ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2014, № 5, с. 56–66

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 556.535.4

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ[1]

© 2014 г. Н.И. Алексеевский*, Е.О. Кузьмина*, А.А. Базелюк**

*Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
** Северо-Кавказское УГМС Росгидромета

Поступила в редакцию 19.12.2012 г.

В работе проведен анализ особенностей термического режима рек на юге европейской территории России (ЕТР). Изменения термического режима рек сопоставлены с изменением природных и антропогенных факторов.

Введение. В последние 3–4 десятилетия происходят существенные изменения гидрологического режима рек в разных регионах России и, в частности, на юге ЕТР. Указанные изменения связаны в основном с общим потеплением климата. В зависимости от географического расположения этих регионов находится степень изменения режима температуры воздуха и атмосферных осадков, что находит отражение в трансформации режима речного стока [11]. Степень изменения гидрологического режима возрастает или уменьшается под влиянием зонального изменения факторов формирования стока воды, наносов, химических веществ и биологических субстанций, а также вследствие воздействия орографических и гидрографических особенностей водосборных территорий на режим изменения гидрологических характеристик.

Изученность этих процессов для различных видов речного стока неодинакова. Изменения средних и экстремальных расходов воды рек на юге ЕТР оценены с достаточной детальностью [2, 9–11]. В меньшей степени известны оценки климатических изменений других составляющих речного стока. В частности, это касается теплового стока и термического режима рек. Имеющиеся публикации по исследованию характеристик термического режима рек с разной степенью детальности дают представление о региональных тенденциях изменений температуры речной воды [11, 12], в устьях крупнейших рек региона [2, 5, 7–8, 13] или в локальных створах рек под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности [4, 9, 14]. В последние 20−30 лет закономерности пространственно-временного изменения температуры речных вод практически не изучались. Поэтому главной целью данной статьи является анализ особенностей трансформации термического режима рек на юге ЕТР, отличающемся по широкому спектру природных факторов.

Материалы и методы исследования. В качестве северной границы исследуемой территории принята условная линия, проходящая южнее плотины Цимлянского водохранилища и далее следующая в сторону г. Волгоград. На юге граница региона совпадает с государственной границей между Российской Федерацией, Грузией и Азербайджаном. На востоке она совпадает с российским побережьем Каспийского моря, морским краем дельты Волги, расположением государственной границы с Казахстаном, восточного берега Ахтубы (до г. Волгоград). С запада район исследований ограничен российским побережьем Черного и Азовского морей, морским краем и западной границей устьевой области Дона.

В пределах исследуемой территории расположено несколько орографических зон: Приазовье, Прикаспийская низменность, Предкавказье, северный склон Большого Кавказа, южный склон Большого Кавказа [11]. Они отличаются по абсолютным высотам местности и степени расчлененности рельефа. Абсолютные высоты местности изменяются от минус 27.0 м на побережье Каспийского моря до 5642 м (г. Эльбрус).

[1] Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00069) и гранта Правительства РФ (№ 11.G.34.31.00077) для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских вузах.

Особенности термического режима рек региона изучены на основе анализа данных по 37 рекам. В зависимости от размера рек находится их термический режим. Крупные и средние реки прогреваются и остывают медленнее по сравнению с малыми водотоками. Поэтому в одинаковых климатических условиях максимальные значения температуры воды в руслах средних рек относительно понижены, а в руслах малых рек – повышены. С другой стороны, более крупной реке соответствует большая водоносность и теплосодержание водной массы.

Наиболее крупные реки на юге ЕТР – Волга, Самур, Терек, Сулак (бассейн Азовского моря) Дон, Кубань (бассейна Азовского моря), Мзымта (бассейн Черного моря). В пределах Прикаспийской низменности реки отсутствуют. В направлении с юга на север несут воды рр. Кума, Егорлык и Калаус. Две последние реки впадают в озеро Маныч-Гудило и могут рассматриваться в качестве элементов русловой сети р. Маныч, вытекающей из этого озера и впадающего в р. Дон [10].

Для большинства крупных рек характерно рассредоточение стока воды по системам гидравлически взаимосвязанных дельтовых водотоков [3]. Бифуркация русла достигает максимума в дельте Волги, где русловая сеть включает более 500 водотоков [13, 19]. В устьевой области Дона процессы рассредоточения стока по длине главной реки сочетаются с впадением в нее притоков (р. Маныч). В структуре дельтовых водотоков р. Дон ниже ст. Раздорская представлено 13 основных водотоков. В дельте Кубани их существенно меньше, а Сулак, Мзымта и многие другие реки впадают в море без разделения на дельтовые рукава. В устьевой области Терека основное русло реки (Каргалинский прорыв) дополняется системой обводнительных каналов, которые в основном наследуют русла дельтовых рукавов от более древних циклов эволюции дельты [6]. Наличие или отсутствие дельты в устьевой области – важный фактор изменения теплового состояния водотоков вследствие неодинаковой реакции водной массы всей реки и ее отдельных рукавов на изменение температуры воздуха и радиационного баланса. Влияние этого фактора зависит от водоносности дельтового рукава, определяющего их условный порядок $N_у$ [1–3].

Все изученные реки по площади водосбора (F) делятся на крупные (F > 50 тыс. км^2 – 3%), средние (5 тыс. км^2 > F < 50 тыс. км^2 – 62%) и малые (F < 5 тыс. км^2 – 35%). В зависимости от размера рек и наличия в их бассейнах горных территорий их термическое состояние и режим в большей или меньшей степени зависят от транзита речной воды, формирующейся в средне- и высокогорном поясах. Термический режим всех изученных полугорных (средних) и горных (малых) рек находится под существенным влиянием этого фактора. Равнинные реки (средние и малые) имеют зональный гидрологический (и, в частности, термический) режим. Он характерен для 21% изученных водотоков. Для низовий Волги, Дона и Кубани свойственны полизональные черты гидрологического режима, которые изменены вследствие регулирования речного стока. Из изученных рек лишь одна малая равнинная река (Ташла) имеет азональные черты гидрологического режима.

Для рек региона характерно мощное влияние хозяйственной деятельности. Оно проявляется в трансформации гидрографической сети территории [4], изъятии и межбассейновом перераспределении водных ресурсов [8, 10–11]. Например, сток рр. Зеленчук, Калаус, Маныч увеличился после переброски в них части стока Кубани [10].

Однако режим температуры воды в реках на юге России в наибольшей степени определяется зональными климатическими факторами [15, 16]. Исследуемая территория находится в зоне умеренно-континентального климата. В целом для юга ЕТР характерно возрастание континентальности климата с запада на восток и с севера на юг. Оно сопровождается увеличением абсолютных величин максимальных и минимальных температур воздуха. Максимум экстремальных значений температур воздуха характерен для севера центральной части Предкавказья, что соответствует максимальной величине индекса континентальности климата K, являющийся числовой характеристикой континентальности климата, наиболее важной характеристикой которой служит величина годовой амплитуды воздуха, возрастающая с увеличением континентальности [20]. Зональные особенности термического режима атмосферы относительно слабо изменяются под влиянием орографического фактора. При повышении местности от уровня моря до отметок 1400 м индекс континентальности уменьшается в среднем на 2%. Соответствие между индексом K и абсолютной высотой местности $H_{абс}$, характеризует уравнение (r = 0,89):

$$K = -1 \cdot 10^5 H_{абс} + 0.9. \quad (1)$$

Изменение средней годовой температуры воздуха зависит от зонального притока солнечной радиации к земной поверхности, термического режима воздушных масс, характерных для региона и особенностей его рельефа. Потепление или похолодание климата сопровождается соответ-

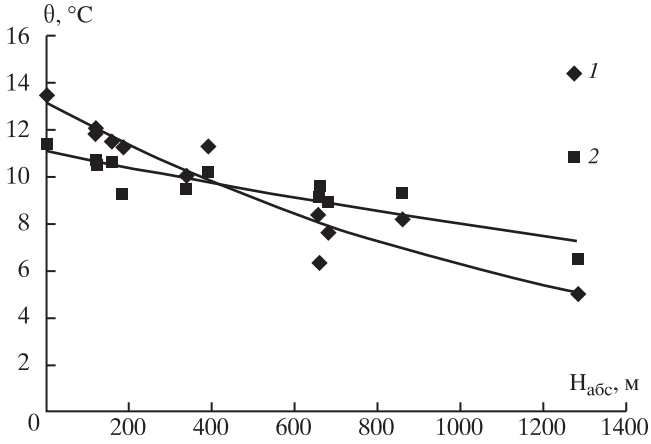

Рис. 1. Орографическое изменение температуры воды (*1*) и воздуха (*2*) в предгорьях Большого Кавказа

ствующим изменением температуры воздуха во времени. В целом для региона важной климатической границей стал 1958 г. В последующие годы устойчивое похолодание климата сменилось его относительным потеплением.

Термический режим анализировался для почти 40 водотоков. Створы наблюдений неравномерно распределены по исследуемой территории. Относительно большая плотность характерна для пунктов метеорологических наблюдений Северо-Кавказского УГМС Росгидромета (48 метеорологических станций). Температура воздуха в равнинной части региона оценивалась по 30 метеостанциям; в полугорной части юга ЕТР – по 12, а в ее горной части – по 6 метеостанциям.

Для анализа изменений термического режима рек региона использовались методы математической статистики и геоинформационных технологий. Оценка изменений термического режима рек проводилась за период 1966 −2008 гг. В пределах этого временного интервала выделяются две холодные (1966−1978 и 1990−1997 гг.) и две теплые фазы колебаний средней годовой температуры воздуха (1979−1989, 1998−2008 гг.), которые получены на основе анализа разностно-интегральных кривых среднегодовой температуры воздуха для разных частей исследуемой территории. Для оценки изменения термического режима рек использовалось сопоставление средней годовой температуры воды, ее среднемесячных и экстремальных значений, дат перехода температуры воды через характерные значения 0.2 и 10 °C.

Анализ результатов исследования. *Пространственные особенности термического режима рек.* Относительно небольшие размеры региона, его ориентация по отношению к господствующему переносу воздушных масс, небольшие различия местности по высоте (исключение предгорные и горные районы) предопределяют небольшие зональные различия в температурном режиме рек на юге России. Переход от северо-западных к юго-восточным границам региона сопровождается практически совпадающим понижением температуры воздуха ($\theta_в$) и речной воды θ (рис. 1, табл. 1), обусловленным в основном влиянием орографического фактора. Зависимости между температурами и абсолютной высотой местности имеют нелинейный характер:

$$\theta = 12.7e^{-0.0007H_{абс}}, \quad r = 0.98 \qquad (2)$$

$$\theta_в = 10.9e^{-0.0003H_{абс}}, \; r = 0.86 \qquad (3)$$

Согласно данным зависимостям увеличение абсолютных отметок местности приводит к понижению средней годовой температуры воздуха и речных вод. С 0 до 400 м абс. температура воздуха и воды синхронно убывают, при этом среднегодовая температура воздуха всегда меньше среднегодовой температуры речных вод. С отметки 400 м абс. среднегодовая температура воды становится ниже среднегодовой температуры воздуха до перехода среднегодовых значений температуры воздуха через 0 °C на высоте 2300 м абс. и выше.

Максимальные значения средней годовой температуры речных вод характерны для рек Приазовья, что обусловлено их небольшими водоносностью и скоростями течения, способствующими лучшему прогреву речных водных масс. Увеличение размера рек сопровождается аналогичным изменением их площади водосбора, длины рек, времени пребывания воды в речной сети территории и, следовательно, возрастанием среднегодовой температуры воды. При прочих равных условиях величина средней годовой температуры воды (θ) линейно зависит от средней годовой температуры воздуха ($\theta_в$) (коэффициент корреляции $r = 0.81$):

$$\theta = 1.4\theta_в - 2.7. \qquad (4)$$

На северном склоне Большого Кавказа температура воды рек определена зональными климатическими условиями и высотной поясностью, размером рек и соотношением источников их питания. Совместное влияние этих факторов обусловливает отсутствие общей зависимости для средней годовой температуры воды рек Большого Кавказа от средней годовой температуры воздуха. Закономерное соответствие этих переменных проявляется на районном уровне обобщения информации. Например, для рек в предгорьях Большого Кавказа она имеет вид ($r = 0.96$):

$$\theta = 0.8\theta_в + 1.1. \qquad (5)$$

На крупных реках, начинающихся в горах, температура воды повышается вниз по течению. Например, температура воды в р. Кубань в районе х. Дегтяревский (F = 7390 км^2) составляет 0.5 °С, а к Армавиру (F = 16 900 км^2) она повышается до 11.7 °С. Это соответствует повышению среднегодовой температуры воды в русле Кубани на 0.9 °С через каждые 100 км ее длины.

Величина средней годовой температуры речной воды зависит от соотношения источников питания рек. Реки с большим ледниковым питанием имеют более низкую среднюю годовую температуру воды по сравнению с реками, для которых этот источник питания не имеет существенного значения. Ниже ледников средняя за год температура воды составляет 2–3 °С. До высот 1000 м абс. температура воды повышается вниз по течению с интенсивностью 0.3 °С при понижении абсолютных отметок местности на каждые 100 м. Интенсивность нагревания речной воды возрастает до 0.5 °С на высотах 500–1000 м абс. и до 0.8 °С на высотах ниже 500 м абс. [17]. При средней высоте бассейна 2500–2810 м средняя годовая температура воды изменяется в пределах 3.7–7.2 °С (Теберда – 4.7, Уллукам – 3.7, Баксан – 6.9, Черек – 6.6 °С).

Внутригодовой ход температуры воды на всех реках региона практически одинаков. Он характеризуется плавным повышением температуры воды с февраля до июля–августа и достижением максимальных ее значений в июле–августе (до 23.9 °С). В дальнейшем температура воды сравнительно плавно понижается, достигая минимума в зимний период года (февраль). Наиболее заметны отличия внутригодового хода температуры воды в реках северного склона Большого Кавказа и Предкавказья. Для рек первого района нагревание водной массы происходит с февраля по август, а для рек Предкавказья – с февраля по июль. Примерно на один месяц дольше на реках этого района продолжается период охлаждения – с августа по январь. Водная масса равнинных рек быстрее прогревается и медленнее охлаждается, что придает внутригодовому распределению температуры воды более равномерный характер.

Внутригодовые изменения температуры речных вод тем больше, чем крупнее водоток и меньше средняя высота водосбора. Для рек южного склона Северного Кавказа и северных предгорий Большого Кавказа изменение теплового состояния рек имеет сходные черты. Для рек, имеющих невысокие водосборы, возрастает внутригодовая изменчивость температуры смежных месяцев.

Таблица 1. Внутригодовое распределение температуры воды рек региона (1996–2008 гг.)

Река – пост	Средняя месячная температура воды, °С													θ_{max}, °С	Дата
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год		
Приазовье, Предкавказье, Нижний Дон и Прикаспийская низменность															
Калаус – г. Светлоград	1.9	2.5	5.8	12.2	17.7	22.1	23.8	23.5	19.3	12.3	5.5	2.8	12.5	28.5	21.07
Мокрая Буйвола – пос. Прогресс	1.2	1.2	4.3	9.9	16.2	24.7	26.8	26.0	19.3	11.5	4.9	2.2	12.3	33.6	13.07
Челбас – ст. Каневская	1.5	1.7	5.7	12.7	19.9	23.9	26.1	25.6	20.0	13.5	6.4	2.3	13.3	30.3	28.07
Ташла – с. Донское	2.4	2.9	5.1	11.4	15.6	19.6	21.9	21.9	16.3	11.2	5.7	3.4	11.5	27.3	30.07
Северный склон Большого Кавказа															
Терек – г. Владикавказ	1.5	2.1	4.7	8.2	10.4	12.2	13.8	14.3	12.1	8.8	4.5	1.8	7.9	18.7	18.07
Казикумухское Койсу – с. Гергебиль	0.0	0.2	3.5	8.5	12.0	13.8	15.8	18.0	14.5	9.4	3.2	0.1	8.2	20.2	18.08
Кубань – г. Армавир	1.1	1.8	5.7	11.7	16.6	19.2	22.2	23.0	18.2	12.8	6.6	2.2	11.7	26.7	27.07
Белая – пгт Каменномостский	1.2	1.4	3.6	6.4	8.8	11.3	14.5	15.6	13.0	9.4	4.5	2.0	7.6	18.6	06.08
Адагум – г. Крымск	3.6	4.2	6.5	11.0	16.5	20.7	23.0	22.6	18.0	13.2	8.0	4.5	12.6	27.2	29.07
Южный склон Большого Кавказа															
Вулан – к.п. Архипо-Осиповка	5.3	5.4	7.6	11.8	16.4	20.0	23.3	23.9	19.6	15.4	10.5	6.8	13.8	28.2	31.07
Шахе – с. Солох-Аул	5.1	4.8	5.8	7.3	9.3	12.8	15.9	16.5	14.0	11.8	8.4	6.1	9.8	18.2	25.07
Мзымта – р.п. Красная Поляна	3.6	3.3	4.8	6.7	8.0	10.0	12.5	14.2	12.1	9.7	6.8	4.6	8.0	17.6	14.08

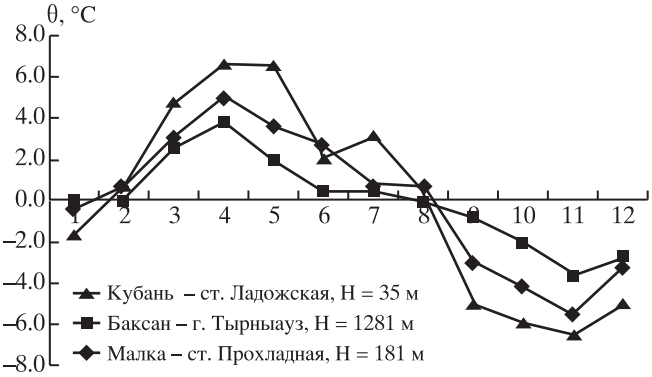

Рис. 2. Внутригодовая изменчивость температуры воды рек с разной высотой речного бассейна

Она достигает минимума для водотоков горных районов (рис. 2).

В предгорьях северного склона Большого Кавказа переход температуры воды рек через характерные значения (0.2 и 10 °C) в весенний период начинается соответственно в 1–3 декадах февраля и в конце марта. Даты перехода смещаются на более поздние сроки с ростом абсолютной высоты местности. На реках с ледниковым питанием переход температуры воды через 10 °C наблюдается в мае–июне (верховья Лабы, Белой, Самура). Аналогично изменяются даты перехода через характерные значения в осенний период. Наиболее ранний переход температуры воды через 10 °C осенью (сентябрь – начало октября) свойственен рекам с ледниковым питанием. Для остальных водотоков температура воды опускается ниже 10 °C преимущественно в конце октября – начале ноября.

Весеннее нагревание речных вод происходит наиболее быстро в руслах малых и средних водотоков Приазовья и центрального Предкавказья (Челбас, Сал, Кума, Калаус). Дата перехода температуры воды через 0.2 °C ($Д_{0.2}$) в руслах рек этих районов зависит от средней температуры воздуха за февраль $\theta_{вII}$ (r = 0.89):

$$Д_{0.2} = -10.45\theta_{вII} + 34.2. \quad (6)$$

Понижение или повышение средней температуры воздуха в феврале на 1 °C приводит к смещению даты перехода температуры воды через 0.2 °C на более поздний или ранний срок (в среднем на 10 суток).

Максимальные значения температуры воды (30–33.6 °C) достигаются в июле и свойственны рекам Приазовья и бассейна Кумы. Дата наступления максимальной температуры воды тесно связана со средней температурой воздуха за месяц, предшествующий ее наступлению. Для большинства рек района таким месяцем является июль. В этом случае зависимость между переменными имеет вид (r = 0.76):

$$Д_{\theta max} = 3.3\theta_{в_{VII}} + 126. \quad (7)$$

На реках региона, имеющих ледниковое питание, наиболее интенсивное повышение температуры воды начинается в апреле. В конце июля – начале августа достигаются максимальные значения температуры воды. Ее значения изменяются в пределах от 13.5 (Баксан – г. Тырныауз) до 28.9 °C (Кубань – ст. Ладожская). В целом более высокие значения температуры воды присущи водотокам на северо-западе северного склона Большого Кавказа, которые не имеют ледникового питания (Адагум, Афипс, Псекупс). Зависимость максимальной температуры воды от температуры воздуха в предшествующем месяце до ее формирования для предгорий Кавказа имеет вид (r = 0.94):

$$\theta_{max} = 1.2\ \theta_{в_{VII}} - 0.64. \quad (8)$$

Для рек с преимущественно ледниковым питанием линейный характер зависимости между θ_{max} и $\theta_{в_{VII}}$ сохраняется при изменении параметров уравнения (8) (соответственно 0.85 и 0.25).

С сентября начинается охлаждение речных вод. На водотоках, берущих начало на северо-западе северного склона Большого Кавказа (Псекупс, Афипс, Адагум), охлаждение начинается в августе. В конце октября – начале ноября температура воды опускается ниже 10 °C на крупных водотоках (Волга, Дон), на реках Приазовья и средних реках Предкавказья. Для фазы охлаждения речных вод переход температура воды через 0.2 °C приходится на вторую–третью декаду декабря. В январе на всех реках региона формируется минимум температуры воды (0–4 °C). На р. Ташла относительно высокие январские температуры воды обусловлены повышенной долей подземного ее питания в зимний период [11].

Изменения термического режима рек во времени. Изменение температуры воды $\Delta\theta$ тесно связано с изменением температуры воздуха $\Delta\theta_в$. Поэтому происходящие флуктуации средней годовой температуры воздуха неизбежно отражаются в колебаниях средней годовой температуры речной воды. Анализ статистических данных показал, что за последние 40 лет величина $\Delta\theta$ на реках Приазовья и Предкавказья составила 0.3–1.5 °C. Наибольшие изменения теплового состояния рек характерны для периода весенне-летнего нагревания. В летний сезон года среднее и наибольшее приращение максимальных температур воды составило 3.9 и 5.5 °C. В большинстве районов ис-

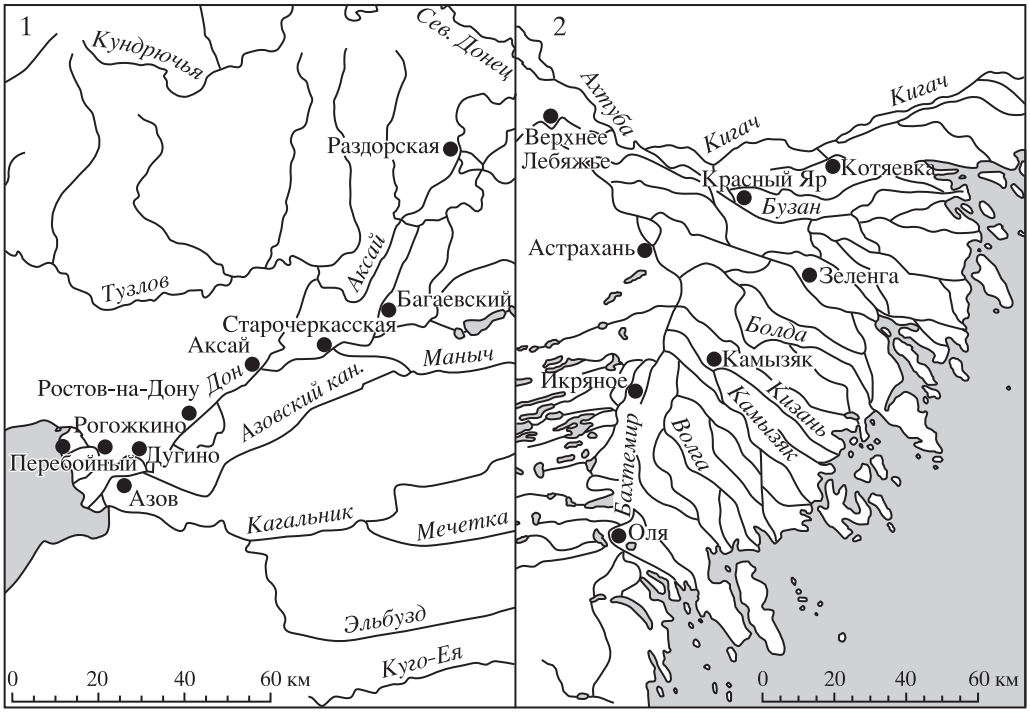

Рис. 3. Пункты гидрологических наблюдений в устьевой области Дона (*1*) и в дельте Волги (*2*)

следуемой территории температура речной воды в зимний период также возросла.

Изменение средней годовой температуры воды (в последние 40 лет и в пределах северного склона Большого Кавказа) для разных рек находилось в диапазоне значений 0.2–0.8 °С. Величина $\Delta\theta$ линейно связана с изменением средней годовой температуры воздуха $\Delta\theta_в$ (r = 0.75–0.87):

$$\Delta\theta = a\Delta\theta_в + b, \qquad (9)$$

где a и b – коэффициенты, индивидуальные для каждого водосбора. Например, для р. Белая–х. Каменномостский $a = 0.69$, $b = 0.01$, а для р. Кубань–г. Армавир $a = 0.34$, $b = 7.9$. На реках с преимущественно ледниковым питанием в летний период года понижение средней годовой температуры воды находится в пределах 1.5–4 °С. Это связано с увеличением притока в речную сеть холодных талых ледниковых вод в теплый период года.

На реках южного склона Северного Кавказа средняя годовая температура воды возросла за период 1996–2008 гг. на 0.7–1.8 °С. Повышение температуры воздуха и воды в целом синхронно и характерно для всех сезонов года. Наибольшие изменения температуры воды характерны для летнего периода ($\Delta\theta$ = 0.8–2.6 °С).

Изменение климатических условий привело в последние 40 лет к смещению дат перехода температуры воды через характерные значения. На реках Приазовья и Предкавказья особенно заметен сдвиг дат перехода температуры воды через 0.2 °С и 10 °С в весенний период (в среднем на 10–24 и 5–9 суток в сторону более ранних сроков). Для осеннего периода характерно смещение дат перехода в сторону более поздних сроков на 2–12 суток для перехода температуры воды через 10 °С и на 7–12 суток для ее перехода через 0.2 °С.

Особенности термического режима в устьях рр. Волга и Дон. В устьевых областях рек происходит сложное взаимодействие речных и морских вод [13]. Температура воды и тепловой сток на речной границе устьевой области имеет природную и антропогенную составляющие [6–8], отражает сложное влияние на термический режим рек и их рукавов природных факторов и хозяйственной деятельности. При наличии дельт факторы формирования термического режима водотоков дополняются влиянием рассредоточения стока воды по системам дельтовых рукавов, приводящим к уменьшению их водоносности (по сравнению с неразветвленным руслом), изменению гидравлических и морфометрических характеристик потока и русла, а также температуры воды [3]. В частности, это характерно для устьевых областей Волги и Дона (рис. 3).

Величина теплового стока W_θ в общем случае пропорциональна стоку воды и средней за период

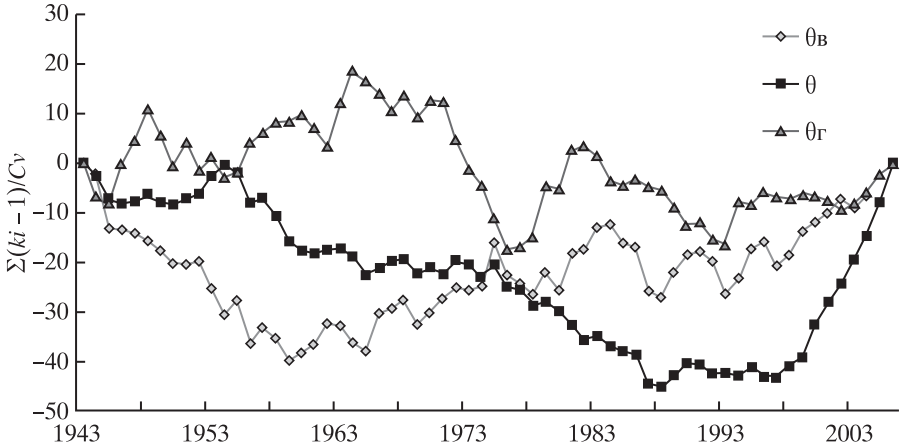

Рис. 4. Нормированные разностно-интегральные кривые изменения температуры воздуха ($\theta_в$) и воды (θ), а также средних годовых расходов воды (Qг) в дельте р. Дон (г. Ростов)

времени температуре воды. Основное влияние на величину декадного и месячного теплового стока рр. Волга и Дон оказывает водоносность рек. В существенно меньшей степени она зависит от температуры воды. Роль этого фактора изменения теплового стока возрастает при значительном повышении температуры воды [8]. Для исследуемых рек это наиболее характерно для периода с июля по август.

Формирование теплового стока этих рек происходит далеко за пределами устьевых областей, в различных климатических зонах ЕТР. Перемещение речных вод в целом с севера на юг сопровождается закономерным повышением температуры речных вод от истоков к устьям рек. В этом же направлении увеличивается водоносность Волги и Дона за счет впадения притоков. Определенное влияние на температуру воды оказывает и регулирование стока. Оно осуществляется Цимлянским водохранилищем на р. Дон (эксплуатируется с 1952 г. и находится в 172 км от вершины устьевой области) и Волжско-Камским каскадом водохранилищ и, в частности, Волгоградским водохранилищем (1961, 448 км). На термический режим Нижнего Дона большое влияние оказывают сбросы подогретых вод Новочеркасской ГРЭС и предприятий г. Ростова. Рассредоточение стока воды по системам рукавов в устьях Волги и Дона сопровождается малоизученными процессами трансформации температуры воды, интенсивность которых зависит от водоносности рукавов или их условных порядков [2].

Анализ данных по стоку и температуре воды, полученных Северо-Кавказским УГМС Российской Федерации за 1929–2006 гг. (по 8 гидрологическим постам на Дону) и за 1881–2005 гг. (по 9 постам на Волге), выполнен с учетом метеорологической информации по м/с Ростов-на-Дону (дельта Дона) и Зеленга (дельта Волги). Обработка средних годовых значений температур воздуха и анализ разностно-интегральных кривых показывает, что временные ряды включают периоды, соответствующие фазам повышенных и пониженных температур воздуха. Периодам повышенной водности рек соответствуют пониженные значения средней годовой температуры воды, а периодам пониженной водности – периоды ее относительно больших значений (рис. 4).

Термический режим и тепловой сток Волги. Основной особенностью температурного режима дельтовых водотоков является повышение температуры воды с уменьшением водоносности и условного порядка дельтовых водотоков $N_у$. Поскольку уменьшение водоносности дельтовых водотоков за счет каскадного рассредоточения стока усиливается при переходе от вершины дельты к устьевому створу, то среднегодовая температура воды является также возрастающей функцией расстояния от вершины дельты в направлении к ее морскому краю. Вследствие этого процесса изменяется величина теплового стока конкретных водотоков дельты и вынос тепла в приемные водоемы.

Температура воды в дельтовых рукавах Волги закономерно изменяется в зависимости от температуры воздуха. Период 1966–1988 гг. характеризовался пониженными температурами воздуха и воды. Средние значения за год (Зеленга) составили соответственно 9.6 и 9.1 °С, а за теплый период года (апрель-ноябрь) – 15.9 и 15.4 °С. Наоборот, фаза повышенных температур воды пришлась на период 1989–2005 гг., когда средние годовые значения температуры воздуха и воды возросли со-

ответственно до 10.2 и 9.5 °С, а за теплый период года – до 16.0 и 15.7 °С.

До создания Волгоградского водохранилища (1946–1960 гг.) средняя величина годового стока теплоты в вершине устьевой области Волги составляла $13.25 \cdot 10^{15}$ кДж [8]. После 1961 г. она уменьшилась вследствие климатического снижения водности реки. Увеличение стока Волги после 1977 г. привело к возрастанию теплового стока. В дальнейшем (1996–2006 гг.) наблюдался процесс возрастания водности реки и повышения температуры воды, что обусловило увеличение теплового стока на 2.5% по сравнению с 1978–1996 гг. (табл. 2).

Термический режим и тепловой сток Дона. За период наблюдений в дельте Дона произошли существенные изменения характерных дат термического режима реки, связанные с переходом температуры воды через 10 и 0.2 °С в осенний и весенний сезоны года (табл. 3). В среднем дата осеннего перехода температуры воды через 10 °С после сооружения Цимлянского водохранилища сместилась на более поздние сроки (на 5–12 суток). Данный сдвиг тем меньше, чем ближе водоток к морскому краю дельты. Изменение даты осеннего перехода температуры воды через 0.2 °С в меньшей степени зависит от этого фактора. Оно колеблется от 13 суток (вершина дельты) до 11 суток (г. Азов). Потепление климата в 1972–2006 гг. привело к смещению даты осеннего перехода температуры воды через 0.2 °С на более поздние сроки (на 3–11 суток) по сравнению с 1952–1971 гг. Если после строительства водохранилища изменения в датах весеннего перехода температуры воды через 0.2 °С составляли 1–3 дня, то в 1972–2006 гг. – они возросли до 12–18 суток. По сравнению с 1952–1971 гг. эти даты сместились на более поздние сроки в осенний сезон и на более ранние сроки – в весенний сезон года.

Иной характер изменения свойственен датам перехода температуры воды через 10 °С. После строительства Цимлянского водохранилища они сместились на более поздние сроки весной на 3–8 суток (вследствие поступления в нижний бьеф охлажденной за зиму воды из придонных слоев водохранилища). В 1972–2006 гг. весенний переход температуры воды через 10 °С происходил раньше по сравнению с условиями 1952–1971 гг. и 1937–1951 гг. Эта особенность обусловлена уменьшением водности реки в апреле и, следовательно, большим прогреванием речной водной массы.

Влияние регулирования стока на термический режим Дона наиболее сильно проявилось в изменении средних температур воды за конкретные месяцы теплой части года. Сравнение данных за период 1937–1951 гг. и 1952–1975 гг. показало, что в апреле температура воды в вершине дельты Дона понизилась на 0.1 °С, а в мае – на 1.5 °С. На фоне повышения температуры воздуха (на 0.4 и 0.3 °С в апреле и мае соответственно) причина такого изменения температуры воды – поступление в нижний бьеф более холодных вод из придонных горизонтов Цимлянского водохранилища. Наоборот, для фазы осеннего охлаждения данный фактор обеспечивает относительное повышение температуры воды (у ст. Раздорская на 0.1 °С в сентябре и на 2.4 °С – в октябре).

Заметное влияние на температуру речных вод оказывает рассредоточение стока воды по системе дельтовых водотоков в устье Дона. Этот процесс в целом оказывает отепляющее воздействие на речную водную массу. Чем дальше от вершины устьевой области расположен узел деления реки на рукава и меньше водоносность возникающих водотоков, тем в большей степени прослеживается этот эффект в отношении средних годовых температур воды. Он четко выражен и для фазы нагревания речной водной массы в годовом термическом цикле. Климатическое повышение температуры воды в пределах дельты за фазу весенне-летнего нагревания оказалось наиболее существенным. Если в вершине дельты она практически не изменилась, то в крупных рукавах дельты в 1976–2006 гг. температура возросла на 0.2–0.7 °С по сравнению с 1952–1975 гг. В рукаве Старый Дон (г. Азов) изменение оказалось еще больше: 0.6–1.0 °С. Для фазы охлаждения речной водной массы температура воды в рукавах дельты тем ниже, чем больше расстояние до вершины дельты и ближе морской край дельты.

В синоптических масштабах времени изменения суточных температур воды θ в рукавах дельты Дона зависят от температуры воздуха. В ноябре, например, соответствие этих характеристик учитывает линейное уравнение ($r = 0.96$):

$$\theta = 0.43\theta_{в} + 4.5. \qquad (10)$$

При повышении температуры воздуха на 1 °С происходит увеличение температуры воды на 0.3 °С. Противоположный процесс возникает при понижении температуры воздуха. Средняя ноябрьская температура воды после создания Цимлянского водохранилища возросла в среднем на 1.2 °С по сравнению с 1935–1951 гг. Данное изменение температуры соответствует отепляющему влиянию Цимлянского водохранилища на предзимнее тепловое состояние водотоков в дельте Дона.

Таблица 2. Средняя величина температуры (θ, °C), расхода воды (Q, м^3/с) и теплового стока (W_θ, кДж 10^{15}) в вершине устьевых областей Дона и Волги, дельты и на их морском крае (МКД)

Река, пост	**Сезон**	**весна**			**лето-осень**			**зима**			**год**		
	Характе-ристики	θ	Q	W_θ	θ	Q	W_θ	θ	Q	W_θ	**θ**	$\boldsymbol{Q}$	$\boldsymbol{W_\theta}$
Дон, Раздорская	Месяцы	III–VI			VII–X			XI–XII					
	1929–1951	11.8	1856	0.998	18.4	302	0.247	2.5	279	0.017	**12.6**	**919**	**1.262**
	1952–1975	11.4	936	0.483	19.0	585	0.497	3.4	489	0.042	**12.8**	**706**	**1.022**
	1976–1995	11.9	927	0.481	19.1	616	0.522	3.5	635	0.051	**13.1**	**744**	**1.053**
	1996–2006	12.0	892	0.455	20.0	633	0.554	3.9	674	0.059	**13.6**	**745**	**1.068**
Дон, Ростов-на-Дону	1929–1951	12.3	1856	0.983	19.2	302	0.228	2.7	279	0.015	**13.1**	**919**	**1.226**
	1952–1975	11.9	936	0.488	19.4	585	0.501	3.4	489	0.040	**13.2**	**706**	**1.029**
	1976–1995	12.6	927	0.511	20.2	616	0.548	4.0	635	0.057	**13.9**	**744**	**1.116**
	1996–2006	12.7	892	0.483	20.5	633	0.565	4.3	674	0.065	**14.1**	**745**	**1.112**
Дон, МКД	1929–1951	12.3	2005	1.938	19.4	326	0.468	2.9	301	0.034	**13.2**	**993**	**2.440**
	1952–1975	12.1	1011	0.899	19.5	632	0.908	3.3	528	0.070	**13.3**	**763**	**1.877**
	1976–1995	12.8	1002	0.923	20.2	665	0.987	3.8	685	0.096	**14.0**	**804**	**2.006**
	1996–2006	12.9	964	0.878	20.6	683	1.027	4.1	728	0.108	**14.2**	**804**	**2.014**
Волга, Верхнее Лебяжье	1961–1977	9.4	10541	5.273	19.1	5162	4.406	3.0	5071	0.316	**12.0**	**7296**	**9.996**
	1978–1995	9.4	10404	5.163	19.2	5314	4.514	2.9	5336	0.333	**12.1**	**7354**	**10.010**
	1996–2006	10.1	10748	5.357	20.0	5350	4.563	3.6	5344	0.335	**12.9**	**7508**	**10.255**
Волга, МКД	1961–1977	10.2	10225	5.538	19.5	5007	4.364	3.5	4919	0.361	**12.6**	**7077**	**10.262**
	1978–1995	9.9	10092	5.400	19.6	5154	4.474	3.2	5176	0.367	**12.4**	**7134**	**10.242**
	1996–2006	10.2	10431	5.615	20.4	5178	4.508	3.9	5191	0.369	**13.0**	**7282**	**10.492**

Таблица 3. Даты перехода температуры воды через характерные значения в осенний и весенний периоды в водотоках устьевого участка Дона

Пост	Название водотока	Периоды	осень		весна	
			10	0.2	0.2	10
ст. Раздорская	р. Дон	1937–1951	17.10	9.12	22.3	23.4
		1952–1971	29.10	22.12	20.3	25.4
		1972–2006	27.10	22.12	8.3	16.4
пгт. Багаевский	р. Дон	1937–1951	15.10	16.12	21.3	24.4
		1952–1971	26.10	21.12	20.3	24.4
		1972–2006	27.10	1.1	6.3	18.4
г. Ростов-на-Дону	р. Дон	1937–1951	18.10	15.12	23.3	25.4
		1952–1971	27.10	22.12	20.3	20.4
		1972–2006	30.10	22.12	1.3	16.4
г. Аксай	р. Дон	1972–2006	28.10	22.12	3.3	15.4
х. Дугино	Рук. Большая Каланча	1972–2006	29.10	25.12	4.3	17.4
г. Азов	рук. Старый Дон	1937–1951	24.10	14.12	17.3	11.4
		1952–1971	29.10	25.12	17.3	19.4
		1972–2006	30.10	18.12	28.2	14.4
о. Перебойный	пр. Верхняя Перебойка	1972–2006	27.10	7.1	4.3	17.4

Все эти факторы отразились на изменении теплового стока в вершине дельты Дона (табл. 2). Современное поступление теплоты в дельту реки уменьшилось на 19% по сравнению с периодом до 1952 г. Регулирование стока привело к уменьшению доли весеннего половодья в годовом стоке теплоты. В 1976–2006 гг. произошло небольшое увеличение W_θ (по сравнению со средней многолетней величиной $W_{\theta ср}$), что обусловлено возрастанием водности летне-осенней и зимней межени, а также повышением температуры воды (по сравнению с 1952−1975 гг.).

Заключение. Анализ особенностей термического режима водотоков на юге ЕТР позволил сделать следующие выводы:

1. Термический режим водотоков в исследуемом регионе зависит от климатических, орографических факторов и морфометрии самих водотоков. Для горных рек определяющим фактором является абсолютная высота местности. На водотоки равнинной части основное влияние оказывают климатические факторы, а также географическое расположение региона, создающее специфику климатических различий районов с плоским рельефом. В устьевых областях рек основную роль приобретает фактор рассредоточения стока и антропогенное воздействие, связанное с эксплуатацией крупных водохранилищ.

2. Термический режим водотоков на участках древовидной речной сети и дельтовых разветвлений имеет специфические черты. Размер водотока определяет интенсивность охлаждения и нагревания водной массы. Водотоки более крупного размера нагреваются и охлаждаются медленнее, по сравнению с небольшими водотоками.

3. Термический режим водотоков в равнинной и горной частях региона неодинаков. На равнине нагревание водной массы в реках начинается и заканчивается раньше по сравнению с горными водотоками, в бассейнах которых имеются ледники.

4. Климатические изменения в 1966–2008 гг. привели к повышению средней годовой температуры воды равнинных рек на 0.3–1.5 °С, в предгорьях Северного Кавказа – на 0.2–0.8 °С. Для рек, имеющих преимущественно ледниковое питание в летний период, характерно понижение температуры воды на 1.2 и 1.9 °С вследствие охлаждающего эффекта, производимого холодными ледниковыми водами.

5. За последние 40 лет повышение температуры воздуха привело к смещению дат перехода температуры воды через 0.2 °С на 10–24 суток, дат перехода через 10 °С – на 5–9 суток в сторону более ранних сроков. В осенний период такой переход стал наблюдаться позже на 2–12 суток для дат перехода через рубеж 10 °С и на 7–12 суток – для перехода через рубеж 0.2°С. В горах даты перехода температуры воды через 10 °С сместились на более поздние сроки в период нагревания водной массы и на более ранние сроки – в период ее охлаждения, что связано с активным таянием ледников.

6. Современный тепловой сток Волги возрос на 2.5% вследствие примерно равного влияния повышенных значений стока воды и ее температуры. В дельте Дона тепловой сток уменьшился на 19%, что в основном связано с уменьшением водного стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И. Айбулатов Д.Н.* Строение русловой сети неприливных устьев рек // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2003. № 1. С. 19–25.
2. *Алексеевский Н.И., Соколова Ю.В.* Структура сети водотоков в русловых и дельтовых разветвлениях и способы ее формализации // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 1999. № 2. С. 13−19.
3. *Алексеевский Н.И., Чалов Р.С.* Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2009. 280 с.
4. *Базелюк А.А.* Изменение гидрографии и стока рек Кумо-Манычской впадины под влиянием антропогенной деятельности // Изв. СКНЦВШ. Естественные науки. 2007. № 1. С. 10–17.
5. *Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов И.В.* Гидрология дельты Волги. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 331 с.
6. Гидрология устьев рек Терека и Сулака / Под ред. Косарева А.Н. и Михайлова В.Н. М.: Наука, 1993. 160 с.
7. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / Под ред. Михайлова В.Н., Магрицкого Д.В., Иванова А.А. Москва: ГЕОС, 2010, 728 с.
8. *Евсеева Л.С., Магрицкий Д.В., Ретеюм К.Ф.* Природные и техногенные факторы изменения теплового стока северных и южных рек России // Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып. 2) / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 213−236.
9. *Леонов Е.А.* Изменение термического режима рек под влиянием хозяйственной деятельности // Труды ГГИ, 1977. Вып. 239. С. 49−77.
10. *Лурье П.М., Панов В.Д., Саломатин А.М.* Река Маныч: гидрография и сток. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 160 с.
11. *Лурье П.М.* Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 506 с.
12. *Лурье П.М., Панов В.Д.* Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI столетия // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90−97.
13. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
14. *Одрова Т.В.* Изменения теплового стока сибирских рек // Природа. 1980. № 6. С. 90–93
15. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики взаимосвязей / Под ред. Ефремова Ю.В. и др. Краснодар: КубГУ, 2007. 338 с.
16. *Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А.* Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. Ростов-на-Дону, 2006. 487 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 8. Северный Кавказ / Под ред. Куприянова В.В. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 447 с.
18. *Соколова Е.М.* Термический режим рек СССР // Тр. ГГИ. Вып. 30 (84). Л.: Гидрометеоиздат, 1951. 116 с.
19. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря / Под ред. Полонского В.Ф., Михайлова В.Н., Кирьянова С.В. М.: ГЕОС, 1998. 280 с.
20. *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 569 с.

Thermal regime of the rivers in the south of European Russia

N.I. Alekseevsky*, Ye.O. Kuzmina*, A.A. Bazelyuk**

**Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

***North-Caucasian Authority for Hydrometeorology and Environmental Monitoring*

Changes of a thermal regime of the rivers are compared with dynamics of natural and anthropogenic factors. Significant change of temperature of river waters in last 20–30 years practically was not studied. The main goal of this article is the analysis of features of change of a thermal regime of rivers in the south of European Russia.