



IX Международная научно-практическая конференция

«Морские исследования и образование»

IX International conference

«Marine Research and Education»

MARESEDU-2020



**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ / CONFERENCE
PROCEEDINGS
Том II (II) / Volume II (II)**

26-30 октября 2020 г.

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» Том II (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020, 253 с.: ISBN 9978-5-6045536-3-3.

Сборник «Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из трех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, морская биология, геофизические исследования на акваториях, геофизика, рациональное природопользование и подводное культурное наследие.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Мероприятия проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №20-05-22025.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ
имени М.В. Ломоносова».

РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские
Горы, д. 1, стр. 77

(495) 648-65-58/ 930-80-58

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2020
© ООО «ПолиПРЕСС»

ВНУТРИГОДОВОЕ И МНОГОЛЕТНЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ИХ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА.

Василенко Александр Николаевич¹, Магрицкий Дмитрий Владимирович¹, Фролова Наталья Леонидовна¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Введение

Термический режим рек – один из важных факторов формирования и функционирования речных экосистем, а также важный фактор протекания ряда гидрологических процессов [Hannah et al., 2015]. Прямо или косвенно от температуры воды и теплового стока зависят интенсивность испарения с водной поверхности, величина прогрева грунтов русла, величины коэффициентов динамической и кинематической вязкости. Также от термического режима зависит степень насыщения водных масс реки газами, в первую очередь кислородом, рост и развитие различных гидробионтов. Термический режим рек оказывает влияние на температурный режим устьевых областей рек и термического режима прибрежной зоны морей. Тем не менее, исследованиям термического режима гидрологами уделяется меньшее внимание, в сравнении с другими вопросами современной гидрологии.

В настоящей работе рассматривается распределение характеристик температур воды и теплового стока в реках российской Арктики (севернее 60 с.ш.) в течение года и в многолетнем разрезе. Основную роль в формировании температур воды рек играет температура воздуха, в связи с чем изменения климата, наблюдающиеся в последние десятилетия, отразятся и на температурах воды рек. При этом, не обязательно повышение температур воздуха приводит к росту температур воды, так как климатические изменения приводят и к изменению стока воды. Рост стока воды может приводить и к понижению температур воды. Изменения температур воды в последние десятилетия также отражены в данной работе.

Данные и методы

Сведения о термическом режиме рек получены со 112 гидрологических постов на больших, малых и средних реках. Собранные данные включают в себя информацию о среднемесячных температурах воды, о датах переходов температур воды через 0,2°C с 1966 г. и о переходах через 10°C с 1978 г., данные о максимальных годовых температурах воды и о датах их наступления.

Среднемесячные температуры воды определялись как средние арифметические из 3 декад. В случаях, когда в первых или последних декадах наблюдений стояло нулевое значение или пропуск данных, при согласованности с датами переходов через 0,2°C, значение принималось в расчет как 0. Расчет проводился в том числе для случаев, когда средняя температура приводилась только на 1 декаду, даже при малости этой величины (к примеру, 0,1-0,3°C). Средняя температура в этих случаях, зачастую, равна величинам ниже точности измерений, однако, использование этих значений представляется методически верным, так как условия для повышения температур воды выше нулевых значений формируется в конкретном месяце. Пополнение базы данных таковыми значениями показывает, также, более точную продолжительность периода с температурами воды. Данные расчеты согласуются с представлениями о повышении температуры воды в период ледохода и перед вскрытием (за счет поступления талых вод и повышения величин поступающей солнечной радиации) и при замерзании реки (за счет притока не до конца остывших вод и поступления под лед солнечной радиации, а также теплоты, выделяемой при замерзании). Помимо вышесказанного, наблюдения за температурой воды в период вскрытия, очищения весной и замерзания осенью не проводится и учет значений одной декады позволяет учесть термические состояния реки на этапах вскрытия и замерзания.

Данные о термическом режиме охватывают период с 1960 по 2018 год. На момент написания данной работы 2018 год был последним опубликованным ВНИИГМИ-МЦД. Для ряда постов последний год пришелся на период с 2011 по 2017 (34 гидрологических поста).

Удобно для сравнения рек различных территорий, и общих оценок термического режима использовать среднюю температуру воды за определенный период. Общепринято использовать период с мая по октябрь. Для северо-востока принято использовать температуру за период с июня по сентябрь.

При удобстве данного подхода, период с положительными температурами воды на многих реках севера ЕТР, а в отдельные годы на реках всей рассматриваемой территории, оказывается дольше. На реках восточнее бассейна р. Мезени данный период короче. При расчете средних температур воды за май-сентябрь таким образом, возникает искажение общей картины термической ситуации в конкретный год. В настоящее время также наблюдается постепенное удлинение периода с температурами воды выше 0°C.

Предлагается для характеристики годовой термической обстановки использовать среднюю температуру теплого периода года. Под теплым периодом понимается период с момента переходов температур воды через 0°C весной (или летом) до перехода температур воды через 0°C осенью. В рамках рассмотрения среднемесячных значений температур под теплым периодом понимается ряд месяцев со средними температурами выше нуля. Использование средней температуры теплого периода (СТТП) позволяет более точно охарактеризовать годовую термическую обстановку на реке. Очевидным недостатком такой характеристики является неудобство в сравнении рек различных территорий между собой в связи с разной продолжительностью теплого периода на реках разных районов арктической зоны. Поэтому, данная характеристика должна рассматриваться вместе с характеристиками продолжительности теплого периода, либо вместе с характеристиками отдельных переходных, весенне-летних месяцев, либо в соотношении со средними температурами воды отдельных периодов установленной продолжительности, к примеру – общепринятого, с мая по сентябрь. Тем не менее, в условиях удлинения периода с положительными температурами, удлинения безледного периода [Vasilenko et al., 2019] введение данной характеристики и исследование ее пространственно-временного распределения может являться базой для будущих оценок влияния изменений климата на термический режим рек.

Для всех рядов определялись величины среднего арифметического и ошибки его вычисления, дисперсии, среднего квадратического отклонения, коэффициента асимметрии и ошибки его вычисления, величины тренда по критерию Спирмена на уровне значимости $\alpha=0,05$. Также определялась однородность рядов данных с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни (U-тест) – одного из самых надежных критериев однородности рядов, в-особенности, при небольшой длине одной из проверяемых групп. В качестве периодов для сравнения были использованы средние величины за периоды 1961-1990 и 1991-2018 гг. Надежность нарушений однородности определялась на уровне $\alpha=0,05$.

Результаты. Среднегодовое пространственно-временное распределение температур воды в реках российской Арктики

Средние температуры воды в реках в течение года варьируют в пределах от 0 до 30°C. Средние температуры воды за период с мая по октябрь (1960-2018) изменяются в пределах от 1,2°C до 26°C. Наименьшие значения характерны для малых рек Чукотки, наибольшие для средних рек севера ЕТР и правобережья р. Обь.

На 76% гидрологических постов в рядах средней за май-октябрь температуры воды за период с 1960 по 2018 гг. выявлены значимые положительные тренды (по критерию Спирмена). На 66% гидрологических постов выявлено нарушение однородности рядов средней за период с мая по октябрь температуры воды в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2018 гг. (U-test).

В период 1991-2018 гг. средняя температура воды за май-октябрь выросла в среднем по территории на 0,6°C по сравнению с периодом 1961-1990 гг. Размах изменений составляет от -0,5°C до 1,9°C. Причем на 69% постов изменения больше, чем ошибки расчета средних как

по отдельным вышеуказанным периодам, так и по всему ряду. Величина изменений на постах со значимым отрицательным трендом составляет от -0,5 до -0,3°C.

В вычисленных рядах средней температуры воды за теплый период года за период с 1960 по 2018 гг. значимый положительный тренд выявлен на 28% постов. На 18% гидрологических постов выявлено нарушение однородности рядов средней за период с мая по октябрь температуры воды в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2018 гг. (U-test). В период 1991-2018 гг. средняя температура воды за теплый период года выросла в среднем по территории на 0,1°C по сравнению с периодом 1961-1990 гг. Размах изменений составляет от -0,7°C до 0,7°C. Причем на 15% постов значимые изменения больше, чем ошибки расчета средних как по отдельным вышеуказанным периодам, так и по всему ряду. Величина изменений на постах со значимым отрицательным трендом составляет от -0,7 до -0,1°C.

Таким образом, исключение из рассмотрения при определении годовых характеристик температур воды нулевых значений и изменение продолжительности периода осреднения приводит к снижению величины и значимости наблюдаемых изменений.

Обобщенные характеристики температур воды в реках всей рассматриваемой территории представлен в таблице 1.

Таблица 1. Обобщенные характеристики температур воды в реках российской Арктики

Период осреднения	Средняя температура воды	Среднее квадратическое отклонение температуры воды	Количество постов с выявленным значимым трендом по Спирмену, %	Изменения средних температур воды за период 1991-2018 гг. по сравнению с 1961-1990 гг.	Количество гидрологических постов со значимыми отрицательными трендами по Спирмену
Май-сентябрь	7,7	1,07	76	0,6	2
Теплый период года	7,8	1,0	28	0,1	5
Апрель	0,05	0,08	18	0,2	1
Май	1,75	1,13	69	0,6	0
Июнь	9,53	2,2	50	1,2	0
Июль	14,75	1,93	17	0,53	0
Август	11,6	1,55	28	0,51	0
Сентябрь	7,2	1,38	37	0,51	0
Октябрь	1,25	0,84	50	0,46	2
Ноябрь	0,06	0,11	22	0	0

Для анализа пространственных изменений температурного режима рек были выделены следующие районы, сходные с гидрографическими единицами «Государственного водного кадастра СССР».

Характеристики среднемноголетних температур воды (1960-2018 гг.) по выделенным районам представлен в таблице 2.

Таблица 2. Обобщенные характеристики температур воды в реках российской Арктики

	V-X	WP	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Кольский	8,49	7,36	0,19	2,9	10,1	14,4	13,1	8,0	2,5	0,18
Север	9,32	8,62	0,10	3,2	11,3	16,9	14,1	8,2	2,4	0,14
Север Западной Сибири	8,34	8,60	0,12	1,5	9,6	16,4	13,6	7,2	1,2	0,00
г/п Обь-Салехард	8,28	8,26	0,00	0,36	8,13	16,26	14,79	8,20	1,64	0,03
Бассейн Енисея	8,52	8,55	0,09	1,9	10,5	16,5	14,1	7,2	1,0	0,01
г/п Енисей-Игарка	8,0	9,1	0,0	0,1	6,2	16,4	16,0	8,0	1,6	0,0
Север Якутии и Красноярско края	6,66	7,79	0,00	0,4	8,6	14,2	11,8	4,9	0,1	0,00
Перемерзающие Север Якутии и Красноярско края	6,02	6,82	0,00	0,8	8,6	12,3	4,1	10,0	0,2	0,00
г/п Лена-Кюсюр	6,47	7,26	0,00	0,09	5,17	14,18	12,82	6,06	0,49	0,00
Бассейн Колымы и Чукотка	6,31	6,64	0,01	0,9	8,6	12,5	10,3	5,1	0,6	0,01
Перемерзающие и пересыхающие в бассейне Колымы и на Чукотке	4,50	4,80	0,00	0,7	5,9	8,8	3,5	7,2	0,6	0,01

Наиболее теплыми регионами являются Север и Кольский. Наблюдается уменьшение как годовых характеристик температур воды, так и среднемесячных температур воды в реках с запада на восток. В годовых характеристиках отмечаются пониженные на 1-2°C температуры воды на перемерзающих и пересыхающих реках, что обусловлено низкими температурами грунтовых вод в районах распространения многолетнемерзлых пород, где находятся данные речные участки. Годовые характеристики температур воды в низовьях рр. Обь и Енисей несколько выше, чем на реках соответствующих районов, что связано с притоком более прогретых вод с южных частей русловой сети. На р. Лене данные характеристики ниже, чем в соответствующем районе, что связано с большим количеством холодных притоков реки, берущих начало в горах и протекающих по зонам сплошного распространения многолетнемерзлых пород, а также с затратами тепла вод р. Лена на таяние многолетнемерзлых пород в русле реки.

Заключение

На основании изученных данных видно, что большая часть изменений температур воды в реках происходит в мае, июне и октябре. Минимальны изменения в самые теплые месяцы июль и август. При этом значимые тренды потепления выявлены на большинстве рассматриваемых рек.

Минимальные изменения температур воды за период климатических изменений наблюдаются в июле по всей рассматриваемой территории и максимальные изменения в большинстве регионов изменения в июне, августе и сентябре. При этом изменения максимальны на крупнейших реках территории. Изменения на перемерзающих реках меньше, чем на реках соответствующего района. Наблюдаются также меньшие изменения на реках восточнее Енисея.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – проект № 18-05-60021-Арктика.

Список литературы

Vasilenko A. N., Agafonova S. A., Frolova N. L. Ice regime of rivers of the arctic zone of russia in modern and future climate conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 263. — P. 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/263/1/012004

Hannah D.M., Garner G. River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20th century and possible changes over the 21st century // Prog. Phys. Geogr. 2015. No. 39. P. 68–92.