятельности водных растений и животных.

На тенденцию увеличения самоочищающей способности с ростом температуры накладывает свой отпечаток сезонный фактор. Зимой (особенно в северных регионах) низкая температура воздуха приводит к продолжительному ледоставу, во время которого кислорода часто оказывается недостаточно для нормальной жизнедеятельности гидробионтов и процессов самоочищения. Летом (особенно на юге территории) экстремально высокая температура воздуха может также сопровождаться дефицитом кислорода и ухудшением состояния водных объектов.

Другой важной составляющей процессов самоочищения водных объектов является разбавление. Разбавляющая способность обычно определяется по величине стока. Роль разбавляющей способности в самоочищении водных объектов снижается с севера на юг, в то время как роль температурной составляющей, напротив, возрастает [5]. Чем меньше сток, тем острее складывается гидроэкологическая ситуация. В особенно неблагоприятном положении оказываются многие малые реки в зимнюю и летне-осеннюю межень с низкой водностью.

В последние десятилетия в основных чертах реализуется рассмотренный выше второй сценарий реакции стока на изменение температуры. Наблюдающийся рост температуры воздуха, особенно в холодный период года, сопровождается на значительной части Русской равнины, особенно в лесной зоне, улучшением условий формирования в первую очередь подземной составляющей стока, главным образом за счет увеличения осадков, участвовавших оттепелей и уменьшения глубины промерзания. Это служит одной из важных причин современного увеличения стока, разбавляющей способности рек в отношении поступающих в них загрязнений. Оздоровлению гидроэкологической ситуации способствует и увеличение притока в речные русла подземных вод, как правило, более высокого качества, чем поверхностные склоновые воды. Экологическим плюсом является также уменьшение неравномерности внутри-годового распределения стока – снижение пиков половодий и увеличение стока межени [1].

Однако в южных лесостепных и степных районах более существенную роль играет рост температуры и дефицита влажности воздуха в теплый период и соответственно увеличение испарения. Дополнительное питание, получаемое подземными водами за счет инфильтрации дождевых и талых вод во время оттепелей в холодный период, практически полностью в летне-осеннюю межень уходит на компенсацию возросшего испарения. Годовой сток не растет и даже несколько уменьшается [1], что наряду с высокой температурой

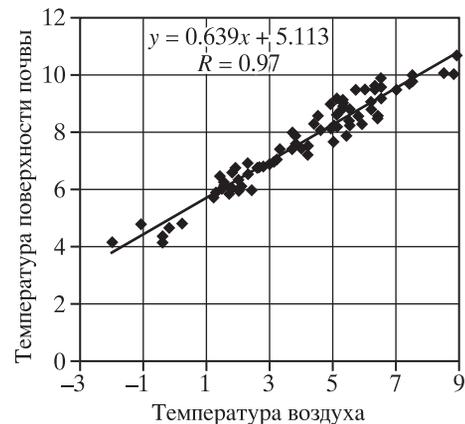


Рис. 5. Зависимость годовой температуры воды в реках Русской равнины от годовой температуры воздуха.

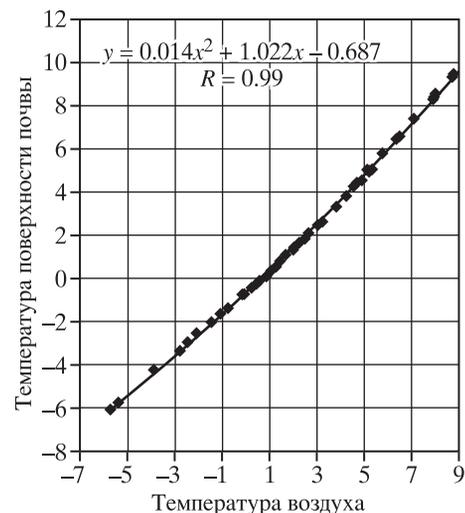


Рис. 6. Зависимость годовой температуры поверхности почвы от годовой температуры воздуха на Русской равнине.

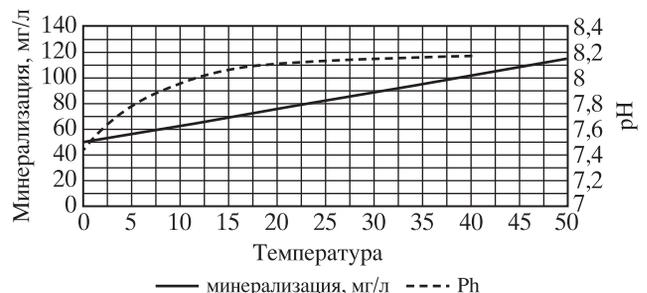


Рис. 7. Зависимость минерализации и pH поверхностно-почвенных вод от их температуры (южный чернозем, типчаково-ковыльная степь, бассейн р. Бузулук).

воды в теплый период негативно сказывается на состоянии речных вод. Особенно острая гидроэкологическая ситуация складывается в отдельные годы с экстремально высокими летними температурами, например, в 2010 г.

**Заключение.** Для территории Русской равнины оценены наблюдаемые и возможные гидрологические и гидроэкологические последствия изменений температуры воздуха при близком антропогенном фоне, с учетом генетической неоднородности речного стока и сезонных особенностей связи температуры воздуха и осадков.

Показано, что годовая температура воздуха представляет собой неоднозначный фактор стока. Если ее повышение обусловлено главным образом ростом температуры в холодный период, то это сопровождается увеличением осадков, поверхностного и подземного стока и позитивно сказывается на состоянии водных объектов. Потепление климата за счет роста температуры в теплый период, напротив, связано с ростом дефицита влажности воздуха, испарения и уменьшением осадков и стока. Наиболее вероятным становится ухудшение состояния ресурсов поверхностных и подземных вод, особенно в южных регионах. Конечный результат зависит от сезона, в который происходят наибольшие изменения температурного режима.

Выявленные закономерности пространственных и временных изменений стока, обусловленные вариациями температуры воздуха в холодный и теплый сезоны, позволяют давать прогнозную оценку, допуская, что и в будущем сохранятся современные пропорции в его реакции на изменения климата. Выбирая тот или иной прогнозный сценарий изменения температуры воздуха, целесообразно учитывать и соответствующие им, коррелятивно связанные, изменения дефицита влажности воздуха и осадков.

Выполнена прогнозная оценка распределения по территории Русской равнины возможного изменения речного стока, его поверхностной и подземной составляющих. При сохранении в будущем существенного превышения роста температуры воздуха в холодный период над ростом температу-

ры теплого периода, что наблюдается в последние годы, на значительной части Русской равнины возможен рост поверхностного и подземного стока и оздоровление гидроэкологической ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Повалишников Е.С. и др. Оценка влияния изменений климата на водный режим и ресурсы поверхностных и подземных вод бассейна Волги // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. III. Управление водными ресурсами речных водосборов. Тр. Междунар. науч.-практ. конф. (17–20 мая 2011 г., Пермь). Перм. гос. ун-т. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2011. 222 с.
2. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. 199 с.
3. Долгов С.В., Шапоренко С.И., Сенцова Н.И. Современное состояние водных ресурсов в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 4(44). С. 49–62.
4. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Высотно-пространственный и пространственно-временной анализ водного баланса европейской части России // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 2. С. 134–149.
5. Зайцева И.С. Географические подходы к оценке природных предпосылок гидроэкологических проблем // Географо-гидрологические исследования. М.: Москов. центр Географ. об-ва РФ, 1992. С. 121–129.
6. Коронкевич Н.И. Влияние природных факторов на водопотребление // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1972. № 5. С. 54–63.
7. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. О влиянии изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 5. С. 64–70.
8. Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1984. 608 с.
9. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество. Ежегодное издание // Водный кадастр Российской Федерации. 1990–2007 гг.

## Peculiarities of the Russian Plain Rivers Response to the air Temperature Change

S.V. Dolgov, N.I. Koronkevich

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences*

The results of evaluation of hydrological and hydro-ecological effects of the observed and potential changes in air temperature in the cold and warm periods in the territory of the Russian Plain are shown, taking into account the vertical inhomogeneity of the river flow.