

МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КАЛИНИНГРАДСКОМ РЕГИОНЕ

Стонт Ж.И., Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: ocean_stont@mail.ru, chuboris@mail.ru
Статья поступила в редакцию 15.01.2020, одобрена к печати 30.03.2020*

Для прибрежной зоны Калининградской области (территория России в юго-восточной части Балтийского моря) по данным за 1901–2018 гг. анализируется изменчивость среднегодовых значений температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня моря с климатическим осреднением (в пределах 30-летних климатических периодов со сдвигом 30-летнего «окна» с шагом 10 лет). Обнаружено, что их синхронный рост обозначился во второй половине XX века (с 1950-х гг.), усилился в 1961–1990 гг. и, особенно, в 1991–2018 гг. Именно он обеспечивает кажущуюся достаточно высокую степень связи между ходом 30-летних средних этих параметров ($r = 0.70\div 0.95$), хотя на самом деле этот синхронный рост является откликом на внешнее (для региона) воздействие. При рассмотрении связи вариаций 30-летних средних вокруг линий их положительных трендов выяснилось, что (а) для осадков и температуры воздуха связь исключительно слабая ($r = 0.10$); (б) для уровня моря и осадков – слабая ($r = 0.48$); а для уровня моря и температуры воздуха – высокая ($r = 0.85$).

Анализ изменения среднегодовых значений в пределах 30-летий показал, что для температуры воздуха и уровня моря тренды в последний период (1991–2018 гг.) являются экстремальными. Более детальное рассмотрение изменений среднегодовых значений температуры воздуха, осадков и уровня моря по 15-летним полупериодам в пределах временного интервала их значительного роста (1961–2018 гг.) показало, что основной рост пришелся на первую половину рассматриваемого временного интервала, во второй половине рост немного замедлился. Рост среднегодовой температуры воздуха, в основном, обусловлен повышением температуры в зимний и весенний периоды, с чем связано уменьшение контрастности между сезонами. По ежегодным значениям уровня моря в Калининграде в пределах временного интервала 1961–2018 гг. отмечена неоднозначность вклада экстремальных уровней в рост среднего годового уровня (4.5 см/декада) – положительных трендов минимального уровня (3.4 см/декада) и максимального уровня (1.2 см/декада). Установлено, что основной рост среднего годового уровня происходил за счет роста уровня в зимний период. Причина может быть в увеличении числа теплых и влажных зим в связи с общим климатическим потеплением.

Ключевые слова: Балтийское море, изменения климата, повышение температуры воздуха и воды, изменчивость уровня моря, тенденции

Введение

Калининградская область (рис. 1) является единственной территорией России в юго-восточной части Балтийского моря. Она омывается водами Балтийского

моря и двумя прибрежными лагунами (Домнин, Чубаренко, 2012). Происходящие изменения характеристик климата обусловлены комплексом гидрометеорологических факторов (Стонт и др., 2010): *атмосферные условия (температура, осадки, ветровой режим)*, связанные с западным воздушно-массовым транспортом; *повышение температуры воды* за счет изменения температуры воздуха и атмосферной циркуляции; *подъем уровня моря* в связи с глобальным эвстатическим повышением уровня Мирового океана и окраинных морей, а также изменениями ветрового и волнового режимов у побережья и стока рек.

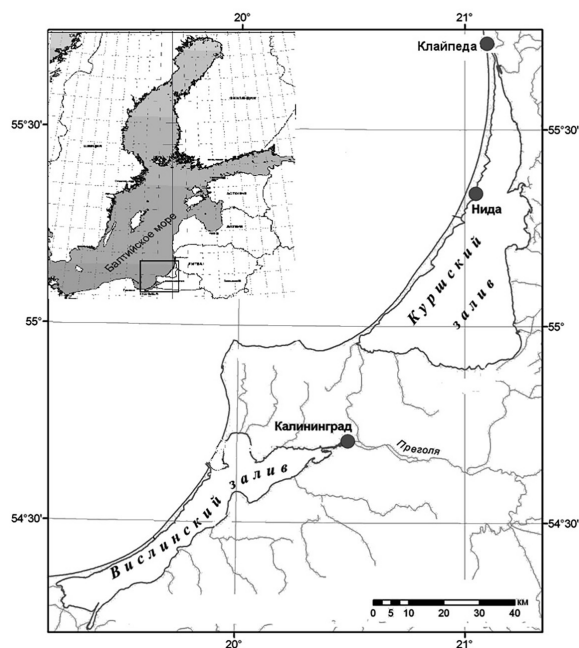


Рис. 1. Район исследования с указанием точек определения вариаций уровня моря.

Потепление на территории Российской Федерации в последние десятилетия превосходит скорость и масштаб климатических изменений в среднем по Земному шару (Росгидромет, 2017). Известно, что скорость роста глобальной температуры воздуха за 1861–2000 гг. составила 0.05°C за декаду. Скорость увеличения среднегодовой температуры воздуха в регионе Балтийского моря за аналогичный период в ~ 2 раза больше: севернее 60°с.ш. – 0.11°C за декаду; южнее 60°с.ш. – 0.08°C (HELKOM, 2013). Для прибрежной части Литвы (ближайшая соседняя территория Калининградской области с севера), было выявлено, например, что в 1975–1990 гг. наблюдалось значительное повышение уровня воды в морской зоне и в Куршском заливе, связанное с увеличением осадков и речного стока, но уже в 1990–2005 гг. количество осадков и речного стока заметно снизилось (Dailidienė et al., 2012).

К отрицательным последствиям предполагаемых изменений климата для Калининградской области можно отнести увеличение штормовых условий и связанных с ними экстремальных осадков, подтоплений, наводнений, что, в свою очередь, приводит к переувлажнению почвы, усилению разрушения берегов. К последствиям климатических изменений можно отнести сокращение биоразнообразия, ухудшение качества вод, усиление эвтрофикации, необратимые изменения в экосистемах

водно-болотных угодий. Следствие экстремальной жары – усиление пожароопасности и, как результат, сокращение лесных массивов. В связи с этим важно определить тенденции и темпы изменения метеорологических условий в нашем регионе.

Целью работы является определение тенденций в изменчивости гидрометеорологических условий на побережье Калининградской области в прошлом веке и начале нынешнего, а также оценка скорости изменений за последние 60 лет основных гидрометеорологических параметров: температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня моря.

Мнения ученых разделились. Часть исследователей считают, что причиной изменения климата является воздействие деятельности человека (IPCC, 2008; Stocker, 2013). Другие связывают потепление с природными факторами крупномасштабной изменчивости (Алексеев и др., 2010; Фролов и др., 2010; Панин, 2010). На побережье юго-восточной части Балтийского моря на стыке тысячелетий наблюдается повышение средней температуры воздуха (Chubarenko, Chubarenko, 2002). Все чаще отмечаются жаркие летние и безморозные зимние сезоны, увеличивается вегетационный период (Wibig, Głowicki, 2002; Avotniece, 2010). Несмотря на региональные различия и сезонные колебания на южном побережье Балтики (Польша) в целом за 1966–2009 гг. приращение температуры воздуха в соответствии с трендом составило 0.3°C за декаду (Tylkowski, 2013). Среднегодовая температура воздуха (T_a) в юго-восточной части Балтийского моря в начале XXI в. оказалась выше на 1.4°C , чем в середине прошлого столетия (Stont, Vukanova, 2019). Увеличение повторяемости штормовых атлантических циклонов приводит к тому, что максимальные уровни воды, связанные с ветрами западных румбов (скорость ветра более 25 м/с), все чаще угрожают побережью Литвы и Эстонии (Dailidienė et al., 2012). Смещение траекторий барических систем, определяющих погоду, и изменение их характеристик может приводить к изменчивости климата над юго-восточной частью Балтийского моря (Абрамов и др., 2013; Дроздов, Смирнов, 2011).

Среднегодовая температура поверхности моря (ТПМ) в Балтике увеличилась на 1.35°C за период с 1982 по 2006 гг. (Philippart et al., 2011), среднее повышение за 10 лет составило $0.3\text{--}0.8^{\circ}\text{C}$, особенно в северных районах (на 1°C) (Climate Change, 2007). Среднегодовая температура воды в Куршском заливе увеличилась (1977–2002 гг.) на 1.3°C в Ниде и на 1.0°C в Клайпеде (Dailidienė et al., 2011). За период с 2003 по 2016 гг. средняя температура поверхности моря, по данным спутрового радиометра MODIS, установленного на спутниках Aqua и Terra, для открытой части моря, составила 11.5° , в Куршском заливе – 13.6° , в Калининградском – 13.9°C . ТПМ юго-восточной части Балтийского моря ежегодно увеличивается. Темпы роста ТПМ в открытой части акватории составляют $0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в Куршском и Калининградском заливах – $0.01^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (уровень значимости $p > 0.05$) (Котлярова, Буканова, 2019).

Наблюдаемое вслед за температурой воздуха повышение температуры поверхности воды способствует повышению уровня у берегов и в заливах Юго-Восточной Балтики, что создает большие проблемы для прибрежных территорий, вы-

зывая эрозию берегов и угрозу подтопления. По данным наблюдений, в XX веке скорость подъема уровня у юго-восточных берегов Балтийского моря составила 1.3–1.5 см/декада (Навроцкая, Чубаренко, 2017; Jensen, Wahl, Mudersbach, 2008; Prussak, Zavadzka, 2008). К концу XX–началу XXI вв. в Куршском и Калининградском (Вислинском) заливах отмечено усиление скорости роста уровня до 3.7–4.5 см/декада (Навроцкая, Чубаренко, 2012; Навроцкая, Чубаренко, 2013), а в последние годы 1996–2015 гг. – 6.4 см/декада (Навроцкая, Чубаренко, 2017).

Используемые данные и методика

Для оценки изменчивости изучаемых параметров – температуры воздуха (среднемесячные, среднегодовые и экстремальные для года значения) и суммы атмосферных осадков (далее – «осадков», среднемесячные и среднегодовые значения) в Калининградской области были использованы открытые данные наблюдений на метеостанции 26702 (УМКК, г. Калининград, 54°42'с.ш.; 20°37'в.д.; 21 м над уровнем моря) за период 1901–2018 гг. Массивы исходных данные по среднемесячным температурам воздуха и суммам выпавших осадков заимствованы у ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (г. Обнинск, Калужская область) с помощью Автоматизированной информационной системы обработки режимной информации (АИСОРИ), предназначенной для получения любых выборок табличной структуры из ЯОД-архивов через поисковый браузер (Базовые массивы..., 2019).

Анализ гидрологических данных был выполнен по открытым данным регулярных наблюдений за уровнем моря (далее – «уровень») в Калининградском заливе в устье реки Преголи – гидропост Калининград (Рыбачий) за более чем вековой период 1901–2006 гг. (Гидрометеорологические условия..., 1985; Климат морей..., 2007). Эти данные были дополнены до 2018 г. включительно измерениями уровня на Музейном судне (МС) «Витязь», пришвартованном на расстоянии 4 км выше по течению от гидропоста Калининград (Рыбачий) (Навроцкая, Чубаренко, 2017). Это вполне правомерно, так как ранее (Бережный, Казачкина, Красильников, 2006) был выполнен сравнительный анализ двух полных параллельных рядов ежесуточных околополуденных (на 09 UTC) отсчетов уровня за 1999–2004 гг. у МС «Витязь» и на посту Калининград (Рыбачий) и выявлена хорошая согласованность между этими наблюдениями (коэффициент корреляции 0.84), что позволяет сделать вывод о том, что процессы формирования уровня в обоих пунктах однонаправленные и репрезентативны на всей акватории устьевой части реки Преголи в черте города Калининграда.

Учитывая имеющиеся многолетние данные с 1901 по 2018 гг., нами были рассчитаны тренды основных гидрометеорологических элементов (температура воздуха, атмосферные осадки и уровень моря) в пределах 30-летних интервалов и рассмотрена динамика характеристик этих трендов при сдвиге 30-летнего «окна» с шагом 10 лет. Расчеты производились средствами Microsoft Excel.

В соответствии с рекомендацией Всемирной метеорологической организации (ВМО), климатические нормы – это средние или суммарные данные наблюдений за

30-летние периоды, годы которых оканчиваются на «0» и, соответственно, обновляемые каждое десятилетие (WMO, 2017). Тридцатилетние периоды 1961–1990 гг. и 1981–2010 гг. принимаются базовыми для расчета «стандартной» и «текущей» климатических норм, которые используются для характеристики временных тенденций метеорологических параметров (Горбаренко, 2019).

Результаты и обсуждение

Долгопериодные изменения 1901–2018 гг.

Сравнение изменчивости среднегодовых характеристик температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня воды в пределах 30-летних периодов (табл.1, рис. 2), показывает, что отрицательные тренды изменения этих параметров наблюдались только в годы, предшествующие периоду исторической климатической нормы (1960–1990 гг.).

Таблица 1. Средние за 30-летние периоды значения среднегодовых температуры воздуха (°C), осадков (мм) и уровня воды (см БС), их линейные тренды в эти периоды и приращения (в соответствии с трендом) в Калининграде с 1901 по 2018 гг.

Годы	Температура воздуха			Осадки			Уровень воды		
	Среднее ± σ	Приращение °C/период	Тренд °C/декада	Среднее ± σ	Приращение см/период	Тренд мм/декада	Среднее ± σ	Приращение см/период	Тренд мм/декада
1901–2018	7.4± 0.98	1.30	0.11	768± 132.7	18.5	15.7	-2± 11.2	28.4	24.1
1901–1930	7,1± 0.81	-0.06	-0.02	719 ± 110.6	12	39.7	-10 ± 5.21	2.9	9.7
1911–1940	7.3± 0.90	-0.01	-0.00	722 ± 101.8	-0.2	-0.8	-10 ± 5.48	-4.1	-13.6
1921–1950	7.2± 1.00	0.42	0.14	730 ± 99.0	-2.6	-8.5	-9 ± 5.79	-7.5	-25.0
1931–1960	7.2± 1.00	-0.45	-0.15	718 ± 98.8	12.4	41.4	-9 ± 6.82	5.0	16.7
1941–1970	6.9± 0.88	-0.21	-0.07	754 ± 137.0	18.5	61.7	-6 ± 6.52	3.4	11.5
1951–1980	7.0± 0.80	0.09	0.03	776 ± 142.5	13.3	44.4	-5 ± 6.01	2.4	7.9
1961–1990	7.2± 0.98	0.84	0.28	804 ± 147.1	8.2	27.4	-1 ± 7.49	12.8	42.8
1971–2000	7.5± 0.98	0.93	0.31	805 ± 127.1	4.0	13.4	2 ± 7.68	12.0	40.0
1981–2010	7.9± 0.93	1.02	0.34	824 ± 130.3	5.0	16.8	7 ± 8.02	10.9	36.5
1991–2018	8.2± 0.72	1.07	0.38	832 ± 136.1	11.6	38.6	11 ± 9.30	23.3	77.7

Особенно показательно падение среднегодовой температуры воздуха, захватившее почти всю первую половину XX века (минимальное среднее значение $6.9 \pm 0.88^\circ\text{C}$ относится к 1941–1970 гг.). В последующие годы происходит увеличение среднегодовой температуры: приращение по тренду за предпоследние 30 лет (1981–2010 гг.)

составило $+1.0^{\circ}\text{C}$; за последний неполный (1991–2018 гг.) климатический период уже $+1.07^{\circ}\text{C}$. Это самый большой рост температуры воздуха за 100 лет.

Для средних годовых величин осадков и уровней отрицательные тренды в периоды 1911–1940 гг. (осадки – -0.8 мм/декада, уровень – -13.6 мм/декада) и 1921–1950 гг. (осадки – -8.5 мм/декада, уровень – -25.0 мм/декада), сменились в дальнейшем на положительные, показывая постепенный устойчивый рост, довольно заметный уже в 1931–1960 гг. (атмосферные осадки – 41.4 мм/декада, уровень – 16.7 мм/декада), усилившийся в 1961–1990 гг. (уровень – 42.8 мм/декада, осадки – только 27.4 мм/декада) и продолжающийся в 1991–2018 гг. (осадки – 38.6 мм/декада и уровень – 77.7 мм/декада).

Сравнение хода средних за 30-летний период значений среднегодовых температуры воздуха, уровня воды и осадков в Калининграде за более чем вековой период (1901–2018 гг.) демонстрирует их сопоставимый ход, особенно во второй половине прошедшего (примерно с 1950-х годов) и в начале настоящего столетия (рис. 2, 3). Несоответствие проявляется в интервалы лет, в которые попадает период Великой Отечественной войны и послевоенные годы (1941–1949 гг.), для которых данные об измерении уровня отсутствуют (Гидрометеорологические условия..., 1985). Тем не менее, ход 30-летних характеристик изучаемых параметров в рассматриваемом столетии свидетельствует об их генеральной тенденции к росту с той или иной скоростью, которая в последние годы стала особенно значительной для температуры воздуха и уровня моря (рис. 2).

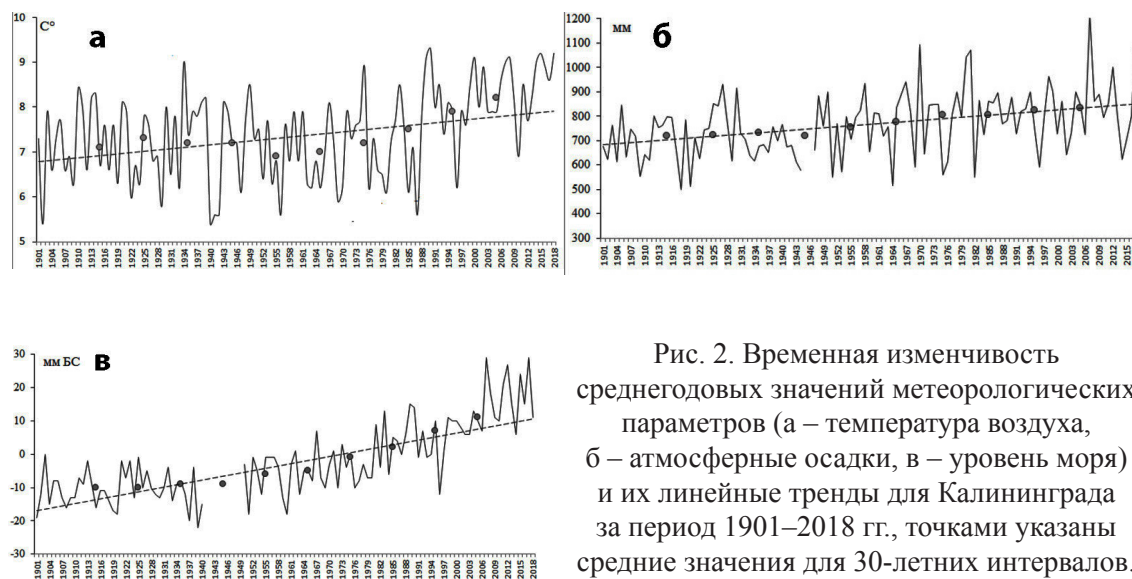


Рис. 2. Временная изменчивость среднегодовых значений метеорологических параметров (а – температура воздуха, б – атмосферные осадки, в – уровень моря) и их линейные тренды для Калининграда за период 1901–2018 гг., точками указаны средние значения для 30-летних интервалов.

В целом, ход всех трех рассматриваемых элементов с начала прошлого века и до настоящего времени имеет устойчивый положительный тренд, который именно и обеспечивает достаточно высокие коэффициенты корреляции между ходом их 30-летних средних значений: среднюю степень связи ($r = 0.70$) между температурой воздуха и осадками, высокую ($r = 0.86$) – между температурой воздуха и уровнем и очень высокую ($r = 0.95$) – между осадками и уровнем. Совсем иная кар-

тина возникает, если рассматривать синхронность вариаций этих параметров вокруг трендовых значений: связь между вариациями (вокруг линии положительного тренда) температуры воздуха и осадками положительная, но исключительно слабая ($r = 0.10$), между вариациями осадков и уровня моря – просто слабая ($r = 0.48$), а вот между вариациями температуры воздуха и уровня моря – высокая ($r = 0.85$). Последнее наводит на мысль о значительном вкладе стерической (температурное расширение) составляющей в вариации уровня на фоне его постоянного роста совместно с температурой и атмосферными осадками.

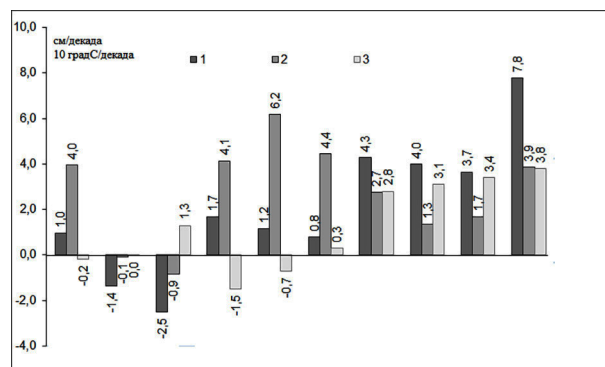


Рис. 3. Ход временных линейных трендов (в пределах 30-летних интервалов) в пунктах г. Калининграда за период 1901–2018 гг.: 1 – среднегодовой уровень воды (см/декада), 2 – среднегодовая сумма атмосферных осадков (см/декада), 3 – среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{декада} \cdot 10$).

1.2. Период интенсивного роста 1961–2018 гг.

Поскольку примерно с начала «стандартного» 30-летнего периода (1961–1990 гг.) начался устойчивый активный рост величин температур, атмосферных осадков и уровня моря, то далее рассмотрим вариации этих характеристик за последовательные четыре 15-летних полупериода: 1961–1975; 1976–1990, 1991–2005 и 2006–2018 гг. (неполный).

1.2.1. Температура воздуха

Температура воздуха является одной из важнейших характеристик изменения климата. Общие закономерности многолетней изменчивости среднегодовой температуры воздуха характерны для южного побережья Балтийского моря. Временная изменчивость среднегодовой температуры, а также годовых максимальных и минимальных среднемесячных значений температуры воздуха (рис. 4) характеризуются положительными линейными трендами $0.36\text{--}0.47^{\circ}\text{C}/\text{декада}$ с положительным приращением (по тренду) $2.09\text{--}2.73^{\circ}\text{C}$ за временной интервал 1961–2018 гг. (табл. 2). В течение этого интервала наблюдаются самые высокие темпы роста максимальных температур воздуха (тренд $0.47^{\circ}\text{C}/\text{декада}$; приращение по тренду $2.73^{\circ}\text{C}/\text{период}$). Темпы роста среднегодовой температуры и минимальной среди среднемесячных

ных температур несколько ниже и сопоставимы между собой (тренд 0.36 и 0.40°C/декада соответственно; приращение по тренду 2.09 и 2.32°C за этот интервал). Положительная динамика среднегодовой температуры воздуха в основном обусловлена уменьшением контрастности между сезонами (рассматриваются календарные сезоны) за счет повышения максимальных среднемесячных температур, особенно в зимний период. За анализируемый период среднегодовая температура достигала своего минимума (5.6°C) в 1987 г. и максимума (9.3°C) в 1990 г.

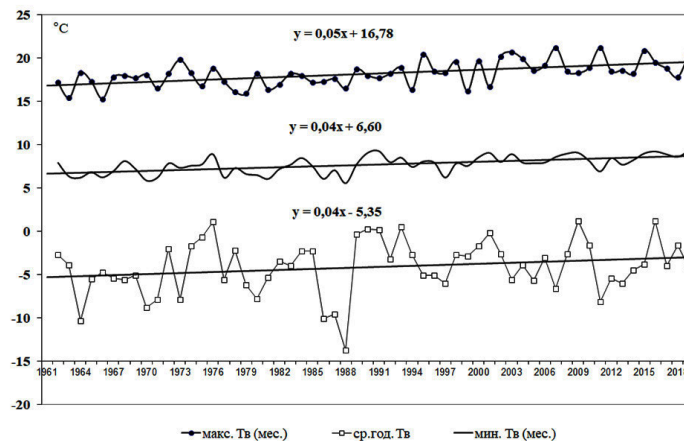


Рис. 4. Временной ход температуры воздуха (среднегодовой, годовых максимальных и минимальных среднемесячных значений) и соответствующие линейные тренды для станции в Калининграде за период 1961–2018 гг.

Таблица 2. Линейные тренды и приращение (по тренду) среднегодовых, годовых максимальных и минимальных среднемесячных значений температуры воздуха (°C), максимальных и минимальных значений уровня воды (см, БС) и осадков (см) в Калининграде в разные периоды с 1961 по 2018 гг.

Параметр	Годы	Приращение, °C/период	Тренд °C/декада	Приращение, см/период	Тренд, см/декада	Приращение, см/период	Тренд, см/декада
		температура воздуха		осадки		уровень воды	
среднее максимум минимум	1961–2018	2.09	0.36	8.9	1.5	26.1	4.5
		2.73	0.47	2.3	0.4	7.0	1.2
		2.32	0.40	-7.7	-0.1	19.7	3.4
среднее	1961–1975	0.75	0.50	1.6	1.0	0.8	0.5
	1976–1990	0.98	0.65	3.4	2.3	21.4	14.3
	1991–2005	0.45	0.30	2.7	1.8	11.7	7.8
	2006–2018	0.59	0.45	-3.1	-2.4	2.6	2.0
Сезонные характеристики							
зима	1961–2018	2.90	0.50	1.6	0.28	–	–
весна		2.67	0.46	-0.03	-0.005	–	–
лето		1.04	0.18	1.1	0.19	–	–
осень		0.93	0.16	0.3	0.05	–	–
зима	1996–2018	0.87	0.38	1.0	0.45	21.2	9.2
весна		1.47	0.64	-1.1	-0.47	7.4	3.2
лето		1.15	0.50	0.4	0.21	10.8	4.7
осень		1.52	0.66	3.3	1.45	10.6	4.6

За временной интервал 1961–2018 гг. наблюдалось максимальное повышение средней зимней температуры (тренд составил $0.50^{\circ}\text{C}/\text{декада}$, табл. 2). Близки к этому показателю и характеристики весны – тренд $0.46^{\circ}\text{C}/\text{декада}$. Тенденция увеличения средней летней и средней осенней температуры воздуха более, чем в 2.5 раза ниже (0.18 и $0.16^{\circ}\text{C}/\text{декада}$ соответственно).

Среднегодовая температура характеризуется значительными межгодовыми колебаниями, которые отражаются в характеристиках изменчивости температуры в пределах фиксированных климатических полупериодов продолжительностью по 15 лет (табл. 2).

Повышение температуры воздуха начинает проявляться с 60-х годов прошлого столетия (рис. 2). Стандартный климатический период (полупериоды 1961–1975 гг. и 1976–1990 гг.) характеризуется хорошо выраженным повышением среднегодовой температуры, тенденция составила 0.50 и $0.65^{\circ}\text{C}/\text{декада}$, а увеличение по тренду составило 0.75 и $0.98^{\circ}\text{C}/\text{полупериод}$ соответственно (табл. 2). На полупериоде 1991–2005 гг. тенденция повышения температуры замедляется почти в 2 раза ($+0.3^{\circ}\text{C}/\text{декада}$, прирост по тренду 0.45°C за 15 лет). А в конце периода (неполный полупериод 2006–2018 гг.) скорость повышения температуры воздуха опять выросла ($+0.45^{\circ}\text{C}/\text{декада}$, приращение по тренду составило 0.59°C за 13 лет), но не достигла значений, наблюдавшихся в 1961–1990 гг.

Таким образом, за анализируемый временной интервал (1961–2018 гг.) тенденция повышения температуры менялась, до начала 1990-х гг. скорость повышения была максимальной, а потом – сначала наблюдалось замедление повышения температуры, а затем некоторая интенсификация, но не до предыдущих значений.

1.2.2. Уровень моря и атмосферные осадки

Рассмотрим динамику годовых уровней моря в Калининграде: за временной интервал с 1961 по 2018 гг. (рис. 5) наиболее четко проявляется уверенный рост среднего и минимального годовых уровней и более слабый максимального годового уровня.

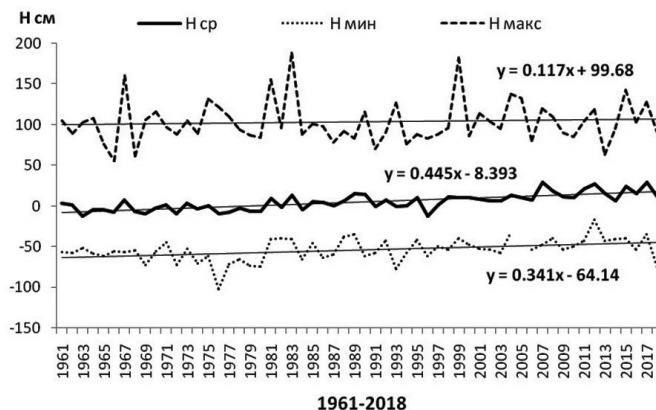


Рис. 5. Изменчивость годовых уровней: среднего ($H_{\text{ср}}$), минимального ($H_{\text{мин}}$) и максимального ($H_{\text{макс}}$) за период 1961–2018 гг., пост. Калининград (Рыбачий).

Рост среднего уровня за весь анализируемый временной интервал составил 26.1 см в соответствии с трендом 4.5 см/декада, но это повышение не было равномерным. Расчеты показывают (табл. 2), что значительный подъем среднего уровня происходил в течение первого полупериода (1976–1990 гг.) – на 21.4 см в соответствии с трендом 14.3 см/декада. Этот рост несколько замедлился в течение следующего полупериода (1991–2005 гг.) – приращение на 11.7 см (по тренду 7.8 см/декада), и особенно уменьшился в последние годы (2006–2018) – до 2.6 см (тренд 2.0 см/декада).

В рассматриваемый временной интервал (1961–2018 гг.) тенденция изменения среднегодовой величины атмосферных осадков менялась от значительной в 1976–1990 гг. к наименьшей в последующие интервалы лет. Если во втором из 15-летних полупериодов скорость роста составила примерно 2.3 см/декада, то в третьем полупериоде тренд уменьшился до 1.8 см/декада, а в четвертом тенденция уже была противоположная – падение с темпом примерно 2.4 см/декада. В итоге для временного интервала 1961–2018 гг. тренд суммарно оказался положительным, но составил всего 1.5 см/декада, а приращение по тренду – 8.9 см за интервал. Максимальные величины осадков росли не так быстро (примерно 0.4 см/декада), а минимальные значения даже падали. Раз средние значения по ансамблю росли, значит, в течение периода больше повторялись осадки с интенсивностью выше средней. Падение величин осадков наблюдалось для весеннего сезона, а рост – для всех остальных, особенно для осеннего периода. Замедление роста уровня в течение всего периода хорошо согласуется с замедлением роста осадков.

Река Преголя, основная водная артерия Калининградской области, впадает в Калининградский залив Балтийского моря. В устьевой части реки, где расположен Калининград, главными причинами колебания уровня оказываются нагоны (и соответственно стоны) вод из залива, вызываемые переменными по направлению местными ветрами и колебаниями уровня Балтийского моря различной природы. Поэтому речной сток и ветровая составляющая – вот основные регуляторы изменчивости уровня в Калининграде (Навроцкая, Чубаренко, 2017).

Ранее (Навроцкая, Чубаренко, 2013) было показано, что рост среднего годового уровня в Калининградском заливе (в интервале 1959–2006 гг.) в основном обеспечивается ростом минимальных уровней (4.3 см/декада), отражающих общие тенденции повышения уровня в Балтийском море и изменения гидрологических климатообразующих факторов, главным из которых является сток рек, напрямую зависящий от осадков и испарения. За временной интервал 1961–2018 гг. ход минимальных годовых уровней характеризовался меньшим трендом – 3.4 см/декада (приращение 19.7 см по тренду за интервал), что является вкладом последних 12 лет.

Для максимальных уровней наиболее вероятна зависимость от тенденции в режиме нагонных ветров (Навроцкая, Чубаренко, 2013). В рассматриваемый временной интервал величина тренда максимальных уровней оказалась очень незначительной – 1.2 см/декада, что определило его подъем всего на 7 см по тренду.

Таким образом, несмотря на разную степень влияния режимообразующих факторов, в рассматриваемый период сохраняется тенденция в ходе экстремальных уровней, а также неуклонный рост среднего годового уровня в Калининграде.

Определить особенности сезонного хода среднего уровня в Калининграде позволяют данные, начиная с 1996 г., когда у пришвартованного к пирсу МС «Витязь» были организованы ежесуточные одноразовые наблюдения в околополуденное время, и они производятся до сих пор (Навроцкая, Чубаренко, 2017). Расчеты по этим данным показали, что в рассматриваемый период в каждый из сезонов ход уровня в центре г. Калининграда характеризовался близкими по величине положительными линейными трендами (от 3.2 до 4.7 см/декада), за исключением зимнего сезона, когда рост уровня происходил быстрее в 2 раза, чем летом и осенью, и в 3 раза, чем весной (табл. 2). Можно предположить, что именно в осенне-зимний период происходит основной вклад осадков в тенденцию роста среднего годового уровня, и это может быть связано с участвовавшими случаями теплых и влажных зим в регионе.

Выводы

1. Рассчитанные по 30-летним климатическим периодам средние годовые значения температуры воздуха, осадков и уровня моря показали их синхронный рост, обозначившийся во второй половине XX века (условно с 1950-х гг.), усилившийся в 1961–1990 гг., и, особенно, в 1991–2018 гг. Именно вышеуказанный синхронный рост обеспечивает достаточно высокие коэффициенты корреляции между ходом 30-летних средних: среднюю степень связи ($r = 0.70$) между температурой воздуха и осадками, высокую ($r = 0.86$) – между температурой воздуха и уровнем и очень высокую ($r = 0.95$) – между осадками и уровнем.

2. Этот синхронный рост усредненных за 30 лет среднегодовых значений температуры воздуха, осадков и уровня моря, являющийся откликом на внешнее (для региона) воздействие, и обеспечивает основные показатели изменения локального климата в Юго-Восточной Балтике.

3. При рассмотрении вариаций 30-летних средних вокруг линии положительного тренда выяснилось, что:

– связь вариаций температуры воздуха с осадками положительная, но исключительно слабая ($r = 0.10$), то есть вариации величин атмосферных осадков и температуры отражают более крупномасштабные процессы и не связаны друг с другом;

– связь между осадками и уровнем моря слабая ($r = 0.48$), то есть подтвердилось, что и на климатическом масштабе изменения уровня вод на устьевом участке Преголи слабо определяются величиной местных атмосферных осадков;

– связь между вариациями температуры воздуха и уровня моря высокая ($r = 0.85$), то есть возможно выдвинуть гипотезу о значительном вкладе стерической (температурное расширение) составляющей в вариации уровня в основном за счет подпора со стороны Балтийского моря в совокупности с влиянием Вислинского залива.

4. Попытка более детального рассмотрения (15-летние полупериоды) изменений среднегодовых значений температуры воздуха, осадков и уровня моря в пре-

делах временного интервала их значительного роста (1961–2018 гг.) показала, что, хотя скорость роста этих показателей меняется несинхронно, можно утверждать, что основной рост пришелся на первую половину рассматриваемого временного интервала, во второй половине рост немного замедлился.

5. Изменения температуры воздуха в пределах временного интервала 1961–2018 гг. характеризовались однонаправленными положительными линейными трендами, различающимися по величине. Близкими по величине положительными линейными трендами отличался рост среднегодовой температуры и годового минимума среднемесячных температур, который превышал скорость роста годового максимума среднемесячных температур. Позитивная тенденция среднегодовой температуры воздуха в основном обусловлена повышением температуры в зимний и весенний периоды, с чем связано уменьшение контрастности между сезонами.

6. Изменение уровня моря определяется разными факторами. Рост минимальных уровней в основном отражает климатические изменения гидрологических климатических факторов (подпор со стороны Балтийского моря и сток с водосбора), тогда как максимальные уровни отражают тенденции в режиме нагонных ветров. В пределах временного интервала 1961–2018 гг. установлен рост как среднегодового уровня (4.5 см/декада), так и минимального и максимального годовых уровней (соответственно, 3.4 и 1.2 см/декада). Не имеет смысла связывать тренды для этих величин, так как сравнение с результатами работы (Навроцкая, Чубаренко, 2013) для более короткого (на 12 лет) интервала – 1959–2006 гг. показало, что соотношения между ними могут сильно меняться в зависимости от длины ряда.

7. По имеющимся сезонным данным 1996–2018 гг. установлено, что основной рост среднего годового уровня происходил в зимний период: скорость роста уровня зимой (9.2 см/декада) почти вдвое превышала скорость летом (4.7 см/декада), осенью (4.6 см/декада) и весной (3.2 см/декада). Причина может быть в увеличении числа теплых и влажных зим в связи с общим климатическим потеплением.

Благодарности и финансирование: работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013, Навроцкая С.Е.), с использованием данных, собранных и проанализированных при поддержке гранта РФФИ р_а № 19-45-390012 (Стонт Ж.И.) и 19-45-390005 р_а (Чубаренко Б.В.). Авторы искренне благодарны всем сотрудникам Росгидромета, которые участвовали в сборе, первичной обработке и организации хранения и доступа к данным регулярных наблюдений, использованных в работе.

Литература

- Абрамов Р.В., Гуцин О.А., Навроцкая С.Е., Стонт Ж.И. Гидрометеорологический мониторинг побережья Юго-Восточной Балтики в 1996–2010 гг. // Известия РАН. Серия геогр. 2013. № 1. С. 54–61.
- Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Климатические изменения в Арктике и Северной Полярной Области // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 1 (84). С. 67–80.

- Базовые массивы данных по основным метеорологическим элементам // <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 14.06.2019).
- Бережный Б.Д., Казачкина Л.И., Красильников С.Н.* К вопросу об уровне реки в центре города // Сборник научных трудов конференции «Комплексное изучение бассейна Атлантического океана». Калининград: КГУ, 2006. С. 57–64.
- Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 1: Балтийское море. Вып. 3: Куршский и Вислинский заливы / под ред. Ф.С. Терзиева. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 72 с.
- Горбаренко Е.В.* Изменчивость солнечного сияния в Москве за период 1955–2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 6. С. 24–36.
- Домнин Д.А., Чубаренко Б.В.* Трансграничные водосборы Юго-Восточной Балтики // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 69–76.
- Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и ее причины // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 77–87.
- Климат морей России и ключевых районов Мирового океана – Балтийское море // <http://data.oceaninfo.ru/atlas/Balts/5-1.html> (дата обращения: 10.08.2019).
- Кондратьев К.Я.* Изменения глобального климата: нерешенные проблемы // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 118–127.
- Котляков В.М.* Криосфера и климат // Экология и жизнь. 2010. № 11. С. 51–60.
- Котлярова М.А., Буканова Т.В.* Изменчивость температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным // Известия КГТУ. 2019. № 53. С. 51–60.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В.* О повышении среднегодовых и сезонных значений уровня воды в устьевой части реки Преголи (Балтийское море) по данным 1996–2015 гг. // Известия РГО. 2017. Т. 149. № 2. С. 16–30.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В.* О повышении уровня моря в российской части Вислинского залива // Метеорология и гидрология. 2012. № 1. С. 57–67.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В.* Тенденции изменения уровня моря в лагунах Юго-Восточной Балтики // Океанология. 2013. Т. 53. № 1. С. 17–28.
- Панин Г.Н.* Об изменении климата в полярных зонах Земли // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 427. № 3. С. 397–402.
- Росгидромет: Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. Москва, 2017. 70 с. <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2017/doc2016.pdf>, (дата обращения: 08.04.2019).
- Стонт Ж.И., Чубаренко Б.В., Гуцин О.А.* Изменчивость гидрометеорологических характеристик для побережья Юго-Восточной Балтики // Известия РГО. 2010. Т. 142. № 4. С. 48–56.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М.* Изменения климата Арктики и Антарктики – результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 52–61.
- Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M.* Trends in the frequency of extreme climate events in Latvia // Baltica. 2010. Vol. 23 (2). P. 135–148.
- Chubarenko I.P., Chubarenko B.V.* General water dynamics of the Vistula Lagoon // Environmental and Chemical Physics. 2002. Vol. 24. No. 4. P. 213–217.
- Climate Change in the Baltic Sea Area. HELCOM Thematic Assessment in 2007 // Baltic Sea Environment Proceedings № 111. HELCOM, 2007. 48 p. Режим доступа: URL: <http://www.helcom.fi/stc/files/Publications/Proceedings/bsep111.pdf>, (дата обращения 15.08.2019).

- Dailidienė I., Baudler H., Chubarenko B., Navrotskaya S.* Long term water level and surface temperature changes in the lagoons of the South and East Baltic // *Oceanologia*. 2011. No. 53 (1-TI). P. 293–308.
- Dailidienė I., Davulienė L., Kelpsaite B., Razinkovas A.* Analysis of the climate change in Lithuanian Coastal areas of the Baltic Sea // *Journal of Coastal Research*. 2012. Vol. 28. No. 3. P. 557–569.
- HELCOM. Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013 // *Baltic Sea Environment Proceedings*. 2013. No. 137. 66 p.
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change. United Kingdom and NY, USA: Cambridge University Press, 2008.
- Jensen J., Wahl T., Mudersbach C.* Sea level variations at the German North Sea and Baltic Sea coastlines // *COPEDEC VII*. UAE: Dubai, 2008. Paper No. 099. P. 1–12.
- Kriauciuniene J., Meilutyte-Barauskiene D., Reihan A., Koltsova T., Lizuma L., Sarauskiene D.* Variability in temperature, precipitation and river discharge in the Baltic States // *Boreal Environment Research*. 2012. Vol. 17(2). P. 150–162.
- Philippart C.J.M., Anadon R., Danovaro R., Dippner J.W., Drinkwater K.F., Hawkins S.J., Oguz T., O'Sullivan G., Reid P.C.* Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2011. No. 400. P. 52–69.
- Prussak Z., Zavadzka E.* Potential implications of sea level rise for Poland // *Journal of Coastal Res.* 2008. Vol. 24. No. 2. P. 410–422.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M.* Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and NY, USA: Cambridge University Press, 2013. 1535 pp. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.
- Stont Z.I., Bukanova T.V.* General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004–2017 // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. Vol. 19. No. 3. DOI: 10.2205/2019ES000657.
- Tylkowski J.* Temporal and spatial variability of air temperature and precipitation at the Polish coastal zone of the southern Baltic Sea // *Baltica*. 2013. Vol. 26(1). P. 83–94.
- Wibig J., Glowicki B.* Trends of minimum and maximum temperature in Poland // *Climate Research*. 2002. Vol. 20. P. 123–133.
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO. No. 1203. World Meteorological Organization, 2017. 18 p.

LONG-TERM TENDENCIES IN VARIATIONS OF HYDRO-METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS IN KALININGRAD OBLAST

Stont Z.I., Navrotskaya S.E., Chubarenko B.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: ocean_stont@mail.ru, chuboris@mail.ru
Submitted 15.01.2020, accepted 30.03.2020*

The variability (1901–2018) of the average annual values of air temperature, precipitation and sea level with climate averaging (within 30-year climatic periods with a shift of the 30-year “window” in 10-year increments) was analyzed for the coastal zone of the Kaliningrad Oblast (the territory of Russia in the southeastern part of the Baltic Sea). It was found that their synchronous increase was identified in the second half of the twentieth century (from the 1950s), intensified in 1961–1990 and, especially, in 1991–2018. This increase provides an apparently high correlation coefficients between the time variations of the 30-year average of these parameters ($r = 0.70\text{--}0.95$), although in fact this synchronous increase is a response to external (for the region) impact.

Considering the link between the variations of 30-year averages around the lines of their positive trends, it was found that this link (a) is extremely weak for precipitation and air temperature ($r = 0.10$); (b) is weak for sea level and precipitation ($r = 0.48$); and is rather high for sea level and air temperature ($r = 0.85$).

Analysis of changes in average annual values of these parameters within 30-years periods showed that trends for the air temperature and sea level were extreme in the last period (1991–2018). A more detailed consideration of changes in the average annual temperature, precipitation and sea level over 15-year half-periods within time of growth (1961–2018) showed that the main increase occurred in the first half of this interval, and this increase was slightly slowed down in the second half. The increase in average annual air temperature is mainly due to an increase in temperature in winter and spring, which is associated with a decrease in contrast between seasons. The ambiguity of the contribution of extreme levels to the growth of the average annual level (4.5 cm/decade) was shown for 1961–2018: the positive trends of the minimum level was 3.4 cm/decade, and for the maximum level – 1.2 cm/decade. It was noted that the main increase in the average annual level was due to the growth of the level in the winter period. The reason may be an increase in the number of warm and humid winters due to general climate warming.

Keywords: Baltic Sea, climate change, rising air and water temperature, sea level variability, trends

Acknowledgments: The work was carried out as part of the State assignment of the IO RAS No. 0149-2019-0013 (Navrotskaya S.E.), using data collected and analyzed with the support of the Russian Foundation for Basic Research grant No. 19-45-390012_p_a (Stont J.I.) and 19-45-390005 p_a (Chubarenko B.V.). The authors are sincerely grateful to all Roshydromet employees who participated in the collection, primary processing, and organization of storage and access to the regular observation data used in this work.

References

- Abramov R.V., Gushin O.A., Navrockaya S.E., and Stont Zh.I.* Gidrometeorologicheskii monitoring poberezh'ya Yugo-Vostochnoi Baltiki v 1996–2010 gg. *Izvestiya RAN. Seriya geogr.*, 2013, No. 1, pp. 54–61.
- Alekseev G.V., Radionov V.F., Aleksandrov E.I., Ivanov N.E., and Harlanenkova N.E.* Klimaticheskie izmeneniya v Arktike i Severnoi Polyarnoi Oblasti. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2010, No. 1 (84), pp. 67–80.
- Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L. Briede A., and Kļaviņš M.* Trends in the frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, 2010, Vol. 23 (2), pp. 135–148.
- Bazovye massivy dannyh po osnovnym meteorologicheskim elementam, <http://meteo.ru/data> (last accessed in 14.06.2019).
- Berezhnyi B.D., Kazachkina L.I., and Krasil'nikov S.N.* K voprosu ob urovne reki v centre goroda. Sbornik nauchnyh trudov konferencii «Kompleksnoe izuchenie basseina Atlanticheskogo okeana». Kaliningrad: KSU, 2006, pp. 57–64.
- Chubarenko I.P. and Chubarenko B.V.* General water dynamics of the Vistula Lagoon. *Environmental and Chemical Physics*, 2002, Vol. 24, No. 4, pp. 213–217.
- Climate Change in the Baltic Sea Area. HELCOM Thematic Assessment in 2007. *Baltic Sea Environment Proceedings*, No. 111, HELCOM, 2007, 48 p., <http://www.helcom.fi/stc/files/Publications/Proceedings/bsep111.pdf>, (last assessed in 15.08.2019).
- Dailidienė I., Baudler H., Chubarenko B., and Navrotskaya S.* Long term water level and surface temperature changes in the lagoons of the South and East Baltic. *Oceanologia*, 2011, No. 53 (1-TI), pp. 293–308.
- Dailidienė I., Davulienė L., Kelpsaite B., and Razinkovas A.* Analysis of the climate change in Lithuanian Coastal areas of the Baltic Sea. *Journal of Coastal Research*, 2012, Vol. 28, No. 3, pp. 557–569.
- Domnin D.A. and Chubarenko B.V.* Transgranichnye vodosbory Yugo-Vostochnoi Baltiki. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, No. 3, pp. 69–76.
- Drozдов V.V. and Smirnov N.P.* Long-term changes of climate and hydrological regime in the Baltic region and their causes. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011, Vol. 36, No. 5, pp. 340–347.
- Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., and Smolyanickii V.M.* Izmeneniya klimata Arktiki i Antarktiki – rezul'tat deistviya estestvennyh prichin. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2010, Vol. 2 (85), pp. 52–61.
- Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoi zony morei SSSR. Vol. 1: Baltiiskoe more. Issue 3: Kurshskii i Vislinskii zalivy, pod red. F.S. Terzieva. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 72 p.
- Gorbarenko E.V.* Sunshine Variability in Moscow in 1955–2017. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, No. 6, pp. 24–36.
- HELCOM. Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. *Baltic Sea Environment Proceedings*, 2013, No. 137, 66 p.
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2008.
- Jensen J., Wahl T., and Mudersbach C.* Sea level variations at the German North Sea and Baltic Sea coastlines. COPEDEC VII. UAE: Dubai, 2008, Paper No. 099, pp. 1–12.
- Klimat morei Rossii i klyuchevykh raionov Mirovogo okeana – Baltiiskoe more, <http://data.oceaninfo.ru/atlas/Balts/5-1.html> (last assessed in 10.08.2019).
- Kondrat'ev K.Ya.* Izmeneniya global'nogo klimata: nereshennye problem. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2004, No. 6, pp. 118–127.

- Kotlyakov V.M.* Kriosfera i klimat. *Ekologiya i zhizn'*, 2010, No. 11, pp. 51–60.
- Kotlyarova M.A. and Bukanova T.V.* Izmenchivost' temperatury poverhnosti yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo morya po sputnikovym dannym. *Izvestiya KGTU*, 2019, No. 53, pp. 51–60.
- Kriauciuniene J., Meilutyte-Barauskiene D., Reihan A., Koltsova T., Lizuma L., and Sarauskiene D.* Variability in temperature, precipitation and river discharge in the Baltic States. *Boreal Environment Research*, 2012, Vol. 17(2), pp. 150–162.
- Navrotskaya S.E. and Chubarenko B.V.* O povyshenii srednegodovyh i sezonnyh znachenii urovnya vody v ust'evoi chasti reki Pregoli (Baltiiskoe more) po dannym 1996–2015 gg. *Izvestiya RGO*, 2017, Vol. 149, No. 2, pp. 16–30.
- Navrotskaya S.E. and Chubarenko B.V.* On the sea level rise in the Russian part of the Vistula Lagoon. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, Vol. 37, No. 1, pp. 39–46.
- Navrotskaya S.E. and Chubarenko B.V.* Trends in the variation of the sea level in the lagoons of the Southeastern Baltic. *Oceanology*, 2013, Vol. 53, No. 1, pp. 13–23.
- Panin G.N.* Ob izmenenii klimata v polyarnykh zonah Zemli. *Doklady Akademii Nauk*, 2010, Vol. 427, No. 3, pp. 397–402.
- Philippart C.J.M., Anadon R., Danovaro R., Dippner J.W., Drinkwater K.F., Hawkins S.J., Oguz T., O'Sullivan G., and Reid P.C.* Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, No. 400, pp. 52–69.
- Prussak Z. and Zavadzka E.* Potential implications of sea level rise for Poland. *Journal of Coastal Res.*, 2008, Vol. 24, No. 2, pp. 410–422.
- Rosgidromet: Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federacii za 2016 god, Moscow, 2017, 70 p., <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2017/doc2016.pdf>, (last accessed in 08.04.2019).
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., and Midgley P.M.* Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Stont Z.I. and Bukanova T.V.* General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004–2017. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2019, Vol. 19, No. 3.
- Stont Zh.I., Chubarenko B.V., and Gushin O.A.* Izmenchivost' gidrometeorologicheskikh harakteristik dlya poberezh'ya Yugo-Vostochnoi Baltiki. *Izvestiya RGO*, 2010, Vol. 142, No. 4, pp. 48–56.
- Tylkowski J.* Temporal and spatial variability of air temperature and precipitation at the Polish coastal zone of the southern Baltic Sea. *Baltica*, 2013, Vol. 26(1), pp. 83–94.
- Wibig J. and Głowicki B.* Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, 2002, Vol. 20, pp. 123–133.
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO. No. 1203. World Meteorological Organization, 2017, 18 p.