

УДК 551.58 (551.583.1)

DOI: 10.15853/2072-8212.2021.63.9-29

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА КУРИЛЬСКОГО (КАМЧАТКА) В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1976–2020 ГГ. И СВЯЗЬ С ГЛОБАЛЬНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ

В.В. Коломейцев, Е.В. Лепская



Вед. спец.; зав. лаб., к. б. н.; Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии («КамчатНИРО»)
683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18
Тел.: 8 (4152) 41-27-01. E-mail: kolomeytsev.v.v@kamniro.ru

*КУРИЛЬСКОЕ ОЗЕРО, ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ,
КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ, АМПЛИТУДНЫЕ СПЕКТРЫ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ*

Проведена характеристика гидрометеорологических условий в летний сезон за период с 1976 по 2020 гг. Получены статистические оценки временных рядов всего гидрометеорологического массива данных, собранных на наблюдательном пункте КамчатНИРО, расположенном в истоке р. Озерной, вытекающей из оз. Курильского. Проведен анализ линейных трендов. Рост температуры воздуха в бассейне оз. Курильского и на ГМС Озерная, а также температуры воды в р. Озерной оценивается более высокими темпами, по сравнению с глобальными тенденциями. Значимые корреляционные связи обнаружены между температурными характеристиками. Коэффициенты корреляции между температурой воздуха на оз. Курильском и на ГМС Озерная, а также температурой воды в р. Озерной возрастают от 0,3 в июне до 0,6–0,8 в августе и в среднем за сезон. Между другими параметрами связи оказались заметно слабее, а значимые получены единично. Выявлены стабильные значимые корреляции между температурными характеристиками и глобальными температурными индексами. Значимые линейные связи также получены между индексом WP, характеризующим низкочастотную изменчивость в атмосфере в западной части Тихого океана, и целым рядом параметров для различных месяцев и в среднем за сезон. В результате спектрального анализа выявлено, что на 95%-м доверительном интервале значимой оказалась только спектральная гармоника межгодового колебания суммарного за сезон количества осадков с периодом 2,2 года.

VARIATIONS OF HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE BASIN OF KURILE LAKE (KAMCHATKA) IN SUMMER PERIOD FOR 1976–2020 AND CONNECTION WITH GLOBAL CLIMATIC CHANGES

Vladimir V. Kolomeytsev, Ekaterina V. Lepskaya

Leading Specialist; Head of Lab., Ph. D. (Biology); Kamchatka Branch of Russian Research
Institute of Fisheries and Oceanography ("KamchatNIRO")
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18
Ph.: +7 (4152) 41-27-01. E-mail: kolomeytsev.v.v@kamniro.ru

*KURILE LAKE, HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS, LINEAR TRENDS, CORRELATIONS,
AMPLITUDE SPECTRA, CLIMATIC INDICES*

Description of summer hydrometeorological conditions is provided for the period from 1976 to 2020. Statistical evaluations of the time series of the entire hydrometeorological dataset collected at the KamchatNIRO observation station ashore of the Ozernaya River emerge from Kurile Lake have been obtained. Analysis of linear trends has been accomplished. Revealed rise of the air temperature at the Ozernaya meteorological station and Kurile Lake and of the water temperature in the Ozernaya River is reckoned higher compared global trends. The correlations found between temperature characteristics were significant. The correlation coefficients between the air temperature at the Ozernaya meteorological station and Kurile Lake either water temperature in the Ozernaya River demonstrate increase averaged for season and from 0.3 in June to 0.6–0.8 in August. The rest of the parameters correlated weaker, and there were few significant ones. Stable significant correlations were revealed between temperature characteristics and global temperature indices. Also linear correlations between the WP index, characterizing low-frequency variability in the atmosphere in the West Pacific, and a number of parameters averaged for the season or in different months were meaningful. Spectral analysis with confidence interval of 95% revealed only the spectral harmonics of interannual fluctuations in the amount of precipitation for the season with a period of 2.2 years as significant.

Изменчивость климата влияет на колебания гидрометеорологических и биологических условий в глобальном, региональном и локальном масштабах. Поэтому понимание направленности и выявление связей и закономерностей этой изменчи-

вости всегда актуально, в том числе в отношении к бассейнам нерестово-нагульных озер Камчатки.

Несмотря на то, что Курильское озеро относится к локальному пространственному масштабу, его значение в экономике Камчатского края (рыбохо-

зяйственная, туристская, культурно-просветительская деятельность) расширяет его масштабную значимость до регионального уровня и выше. В первую очередь, это связано с его биологическим предназначением в природе. В озере нерестится и нагуливается крупнейшее в Азии стадо нерки.

Котловина озера представляет собой обширную кальдеру обрушения с глубиной около 300 м, образованную в результате нескольких вулканических взрывов (Брайцева и др., 1965).

Гидрометеорологические наблюдения в бассейне оз. Курильского начаты в 1940 г. По мере накопления данных было показано влияние температуры воды в озере на видовую структуру фитопланктона (Лепская, 2004), выявлены положительная направленность трендов температуры воздуха в разные сезоны, цикличность поступления осадков в озерном бассейне, а также периоды выхолаживания и прогрева озерных вод (Лепская, 2006; Лепская, Маслов, 2009). Однако причины обнаруженных явлений до настоящего времени не рассматривались.

Целью настоящей работы является характеристика гидрометеорологических условий в бассейне Курильского озера и оценка их временных трендов за период современных регулярных наблюдений, а также исследование связей между межгодовыми вариациями гидрометеорологических параметров в летний период и глобальных и региональных климатических индексов на основе корреляционного анализа. Основные задачи связаны с расчетом параметров тренда, коэффициентов корреляции, спектральных плотностей и амплитуд и их значимости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основой для статистического анализа послужили данные измерений на оборудованной метеорологической площадке и водомерном посту на наблюдательном пункте КамчатНИРО, расположенном в районе истока р. Озерной, а также результаты измерения температуры воды на стандартной станции в гидрологическом центре озера. Метеоплощадка находится в координатах $51^{\circ}29'$ с. ш., $157^{\circ}02'$ в. д. на высоте 104 м над уровнем моря (Тарасов и др., 1984; Николаев, Николаева, 1991). Комплекс исследованных в работе показателей включал в себя температуру воздуха, количество атмосферных осадков и скорость ветра. Гидроло-

гические наблюдения за уровнем и температурой воды в реке проводили на водомерном посту, также расположенном в истоке р. Озерной. Наблюдения проводили ежедневно в три синоптических срока: 9:00, 15:00 и 21:00 ч. Далее по этим значениям находили средние за сутки значения, а из них — средние значения по месяцам летнего календарного сезона. Исключением здесь является количество осадков, которое рассчитывали путем суммирования. После этого рассчитывали аномалии относительно климатической нормы 1981–2010 гг. (Руководящие рекомендации ВМО., 2017).

Измерения температуры воды в оз. Курильском проводили один–три раза в месяц на центральной станции, приуроченной к центральной глубоководной части озера (гидрологический центр) (Лепская, 2006). В работе использованы данные по средневзвешенным значениям в верхнем 100-метровом слое.

Дополнительно были привлечены данные по температуре воздуха с гидрометеорологической станции Росгидромета в пос. Озерновском (ГМС Озерная) за тот же период. Станция расположена на юго-западном побережье Камчатки в координатах $51^{\circ}29'$ с. ш., $156^{\circ}29'$ в. д.; высота над уровнем моря — 28 м, международный синоптический индекс — 32594.

Расчет статистических характеристик временных рядов проводили по всей длине исследуемых выборок, а для сравнения аномалий гидрометеорологических параметров с климатическими индексами использовали базовый период 1981–2010 гг.

При характеристике межгодовой изменчивости параметров экстремальные значения выделяли следующим образом: ниже 5-го процентиля (отрицательные экстремумы) и выше 95-го процентиля (положительные экстремумы). Таким образом, были найдены 5%-й и 95%-й экстремумы и референтный интервал между этими экстремумами для каждого параметра по рассматриваемому ряду лет. Следует отметить, что в ВМО (Всемирная метеорологическая организация) нет строгих единых указаний по классификации данных наблюдений и, в частности, выделению экстремальных значений, однако одной из рекомендаций служит использование процентилей (квинтилей) для широкого круга задач (The Role of Climatological..., 2007).

Одним из ключевых вопросов, связанных с межгодовой изменчивостью гидрометеорологиче-

ских параметров, является оценка величины линейного тренда. Основные соотношения и формулы взяты из работы (Бендат, Пирсол, 1974). Модель линейного тренда выражается уравнением:

$$y = b \times x + a$$

Коэффициенты тренда определялись по стандартным уравнениям регрессионного анализа (методом наименьших квадратов). Статистическую значимость трендов проверяли с помощью *t*-статистики и критерия Фишера.

При проведении корреляционного анализа уровень значимости коэффициентов выборочной корреляции принимался за $p = 0,05$. Проверка статистической значимости коэффициентов проводилась по стандартной методике с использованием *t*-критерия Стьюдента (Брукс, Карузерс, 1963):

$$t_{N-2} = r \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}.$$

По данной формуле задается эмпирическая версия коэффициента, которая является оценкой теоретического значения. Поскольку число наблюдений (длина исследуемых временных рядов) в работе составило от 37 до 45 лет, то величины значимых коэффициентов корреляции на 95%-м уровне значимости возрастали от 0,29 до 0,32 по мере уменьшения длины ряда.

Спектральный анализ проводили для временных рядов средних за сезон значений гидрометеорологических параметров посредством быстрого Фурье-преобразования. Теоретическую основу и алгоритмы расчета можно найти у С.Л. Марпл-мл. (1990), К.Н. Вишератин (2007) и во многих других источниках. Значимость полученных спектров проводили методом Монте-Карло с генерацией 2000 случайных рядов нормально распределенного шума с такой же длиной и дисперсией, как у наших рядов (Вишератин, Карманов, 2008).

Для оценки влияния и вклада крупномасштабных процессов в атмосфере и океане в межгодовую изменчивость гидрометеорологических параметров в бассейне оз. Курильского были использованы данные о временной динамике некоторых глобальных и региональных климатических индексов. Стоит отметить, что в последние десятилетия появилось большое количество зарубежных и отечественных работ, в которых проводится попытка связать климатические индексы и морские биологические ресурсы, в том числе и для дальневосточных морей России и северо-западной

части Тихого океана. Однако здесь стоит согласиться с Г.В. Хеном и др. (2019а), что в большинстве работ климатические индексы используются механически, зачастую без понимания, какие атмосферные или океанические процессы и явления они характеризуют, подбором наиболее приемлемых статистических связей.

Основными принципами получения атмосферных индексов являются либо вычисление аномалий давления или геопотенциала относительно базовых климатических норм, либо разложение полей на эмпирические (естественные) ортогональные функции (ЕОФ). Океанические индексы получены тем же способом, но с использованием температуры поверхности или высоты уровня моря. Характеристика основных групп климатических индексов в русскоязычном варианте приводится на официальном портале Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИ-МО, <http://data.oceaninfo.ru/applications/indexes/index.jsp>). Подробный литературный обзор климатических индексов и описание природных процессов и явлений, которые они характеризуют, а также современные результаты анализа связей этих индексов с гидрометеорологическими условиями в дальневосточном регионе России, представлены в работах Г.В. Хена и др. (2019а, 2019б) и И.Д. Ростова и др. (2017, 2018, 2020).

В настоящей работе были использованы следующие климатические индексы:

1. **Nino 3.4 — Эль-Ниньо — Южное колебание (El Nino — Southern Oscillation, ENSO).** Индекс **Nino 3.4** является одним из широко используемых индексов для описания явления Эль-Ниньо / Ла-Нинья и представляет собой аномалию температуры поверхности экваториальной части Тихого океана для района 5° ю. ш. — 5° с. ш., 120° — 170° з. д. по данным HadISST4. Аномалии рассчитаны относительно периода 1981–2010 гг. Явление проявляется в отклике в климатической системе планетарного масштаба.

Источник: http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/.

2. **АО — Арктическое колебание (Arctic Oscillation).** Индекс Арктического колебания характеризует изменчивость в поле приземного давления в Северном полушарии, представляет собой одну из оценок дальних связей (teleconnection patterns) и выражен первой модой разложения на эмпирические ортогональные функции среднемесячных по-

лей аномалии геопотенциальных высот изобарической поверхности 1000 гПа от 20 до 90° с. ш. В частности, его характер и величина определяются аномалией давления в Арктике по отношению к аномалии на более южных (средних) широтах (Thompson, Wallace, 1998). Полученный временной ряд нормализован относительно базового периода 1979–2000 гг. Ввиду того, что значительная вариабельность этого индекса приходится на холодный период года, Арктическое колебание приземного давления относят к зимним явлениям, хотя расчеты индекса выполняются для всех месяцев.

Источник: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml.

3. PDO — Тихоокеанское декадное колебание (Pacific Decadal Oscillation). Индекс Тихоокеанского декадного колебания был введен в середине 1990-х годов при исследовании связи продуктивности лососей на побережье Северной Америки и климата северной части Тихого океана (Mantua et al., 1997). Данный индекс представляет собой первую моду разложения на эмпирические ортогональные функции поля среднемесячной аномалии температуры поверхности Тихого океана от 20° с. ш. до его северных окраин, таким образом, он отражает термическое состояние вод этого региона. Само явление заключается в выявленных колебаниях индекса с фазами 20–30 лет и сопутствующими особенностями распределения аномалии ТПО в Северной Пацифике. Однако ввиду обширных пространственных масштабов колебания его влияние распространяется далеко за пределы региона.

Источник: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>.

4. PNA — Тихоокеанский/Североамериканский индекс (Pacific/North American Pattern). Один из индексов, характеризующий дальние связи атмосферных процессов в отдельных районах, является одной из наиболее заметных мод низкочастотной изменчивости во внетропических регионах Северного полушария. Описывает четыре центра в средней тропосфере (Wallace, Gutzler, 1981). Один из них расположен возле Гавайских островов (20° с. ш., 160° з. д.), второй — над северной частью Тихого океана (45° с. ш., 165° з. д.), третий — над провинцией Альберта в Канаде (55° с. ш., 115° з. д.), а четвертый — над побережьем Мексиканского залива в США (30° с. ш., 85° з. д.). Представляет собой нормализованную аномалию геопотенциальных высот изобарической поверх-

ности 500 гПа относительно базового периода 1981–2010. PNA характеризует конфигурацию геопотенциального поля средней тропосферы северной части Тихого океана и Северной Америки.

Источник: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/pna_index.tim.

5. WP — Западно-Тихоокеанский индекс (West Pacific Pattern). Западно-Тихоокеанский индекс — еще одна характеристика дальних связей в атмосфере Северной Пацифики. В данном случае он оценивает наибольшую низкочастотную изменчивость поля геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа для двух удаленных районов, для которых обнаруживаются ярко выраженные области с противоположными знаками аномалии. Такими в исследуемом поле оказались район над зал. Шелихова и район в субтропической зоне Тихого океана у Юго-Восточной Азии.

Для понимания последствий Западно-Тихоокеанского колебания, обратимся к работе Г.В. Хена и др. (2019б). Так, положительная фаза (высокое давление на севере и низкое на юге) сопровождается ослаблением Алеутского минимума и ослаблением восточноазиатского струйного течения на западе северной части Тихого океана. В случае отрицательной фазы колебания — картина обратная. Положительная фаза Западно-Тихоокеанского колебания сопровождается более высокими температурами в южных широтах западной части северной половины Тихого океана как зимой, так и весной, а также пониженными — над Восточной Сибирью в любое время года. В высоких широтах северной части Тихого океана во все времена года интенсивность осадков выше среднего, а в центральной части — ниже среднего, особенно зимой и весной. Индекс рассчитывается первой модой при разложении поля геопотенциальных высот на эмпирические ортогональные функции. Нормализован относительно базового периода 1981–2010.

Источник: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/wp_index.tim.

6. NPGO — Индекс колебания субтропической циркуляции в Северной Пацифике (North Pacific Gyre Oscillation). Индекс NPGO представляет собой вторую главную компоненту изменчивости высоты поверхности моря в северной части Тихого океана при разложении на ЕОФ. В отечественных работах используется мало, однако, например, зарубежными исследователями были выявлены значимые корреляции NPGO с ранее необъяснимыми колебаниями

солености, питательных веществ и хлорофилла, измеренных в ходе долгосрочных наблюдений в Калифорнийском течении и в зал. Аляска. Индекс был введен Emanuele Di Lorenzo et al. (2008) и использовался в основном для исследований колебания интенсивности центральной и восточной ветвей круговорота. Колебания индекса NPGO вызваны региональными и бассейновыми вариациями ветрового апвеллинга и горизонтальной адвекции — важнейшими процессами, определяющими соленость и концентрацию питательных веществ. Колебания концентрации питательных веществ вызывают сопутствующие изменения в количестве фитопланктона и могут вызывать аналогичную изменчивость на более высоких трофических уровнях. Таким образом, NPGO является надежным индикатором колебаний механизмов, управляющих динамикой планктонной экосистемы.

Источник: <http://www.o3d.org/npgo/>.

7. HadCRUT5 и HadSST4 — Глобальные индексы температуры. Глобальные индексы температуры являются важнейшим индикатором изменения климата. Широко распространены несколько глобальных индексов температуры, например такие, как GISTEMP (Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature) и HadCRUT (Hadley Centre and the Climatic Research Unit). Несмотря на различия в методиках расчета, применяемых в различных мировых климатических центрах, аномалии приземной температуры над континентами рассчитываются на базе стационарных метеорологических данных, тогда как основным источником данных температуры поверхности океана являются спутники.

В нашей работе мы использовали глобальный индекс температуры **HadCRUT5**, который рассчитывается на основе среднемесячных объединенных аномалий приземной температуры воздуха (**CRUTEM5**) и температуры поверхности океана (**HadSST4**) в узлах регулярной сетки $5^\circ \times 5^\circ$. Аномалии рассчитываются относительно базового периода 1961–1990 гг.

Источник: Met Office Hadley Centre and the Climatic Research Unit at the University of East Anglia: <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/>.

Для всех индексов проводилась выборка среднемесячных значений за июнь, июль и август, а также рассчитывались средние за сезон значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрометеорологические наблюдения в бассейне оз. Курильского начали проводить с 1941 г. Первые наблюдения включали в себя комплекс измерений температуры воздуха, направления и скорости ветра, уровня и температуры воды в р. Озерной, визуальные наблюдения за облачностью и ледоставом. Во второй половине 50-х гг. регулярные наблюдения прекратились и были возобновлены лишь со второй половины 70-х гг. При этом полностью наблюдениями (либо не сохранились данные) не были охвачены 1949, 1955–1956 гг. и период с 1969 по 1974 гг. С 1980 г. к измеряемым параметрам добавились количество атмосферных осадков и температура воды в озере. В настоящей работе мы принимаем к анализу наиболее полный ряд данных (без больших пробелов), который начинается с 1976 г. Но для информации считаем полезным привести в таблице 1 средние значения гидроме-

Таблица 1. Средние характеристики гидрометеорологических параметров в летние месяцы на оз. Курильском за период наблюдений 1941–1968 гг.

Table 1. Averaged monthly hydrometeorological parameters at Kurile Lake in summer over the period 1941–1968

	Температура воздуха, °C Air temperature	Температура воды в реке, °C Water temperature in the river	Уровень воды, см Water level, cm	Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s
Июнь / June				
<i>N</i>	25	18	11	12
<i>m</i>	7,7	3,8	45	2,7
<i>s</i>	1,2	0,5	17	0,5
Июль / July				
<i>N</i>	25	18	11	12
<i>m</i>	11,4	4,9	72	2,3
<i>s</i>	1,2	0,4	20	0,3
Август / August				
<i>N</i>	25	18	11	12
<i>m</i>	12,4	7,0	49	2,3
<i>s</i>	1,3	1,4	17	0,6
В среднем за сезон / Averaged seasonal				
<i>N</i>	25	18	11	12
<i>m</i>	10,5	5,2	55	2,4
<i>s</i>	1,1	0,7	12	0,3

Примечание: *N* — количество лет наблюдений за период 1941–1968 гг.; *m* — среднее значение; *s* — стандартное отклонение
Note: *N* — the number of years analyzed for the period 1941–1968; *m* — averaged value; *s* — standard deviation

теорологических характеристик за период наблюдений с 1941 до 1968 гг., несмотря на то, что они не будут использованы в дальнейшем анализе. С первичными данными наблюдений можно также ознакомиться в архиве Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»).

Обобщенная характеристика гидрометеорологических условий в бассейне оз. Курильского и линейных трендов их межгодовой изменчивости представлена в таблице 2.

Характеристика гидрометеорологических условий на оз. Курильском в летний сезон

Июнь. Размах среднемесячных значений температуры воздуха в июне в бассейне оз. Курильского составил 5,5 °С — от 5,6 (1985 г.) до 11,1 (2012 г.) °С, а среднее многолетнее значение за период 1976–2020 гг. — 8,3 °С при $s = 1,3$ °С. Кроме 2012 г., экстремально высокие значения, находившиеся за пределами референтного интервала, с отклонением от климатической нормы на 2,4 и

Таблица 2. Характеристики и тенденции межгодовых изменений гидрометеорологических параметров в летние месяцы на оз. Курильском за период наблюдений 1976–2020 гг.

Table 2. Statistical results and linear trends of the year-to-year behavior of hydrometeorological parameters at Kurile Lake in summer for the observation period 1976–2020

Параметр / Parameter	<i>N</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	R^2	КЛТ	<i>p</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	t_a	t_b	<i>F</i>
Июнь / June											
Температура воздуха / Air temperature	44	8,3	1,3	0,04	0,21	0,171	7,818	0,021	20,081	1,392	1,937
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	37	3,0	0,7	0,02	0,09	0,146	2,747	0,009	10,286	0,872	0,760
Температура воды в реке River water temperature	44	4,4	0,7	0,34	0,33	0,000	3,681	0,033	19,975	4,657	21,686
Уровень воды / Water level	45	71	13	0,01	0,95	0,536	68,295	0,095	16,921	0,624	0,390
Осадки / Precipitation	40	37	26	0,16	8,95	0,010	14,282	0,895	1,546	2,710	7,347
Скорость ветра / Wind speed	39	3,8	1,2	0,02	0,12	0,128	3,466	0,012	8,542	0,786	0,618
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	45	6,2	0,8	0,29	0,33	0,000	5,445	0,033	26,472	4,193	17,580
Июль / July											
Температура воздуха / Air temperature	45	12,0	1,1	0,03	0,15	0,251	11,617	0,015	33,671	1,163	1,352
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	38	4,2	1,0	0,02	0,12	0,354	3,855	0,012	10,829	0,939	0,883
Температура воды в реке River water temperature	44	6,0	1,0	0,19	0,33	0,003	5,271	0,033	19,002	3,144	9,886
Уровень воды / Water level	45	82	15	0,00	0,32	0,857	81,127	0,032	17,359	0,182	0,033
Осадки / Precipitation	40	57	53	0,14	16,97	0,016	13,325	1,697	0,707	2,520	6,351
Скорость ветра / Wind speed	40	2,7	0,9	0,07	0,18	0,112	2,283	0,018	7,511	1,625	2,642
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	45	9,8	0,9	0,21	0,33	0,002	9,066	0,033	35,561	3,374	11,385
Август / August											
Температура воздуха / Air temperature	45	12,9	1,1	0,11	0,29	0,026	12,200	0,029	36,827	2,312	5,346
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	39	5,5	0,8	0,01	0,06	0,547	5,371	0,006	21,948	0,608	0,369
Температура воды в реке River water temperature	44	9,1	2,0	0,28	0,82	0,000	7,195	0,082	13,594	4,084	16,680
Уровень воды / Water level	45	57	12	0,01	1,06	0,444	59,001	–0,106	16,226	–0,772	0,597
Осадки / Precipitation	40	77	48	0,03	6,58	0,317	60,269	0,658	3,314	1,013	1,026
Скорость ветра / Wind speed	39	3,1	1,2	0,04	0,19	0,223	2,641	0,019	6,330	1,241	1,539
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	45	11,4	1,1	0,18	0,34	0,003	10,574	0,034	35,916	3,076	9,460
В среднем за сезон / Averaged seasonal											
Температура воздуха / Air temperature	44	11,1	1,0	0,10	0,13	0,039	10,552	0,023	37,586	2,129	4,533
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	36	4,2	0,7	0,01	0,01	0,613	4,046	0,005	14,391	0,510	0,260
Температура воды в реке River water temperature	44	6,5	1,1	0,37	0,50	0,000	5,379	0,050	20,553	4,987	24,867
Уровень воды / Water level	45	70	10	0,00	0,01	0,840	69,531	0,007	22,151	0,058	0,003
Осадки / Precipitation	40	171	81	0,22	10,81	0,002	88,037	3,243	3,194	3,292	10,836
Скорость ветра / Wind speed	38	3,2	1,0	0,04	0,15	0,206	2,821	0,015	8,555	1,287	1,656
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	45	9,1	0,8	0,35	0,34	0,000	8,338	0,034	45,025	4,835	23,378

Примечание: *N* — количество месяцев и сезонов наблюдений за период 1976–2020 гг., для которых рассчитывались значения; *m* — среднее значение; *s* — стандартное отклонение; R^2 — коэффициент детерминации; КЛТ — коэффициент наклона линейного тренда за 10 лет; *a*, *b* — коэффициенты линейного уравнения тренда вида $y = a + bt$; *p* — уровень значимости тренда; t_a — критерий Стьюдента для коэффициента *a*; t_b — критерий Стьюдента для коэффициента *b*; *F* — значимость уравнения по критерию Фишера. Жирным шрифтом выделены значимые оценки при уровне $p < 0,05$

Note: *N* — the number of months and seasons analyzed for the period 1976–2020 and used for evaluation; *m* — average value; standard deviation; *s* — determination coefficient; КЛТ — bias coefficient of the linear trend for 10 years; *a*, *b* — coefficients of the linear equation of the trend $y = a + bt$; *p* — trend significance level; t_a — Student's test for coefficient *a*; t_b — Student's test for coefficient *b*; *F* — equation significance by Fisher's criterion. Bold font marks significant values at the level $p < 0,05$

2,8 °С, наблюдали в 1977 и 2014 гг. соответственно (рис. 1А). Приближенная к экстремальным значениям температура воздуха (аномалия 1,9–2,2 °С) отмечалась в 1996, 1998, 2009 и 2013 гг. Отрицательные экстремумы, когда значения температуры были ниже нормы на 2,0 °С, помимо 1985 г. наблюдались в 1982 и 2001 гг.

Средняя за июнь температура воды в верхнем 100-метровом слое озера в период с 1980 по 2020 гг. варьировала от 1,2 (1999 г.) до 4,1 (1984 г.) °С, в среднем составив 3,0 °С при $s = 0,7$ °С. Кроме 1984 г., экстремальный максимум также был от-

мечен в 2007 г. со значением аномалии 1,1 °С (рис. 1Б). Низкие значения наблюдали в 1980 г. и в целую группу лет 1994–2000 гг., отклонения от нормы в эти годы зачастую составляли от минус 1,0 до минус 1,5 °С, а наиболее экстремальными из них оказались 1999 и 2000 гг.

Температура воды в реке имела несколько больший размах значений, чем в верхнем слое озера 0–100 м, и изменялась от 2,6 (1990 г.) до 6,0 (1997 г.) °С. Среднее за период исследований значение составило 4,4 °С при $s = 0,7$ °С. Значимые на 5%-м уровне положительные экстремумы с

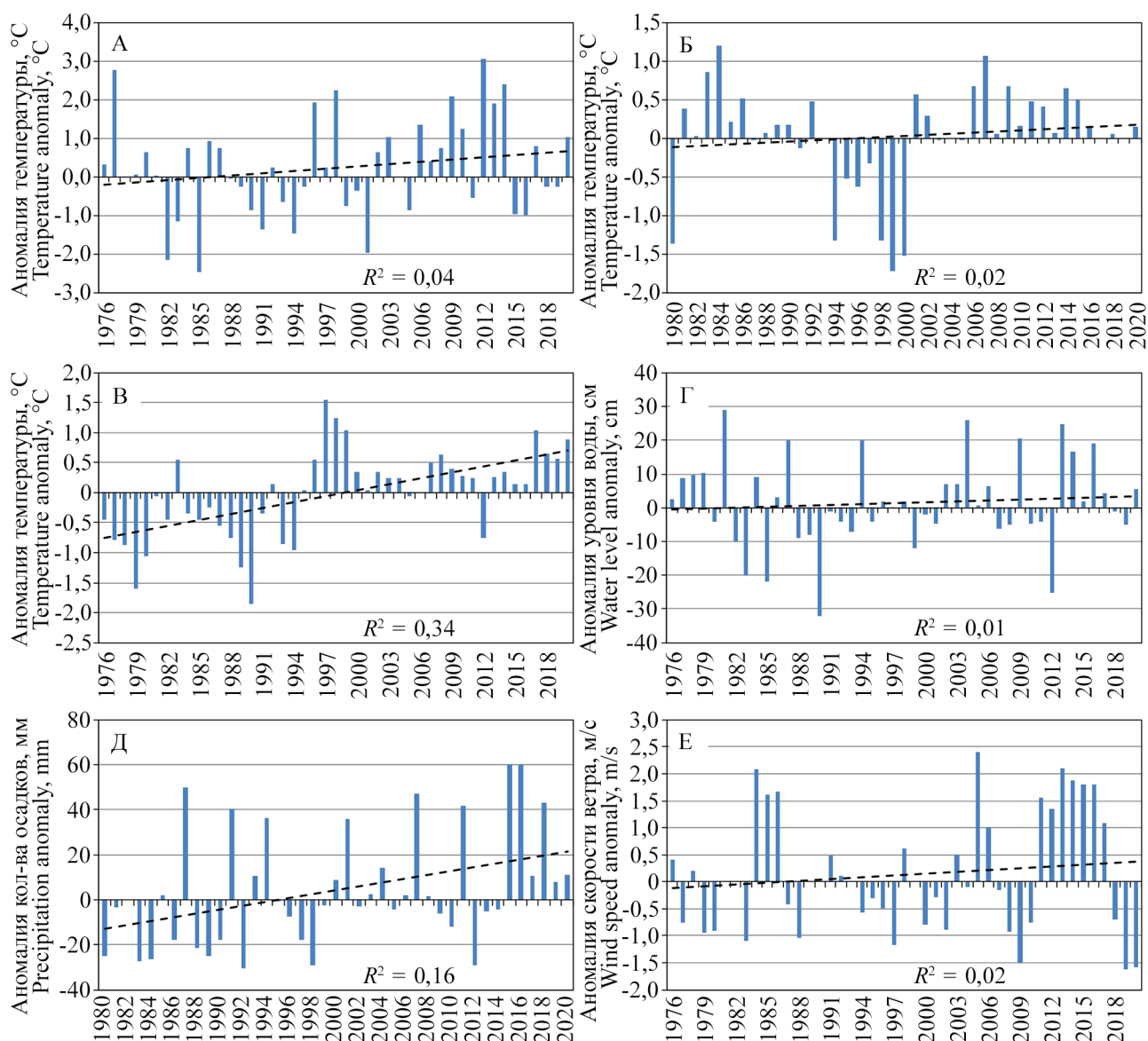


Рис. 1. Многолетний ход средних за июнь аномалий гидрометеорологических параметров на оз. Курильском относительно периода 1981–2010 гг.: А — температура воздуха; Б — температура воды верхнего 100-метрового слоя оз. Курильского; В — температура воды в реке; Г — уровень воды в реке; Д — суммарное количество атмосферных осадков; Е — скорость ветра. Пунктирные линии — линии линейного тренда

Fig. 1. The year-to-year behavior of the June mean anomalies of hydrometeorological parameters at Kurile Lake vs. the period 1981–2010: А – the air temperature; Б – the water temperature in the upper 100 m layer of the lake; В – the water temperature in the river; Г – the water level in the river; Д – the total precipitation; Е – the wind speed. The dashed lines mark linear trends

аномалией 1,0–1,5 °C наблюдали в 1998, 1999 и 2017 гг. (рис. 1В). Обращает на себя внимание тот факт, что в конце 1990-х годов температура воды в реке находилась в противофазе с температурой воды в озере. Также относительно высокое значение аномалии, составившее 0,9 °C, было отмечено и в 2020 г. Экстремально отрицательные отклонения от нормы, помимо отмеченного выше 1990 г., наблюдались в 1979 и 1989 гг. и составили минус 1,6 и минус 1,3 °C соответственно.

Межгодовые колебания среднего за июнь уровня воды в р. Озерной составили от 37 до 98 см. Среднемноголетнее значение оценивается в 70 см при стандартном отклонении 13 см. Экстремально высокий уровень, превышающий 94 см, был отмечен в 1981, 2004 и 2013 гг. (рис. 1Г). Самый низкий уровень составил 37 см в 1990 и 44 см в 2012 гг.

Количество суммарных за июнь осадков изменялось в диапазоне от 2 (1992 г.) до 93 (2015 и 2016 гг.) мм, в среднем за период 1980–2020 гг. составив 37 мм при $s = 26$ мм. Экстремально высокие значения суммы осадков наблюдали только в 2015 и 2016 гг. Также относительно высокие значения отмечены в 1987, 1991, 1994, 2001, 2007, 2011 и 2018 гг., при этом имело место двукратное превышение климатической нормы 1980–2010 гг. Существенные отрицательные аномалии были характерны для первой половины исследуемого периода (1980–1998 гг.) и в 2012 г. Помимо экстремальных минимумов в 1992, 1998 и 2012 гг., сумма осадков ниже 10 мм (аномалии минус 25–30 мм) была в 1980, 1983, 1984 и 1989 гг. (рис. 1Д).

Среднемесячная скорость ветра изменялась в течение периода 1976–2020 гг. от 2 до 6 м/с. Среднее за весь период значение составило 3,7 м/с при $s = 1,2$ м/с. Относительно высокая скорость ветра зарегистрирована в 1984–1986, 2005 и 2011–2017 гг., когда аномалии превышали 1,5 м/с (рис. 1Е). Экстремальные максимумы среднемесячных значений пришлось на 1984, 2005 и 2013 г. и превышали климатическую норму на 2,1–2,4 м/с, что соответствует $\sim 2s$. Самые большие отрицательные отклонения от нормы были отмечены в 2009, 2019 и 2020 гг., когда они составили около 1,5 м/с.

Июль. Средняя за июль температура воздуха в бассейне оз. Курильского за период 1976–2020 гг. составила 12,0 °C при $s = 1,1$ °C, варьируя от 9,8 (1985 г.) до 14,7 (2013 г.) °C. Высокими значениями, с отклонением от климатической нормы на 2 °C и более, характеризовался июль в 1977–1978, 2003,

2008 и 2013 гг. (рис. 2А). Экстремально низкие значения температуры воздуха, когда аномалии достигали минус 1,5–2,0 °C, отмечены в 1979, 1985 и 2004 гг.

Температура воды верхнего 100-метрового слоя озера в 1980–2020 гг. изменялась от 2,0 (2010 г.) до 6,5 (2017 г.) °C. Среднее за этот период значение составило 4,2 °C при $s = 1,0$ °C. Среди лет с высокими значениями температуры заметно выделяется 2017 г., когда аномалия температуры составила 2,5 °C. Кроме этого, экстремальные положительные аномалии со значениями 1,4 °C наблюдали в 1984 и 2001 гг., относительно высокие значения также отмечены в 1986 и 2006 гг. Экстремальное отрицательное отклонение от нормы, помимо 2010 г., составившее минус 1,9 °C, зарегистрировано в 1999 г. Низкие значения также пришлось на 1994, 1998 и 2000 гг. (рис. 2Б).

Температура воды в реке характеризовалась размахом значений 4,1 °C — от 4,3 в 1976 г. до 8,4 °C в 1998 г., а в среднем за период 1976–2020 гг. составила 6,0 °C при $s = 1,0$ °C. Экстремальные значения, превышающие норму на 1,9 °C и более, кроме 1998 г., наблюдали в 2003 и 2014 гг. (рис. 2В). Низкие относительно нормы температуры в основном преобладали в первую половину исследуемого периода, а во второй половине низким значением отличался 2012 г., когда аномалия температуры составила минус 1,5 °C.

Средний за июль уровень воды в реке в период с 1976 по 2020 гг. варьировал от 47 до 115 см, в среднем составив 82 см при $s = 15$ см. Экстремально высокие значения, превышающие 110 см, а аномалии — 30 см, отмечали в 1976, 1997 и 2016 гг. (рис. 2Г). Минимальный уровень с аналогичной по величине и противоположной по знаку аномалией зарегистрирован в 1981 г., значимые отрицательные экстремумы также отмечали в 2010 и 2019 гг.

Количество осадков в июле в среднем за период 1980–2020 гг. составило 57 мм, а стандартное отклонение — 53 мм. Значения в течение периода изменялись от 0 (2003 г.) до 295 (2016 г.) мм. Помимо 2016 г., экстремально высоким количеством осадков отличался и следующий, 2017 г. (173 мм) (рис. 2Д). Минимальными значениями характеризовались указанные выше 2003 и 2008 гг. с величиной суммы осадков 6 мм (аномалия –38 мм).

Среднемноголетняя скорость ветра в июле за период 1976–2020 гг. составила 2,7 м/с при $s = 0,9$ м/с. На протяжении исследуемого периода

значения варьировали от 1,3 в 2019 г. до 5,8 м/с в 2005 г. Кроме этих экстремумов, высокие значения, характеризующиеся отклонением от нормы на 1,3–1,7 м/с, наблюдали в 2006, 2013 и 2015 гг. (рис. 2Е). Июль с низкой скоростью ветра, когда аномалии достигали минус 1,3–1,4 м/с, пришелся на 1976, 1980 и 2008 гг.

Август. Среднеголетняя температура воздуха в августе составила 12,9 при $s = 1,1$ °С. Ее значения за весь исследуемый период изменялись от 10,3 (1985, 2002 гг.) до 15,6 (2016 г.) °С, при этом наибольшие положительные максимумы со значениями аномалии 2,0–3,0 °С отмечали в последнее

десятилетие: в 2012, 2013 и 2016 гг. (рис. 3А). Близкая к этим значениям температура также зарегистрирована в 1977 г. Кроме абсолютного минимума в 1985 и 2002 гг., экстремально низкая температура воздуха, характеризовавшаяся отклонениями от нормы на минус 1,5–2,0 °С, была в 1976 и 1984 гг.

Температура воды в верхнем 100-метровом слое озера в августе в среднем за 1980–2020 гг. составила 5,5 °С при $s = 1,2$ °С. Значения варьировали в диапазоне 3,8–6,7 °С. Повышенные относительно нормы значения преобладали с 1981 по 1990 гг. (за исключением 1985 г.) и во второй половине исследуемого периода.

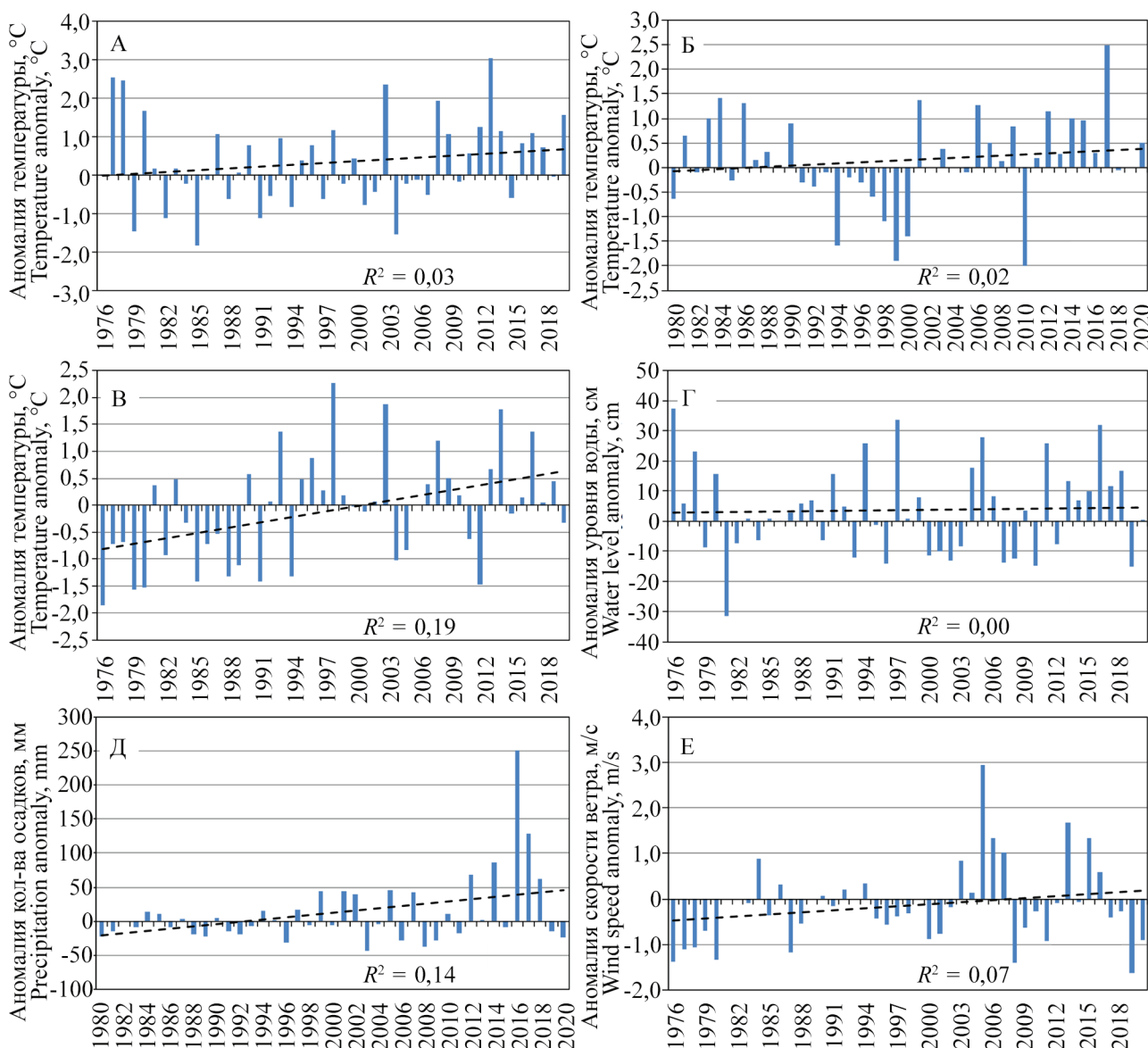


Рис. 2. Многолетний ход средних за июль аномалий гидрометеорологических параметров на оз. Курильском относительно периода 1981–2010 гг.: А — температура воздуха; Б — температура воды верхнего 100-метрового слоя оз. Курильского; В — температура воды в реке; Г — уровень воды в реке; Д — суммарное количество атмосферных осадков; Е — скорость ветра. Пунктирные линии — линии линейного тренда

Fig. 2. The year-to-year behavior of July mean anomalies of hydrometeorological parameters at Kurile Lake vs. the period 1981–2010: А – the air temperature; Б – the water temperature of the upper 100 m layer of the lake; В – the water temperature in the river; Г – the water level in the river; Д – the total precipitation; Е – the wind speed. Dashed lines mark linear trends

дованного периода (рис. 3Б). Экстремальные случаи, когда температура воды в озере превышала норму на 1,0 °C и более, пришлось на 1984, 2002 и 2012 гг. Низким фоном температуры характеризовался период с 1993 по 2000 гг., когда отрицательные отклонения от нормы несколько раз достигали минус 1,0–1,5 °C. Также низкими значениями по этому показателю отличался 2005 г.

Размах значений среднемесячной температуры воды в реке в августе за период исследований составил 7,5 °C — от 5,2 в 1976 г. до 12,7 °C в 2013 г., а среднее значение — 9,1 °C при $s = 2,0$ °C. Высокая

температура, превышающая норму на 2,0 °C и более (с максимальным значением аномалии 3,9 °C в 2013 г.), отмечена, в основном, в последние 15 лет, а именно в 2008, 2012, 2013, 2016, 2017 и 2019 гг. (рис. 3В). Также относительно высокие значения были в 1977 и 1998 гг. Низкие значения, напротив, преобладали в первую половину исследованного периода, аномалии достигали минус 2,0–3,6 °C в 1976, 1978–1980, 1985, 1987, 1988, 1992 и 1994 гг.

Средний уровень воды в реке в августе за весь исследуемый период составил 57 см при $s = 12$ см. Межгодовые изменения значений происходили

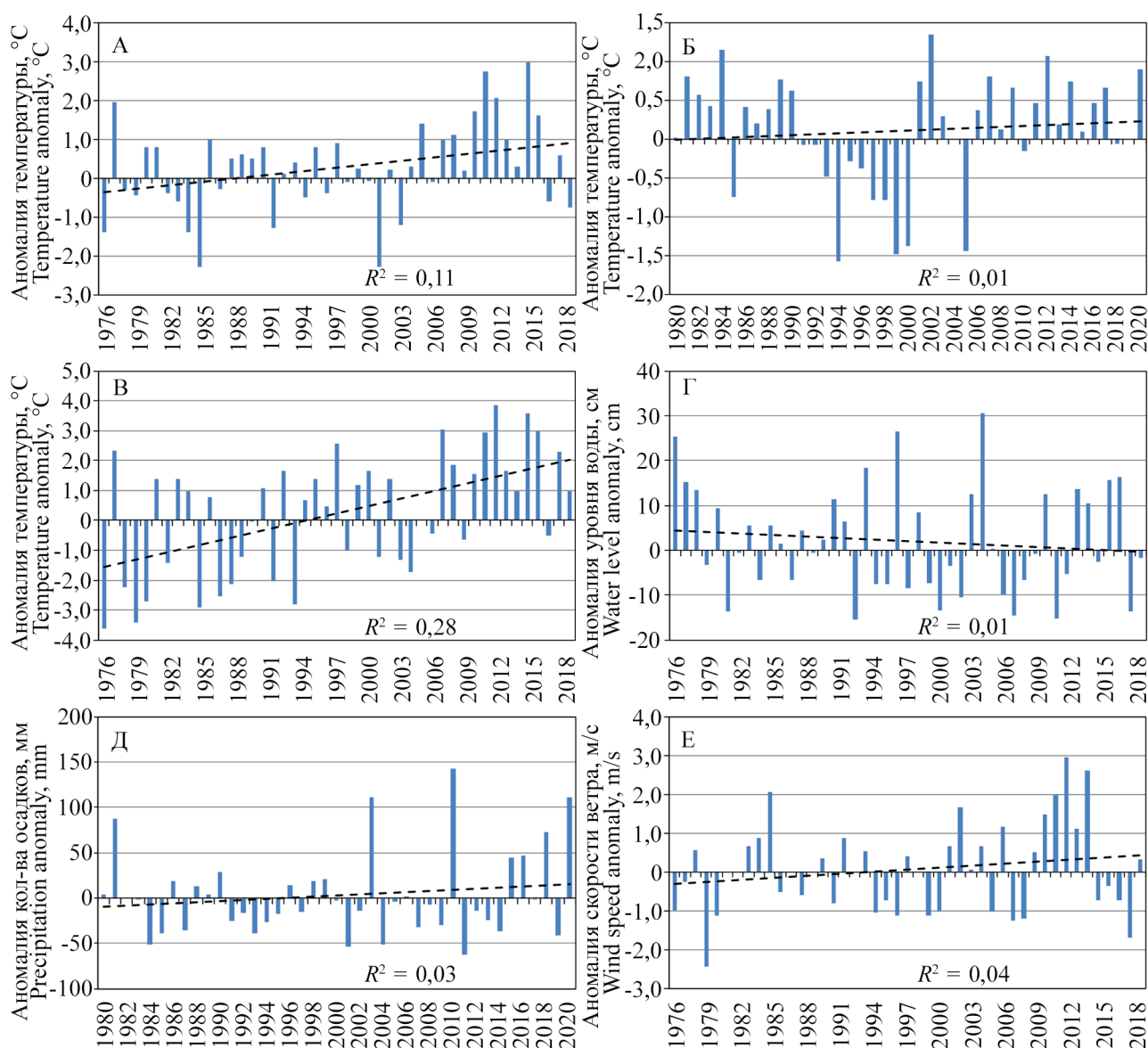


Рис. 3. Многолетний ход средних за август аномалий гидрометеорологических параметров на оз. Курильском относительно периода 1981–2010 гг.: А — температура воздуха; Б — температура воды верхнего 100-метрового слоя оз. Курильского; В — температура воды в реке; Г — уровень воды в реке; Д — суммарное количество атмосферных осадков; Е — скорость ветра. Пунктирные линии — линии линейного тренда

Fig. 3. The year-to-year behavior of August mean anomalies of hydrometeorological parameters at Kurile Lake vs. the period 1981–2010: А — the air temperature; Б — the water temperature of the upper 100 m layer of the lake; В — the water temperature in the river; Г — the water level in the river; Д — the total precipitation; Е — the wind speed. Dashed lines mark linear trends

в пределах от 39 (1993, 2012 гг.) до 85 см (2005 г.). Кроме 2005 г., значимый экстремально высокий уровень, превышающий норму на 25 см и более, наблюдали в 1976 и 2005 гг. (рис. 3Г). Низкий уровень воды с отклонениями от нормы на минус 14–16 см был отмечен в 1981, 1993, 2001, 2008, 2012 и 2019 гг.

Сумма количества осадков в августе в среднем за 1980–2020 гг. составила 77 мм при $s = 48$ мм, изменяясь в течение этого периода от 12 до 218 мм. Экстремальные положительные отклонения от нормы, превышающие 110 мм, наблюдали в 2003, 2010 и 2020 гг. (рис. 3Д). Низкие значения, менее 25 мм (аномалия ниже минус 50 мм), были отмечены в 1984, 2001, 2004 и 2011 гг.

Средняя за август скорость ветра в период с 1976 по 2020 гг. варьировала от 0,6 до 6,0 м/с, в среднем составив 3,1 м/с при $s = 1,2$ м/с. Высокие значения, превышающие норму на 2 м/с, наблюдали в 1985, 2012, 2013 и 2015 гг. (рис. 3Е). Ветер с экстремально низкими значениями скорости отмечен в 1979 и 2019 гг., отклонения относительно нормы составили минус 2,4 и 1,7 м/с соответственно.

В среднем за сезон. Средняя за летний календарный сезон температура воздуха за период 1976–2020 гг. составила 11,1 °С при $s = 1,0$ °С, а величина размаха значений соответствовала 4,6 °С — от 8,6 (1985 г.) до 13,2 °С (1977 г.). Экстремальные положительные аномалии, составившие 2,3 °С, были отмечены в 2012 и 2013 гг., а минимальные — в 1982 и 2001 гг.: 9,5 и 9,8 °С соответственно. Следует отметить, что в последние 15 лет существенно преобладали повышенные значения (рис. 4А).

Температура воды в верхнем 100-метровом слое озера в период 1980–2020 гг. изменялась в пределах от 2,4 (1999 г.) до 5,4 °С (1984 г.), в среднем составив 4,2 °С при $s = 0,7$ °С. Положительные экстремумы со значением аномалии 0,9 °С также выделяются в 2001 и 2012 гг. (рис. 4Б). Отрицательные экстремальные отклонения от нормы минус 1,5 °С и минус 1,4 °С наблюдали в 1994 и 2000 гг. соответственно. В целом, в межгодовом ходе температуры воды озера очевидно наличие двух теплых периодов: в первые десять лет и во второй половине исследуемого периода, а между ними в 1994–2000 гг. в верхнем слое озера наблюдались относительно холодные условия.

Температура воды в реке в среднем за летние месяцы в 1976–2020 гг. составила 6,5 °С при $s = 1,1$ °С, а ее межгодовой размах — 4,2 °С: от 4,3 °С

в 1979 г. до 8,5 °С в 1998 г. Отрицательные экстремумы были также отмечены в 1976, 1980 и 1994 гг., значения аномалии составили минус 2,0, минус 1,8 и минус 1,7 °С соответственно (рис. 4В). Экстремальными положительными отклонениями характеризовались 2008, 2013 и 2017 гг., когда значения превышали норму на 1,6–1,8 °С. Отметим также, что в межгодовой изменчивости температуры воды в реке отчетливо прослеживается положительная тенденция.

Уровень воды в реке изменялся от 51 (2012 г.) до 89 (1976 и 1994 гг.) см, а средняя величина за 1976–2020 гг. составила 70 см при $s = 10$ см. Изменчивость этого параметра носила в большей степени случайный характер (рис. 4Г). Другие положительные экстремумы (более 86 см, а аномалия относительно климатической нормы — 19–20 см) также наблюдали в 1997, 2004 и 2005 гг. Отрицательные экстремумы отмечены в 1990 (55 см), 1993 (56 см) и 2019 (56 см) гг., значения уровня в эти годы составили 55–56 см, а его аномалии — минус 11–12 см. Близкими к этим значениям, но входящими в референтный интервал, оказались 2007 и 2008 гг.

На межгодовое изменение суммарного за сезон количества осадков существенное влияние оказал абсолютный экстремальный максимум в июле 2016 г. (295 мм). В среднем за сезон этот год также характеризовался наибольшим значением, составившим 509 мм (рис. 4Д). Минимальная за 1980–2020 гг. величина 85 мм зарегистрирована в 1992 г. Среднее за исследуемый период суммарное летнее количество осадков составило 151 мм при $s = 48$ мм. Экстремальную положительную аномалию количества осадков, кроме 2016 г., наблюдали только в 2018 г. (328 мм). Относительно высокими значениями характеризовались также 2010 и 2017 гг., величина отклонений составила 142 и 139 мм соответственно. Экстремально низкий уровень значений 88 мм был отмечен в 1984 и 2009 гг.

Средняя за сезон скорость ветра в течение 1976–2020 гг. варьировала в пределах от 1,5 (2019 г.) до 5,4 (2013 г.) м/с, среднее за весь период значение составило 3,2 м/с при $s = 1,0$ м/с. Другие значимые положительные экстремумы наблюдали в 2005 и 2015 гг., аномалии скорости составили 1,9 и 2,0 м/с соответственно. Отрицательный экстремум со значением аномалии минус 1,4 м/с был отмечен в 1979 г., а близкие к этому уровню значения (минус 1,1–1,2) отмечались также в 1980, 2008 и 2009 гг. (рис. 4Е).

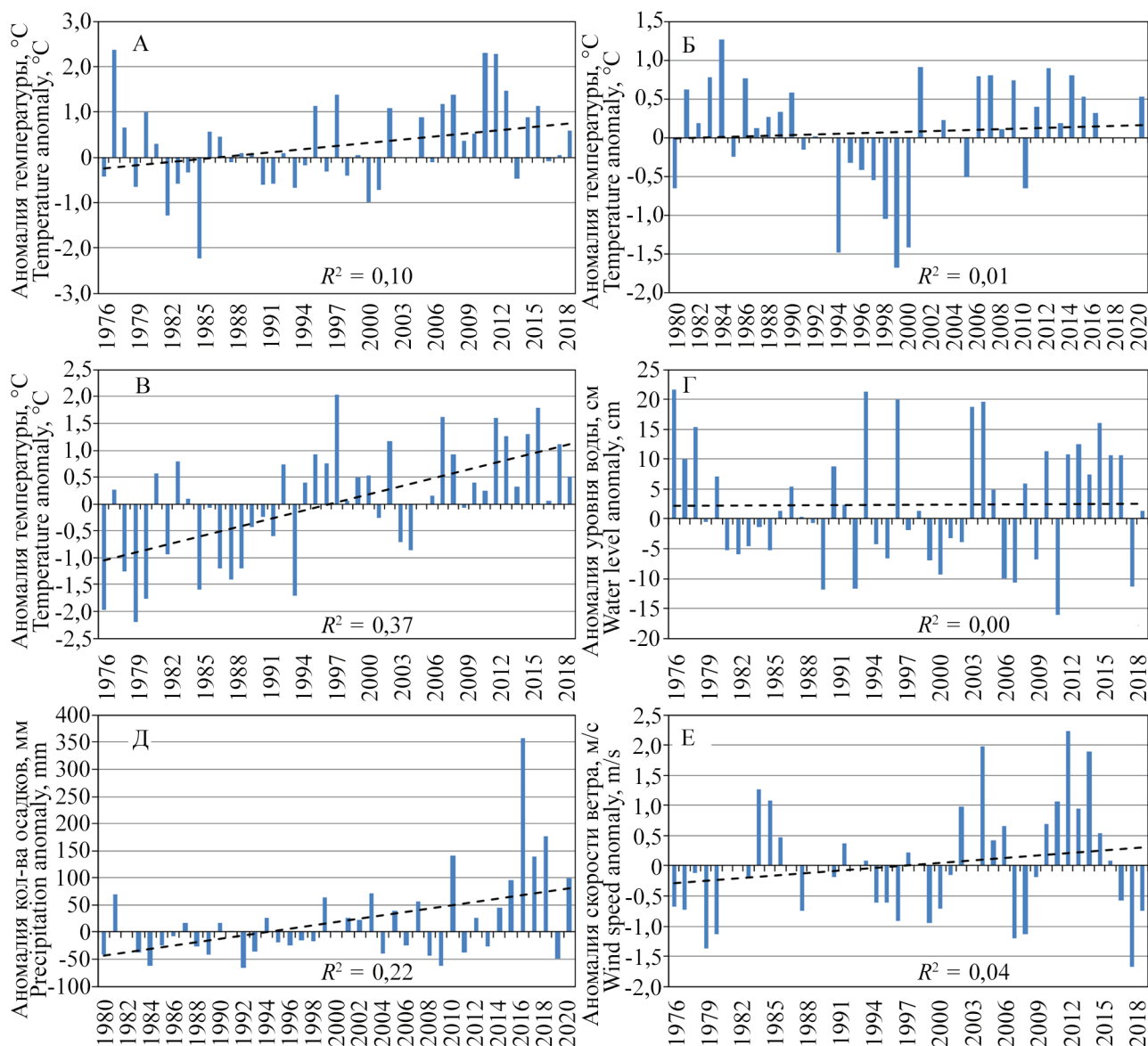


Рис. 4. Многолетний ход средних за летний календарный сезон аномалий гидрометеорологических параметров на оз. Курильском относительно периода 1981–2010 гг.: А — температура воздуха; Б — температура воды верхнего 100-метрового слоя оз. Курильского; В — температура воды в реке; Г — уровень воды в реке; Д — суммарное количество атмосферных осадков; Е — скорость ветра. Пунктирные линии — линии линейного тренда
Fig. 4. The year-to-year behavior of mean summer season anomalies of hydrometeorological parameters at Kurile Lake vs. the period 1981–2010: А – the air temperature; Б – the water temperature of the upper 100 m layer of the lake; В – the water temperature in the river; Г – the water level in the river; Д – the total precipitation; Е – the wind speed. Dashed lines mark linear trends

Характеристика трендов временных рядов

На предварительном этапе анализа временного хода гидрометеорологических параметров и их аномалий для описания общих тенденций межгодовой изменчивости на выбранном временном интервале были проведены оценки линейного тренда. Представленные в таблице 2 коэффициенты наклона линейных трендов (КЛТ) являются характеристикой скорости изменения среднемесячных и средних за сезон значений соответствующих параметров. Также в таблице приведены оценки значимости коэффициентов линейного

тренда (критерий Стьюдента) и уравнения тренда в целом (критерий Фишера). Таким образом, из всех линейных трендов (28 уравнений), для которых проводили оценку, значимыми оказались чуть менее половины — 13 уравнений линейного тренда, при этом все они оказались положительными. Этот результат подтверждает выводы о потеплении как в бассейне оз. Курильского, так и на юге Камчатки в целом, сделанные ранее (Лепская, 2006; Лепская, Маслов, 2009; Шкаберда, 2014).

На всех интервалах осреднения (средние за июнь, июль, август и за летний сезон) значимыми

оказались тренды температуры воды в р. Озерной и температуры воздуха на ГМС Росгидромета в пос. Озерновском. Также значимыми были тренды температуры воздуха в бассейне оз. Курильского в августе и в среднем за сезон и количества осадков в июне, июле и в среднем за сезон.

Многолетний линейный рост суммарного количества осадков характеризовался коэффициентами 8,95 в июне, 16,97 в июле и 10,81 мм / 10 лет в целом за сезон. Доля линейного тренда в общую дисперсию данных оценивается в 16, 14 и 22% соответственно.

Коэффициент роста температуры воды в р. Озерной в среднем за летний сезон составил $0,50\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$, а наибольший вклад в него внес тренд температуры воды в августе — $0,82\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$, в то время как в июне и июле он составил $0,33\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$. Доля линейного роста температуры в суммарной дисперсии изменялась по месяцам следующим образом: 34, 19 и 28% для июня, июля и августа соответственно. В среднем за сезон оценка вклада выше, чем в отдельные месяцы, и составляет 37%.

Полученные оценки линейного тренда температуры воды в реке хорошо согласуются и соизмеримы по величине с трендовой составляющей роста температуры воздуха на ГМС Озерная. Так, коэффициенты роста на последней составили $0,33\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ для июня и июля и $0,34\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ для августа и для сезона в целом. При этом вклад линейного тренда в общую дисперсию последовательно по месяцам понижался от 29% в июне до 18% в августе, а при сезонном осреднении его величина оказалась заметно выше, составив 35%.

Значимые коэффициенты линейного роста температуры воздуха в бассейне оз. Курильского равнялись $0,29\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ для августа и $0,13\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ для летнего сезона, а их доля в общей межгодовой изменчивости оценивается в 10 и 11% соответственно.

Все полученные нами оценки линейных трендов для различных температурных характеристик, соответствующих принятому уровню значимости, укладываются в современные представления о глобальной и региональной тенденции роста температуры. Так, например, согласно И.Д. Ростову и др. (2017), значимые коэффициенты линейного тренда температуры воздуха и воды на прибрежных гидрометеорологических станциях Охотского моря для теплого сезона изменялись в диапазо-

не $0,22\text{--}0,53\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$. Максимальный рост значений отмечен в южных районах моря. Совокупно по всем ГМС, а также по данным реанализа для всей акватории моря, величина КЛТ для теплого сезона составила $0,34$ и $0,44\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ соответственно. Эта величина сопоставима с результатами оценки межгодовой изменчивости аналогичных параметров для северной части Японского моря и Дальневосточного региона в целом (Ростов и др., 2016, 2018, 2020).

Из относительно современных исследований климата Камчатки следует отметить работу О.А. Шкаберда (2014). По результатам этих исследований, выполненных на основе анализа данных о температуре воздуха с действующих гидрометеорологических станций Камчатки, было выявлено, что темпы роста значений в целом по всей Камчатке в летние месяцы составили $0,24$, $0,13$ и $0,11\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ для июня, июля и августа соответственно. Период исследований в этой работе ретроспективно смещен относительно нашей выборки и относится к 1951–2009 гг. Полученные нами величины роста температуры на оз. Курильском и ГМС Озерная даже превысили темпы роста, полученные О.А. Шкаберда. Тем не менее следует учесть допущение, что в нашей работе мы использовали данные до 2020 г.

В условиях современных тенденций глобального потепления рассмотрим линейный тренд использованного в настоящей работе климатического индекса HadCRUT5, который отражает информацию о температуре поверхности Земли в глобальном масштабе. Индекс представляет собой набор данных с привязкой к 5-градусной сетке аномалий температуры поверхности относительно базового периода 1961–1990 годов.

Значения коэффициентов линейного тренда для HadCRUT5 составили $0,18\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ в июне и июле, $0,20\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ в августе и $0,19\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$ за теплый сезон. Вклад трендовой составляющей в суммарную межгодовую вариабельность температуры оказался довольно высоким и оценивается в 81–85% с максимумом для средних за сезон значений. Сопоставляя с полученными нами трендами роста температуры воды в р. Озерной и температуры воздуха на ГМС Озерная, очевидна хорошая согласованность в характере тенденций, но заметно и существенное превышение (почти в два раза) темпов потепления в бассейне оз. Курильского по сравнению с глобальным масштабом.

Резюмируя анализ полученных нами значимых трендов температуры для бассейна оз. Курильского и ГМС Озерная, отметим высокие значения линейного долговременного роста температуры относительно Камчатки в целом и глобальной тенденции.

Корреляции между гидрометеорологическими параметрами

Корреляционный анализ, проведенный между рядами гидрометеорологических параметров, показал, что значимая линейная зависимость существует на всех исследуемых интервалах осреднения лишь между температурой воздуха на оз. Курильском и ГМС Озерная (табл. 3). Величина коэффициентов корреляции в течение летнего сезона возрастала с каждым месяцем от 0,34 в июне до

0,79 в августе, а в среднем за сезон коэффициент составил 0,64.

В большинстве случаев (за исключением июня) прослеживалась тесная связь между температурой воздуха и температурой воды в реке. Так, коэффициент корреляции между температурой воздуха на оз. Курильском и температурой воды в реке в июле и августе составил 0,43 и 0,64 соответственно. Между рядами сезонного осреднения он равнялся 0,51. Для рядов температуры воздуха на ГМС Озерная и температуры воды в реке значимая линейная связь характеризовалась коэффициентами корреляции 0,49, 0,65 и 0,62 для июля, августа и в среднем за сезон соответственно.

Линейные зависимости между другими метеорологическими параметрами были либо не-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между гидрометеорологическими параметрами на оз. Курильском в летние месяцы за период наблюдений 1976–2020 гг.

Table 3. Correlations between time-series of hydrometeorological parameters at Kurile Lake in summer for the observation period 1976–2020

Параметр (аномалии) Parameter (anomalies)	$T_{\text{возд.}} / T_{\text{air}}$	$T_{\text{оз.}} / T_{\text{lake}}$	$T_{\text{р.}} / T_{\text{river}}$	Уровень Water level	Осадки Precipitation	Скорость ветра Wind speed
Июнь / June						
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,08	1,00				
Температура воды в реке River water temperature	0,20	–0,07	1,00			
Уровень воды / Water level	0,32	0,02	0,15	1,00		
Осадки / Precipitation	–0,41	0,07	0,08	0,30	1,00	
Скорость ветра / Wind speed	–0,01	0,29	–0,10	0,08	0,08	1,00
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	0,34	0,17	0,19	0,08	0,08	–0,01
Июль / July						
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,17	1,00				
Температура воды в реке River water temperature	0,43	0,11	1,00			
Уровень воды / Water level	0,01	–0,10	–0,34	1,00		
Осадки / Precipitation	–0,01	0,19	0,05	0,33	1,00	
Скорость ветра / Wind speed	–0,14	0,18	0,12	0,15	0,19	1,00
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	0,60	0,27	0,49	–0,01	0,22	0,20
Август / August						
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,11	1,00				
Температура воды в реке River water temperature	0,64	0,29	1,00			
Уровень воды / Water level	–0,14	–0,39	–0,41	1,00		
Осадки / Precipitation	0,07	0,03	0,03	–0,05	1,00	
Скорость ветра / Wind speed	–0,02	0,14	0,11	0,03	0,04	1,00
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	0,79	0,29	0,65	–0,21	0,19	0,03
В среднем за сезон / Averaged seasonal						
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,15	1,00				
Температура воды в реке River water temperature	0,51	0,17	1,00			
Уровень воды / Water level	0,08	–0,25	–0,21	1,00		
Осадки / Precipitation	0,08	–0,03	0,21	0,22	1,00	
Скорость ветра / Wind speed	0,09	0,28	0,11	0,17	0,15	1,00
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	0,64	0,31	0,62	–0,11	0,23	0,31

Примечание: Жирным шрифтом выделены значимые оценки при уровне значимости $p > 0,05$
Note: Bold font marks significant values at the level $p > 0,05$

значимыми, либо находились на границе уровня значимости. В частности, к последним можно отнести следующие связи: уровня воды в реке и температуры воздуха в бассейне оз. Курильско-го в июне ($r = -0,34$); уровня и температуры воды в р. Озерной ($r = -0,32$) и уровня и количества атмосферных осадков ($r = 0,33$) в июле. Несколько более тесные линейные связи ($r = -0,39 \dots -0,41$) наблюдали между температурой воздуха и количеством осадков в июне, уровнем воды в реке и температурой воды в верхнем 100-метровом слое озера и температурой воды в реке.

Корреляции между гидрометеорологическими параметрами и климатическими индексами

В таблице 4 представлены коэффициенты корреляции между гидрометеорологическими параметрами и климатическими индексами. Не обнаружено значимых линейных связей с индексами Nino3.4 и NPGO. По одному значимому коэффициенту корреляции было найдено при сопоставлении временных рядов температуры воды в озере и индекса Арктического колебания ($r = -0,33$) и температуры воздуха на ГМС Озерная и Тихоокеанского/Североамериканского индекса ($r = -0,36$). Однако значения коэффициентов оце-

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между временными рядами гидрометеорологических параметров в летние месяцы на оз. Курильском и климатическими индексами за период наблюдений 1976–2020 гг.
Table 4. Correlations between the time-series of hydrometeorological parameters at Kurile Lake in summer and the climatic indices for the observation period 1976–2020

Параметр (аномалии) Parameter (anomalies)	Nino3.4	AO	PDO	NPGO	WP	PNA	HadSST4	HadCRUT5
Июнь / June								
Температура воздуха / Air temperature	-0,04	-0,12	-0,12	0,17	-0,23	-0,20	0,20	0,22
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,14	-0,33	0,20	0,01	-0,36	0,18	0,12	0,06
Температура воды в реке River water temperature	0,05	-0,25	-0,02	-0,03	-0,46	0,23	0,58	0,56
Уровень воды / Water level	0,15	0,08	0,11	-0,08	0,05	-0,23	0,13	0,11
Осадки / Precipitation	0,29	0,05	-0,11	-0,10	0,16	-0,13	0,34	0,39
Скорость ветра / Wind speed	-0,11	0,01	-0,02	-0,01	0,11	-0,06	0,03	0,04
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	-0,04	-0,13	-0,14	0,04	-0,32	-0,36	0,49	0,50
Июль / July								
Температура воздуха / Air temperature	-0,03	-0,14	-0,21	0,13	-0,01	-0,20	0,19	0,27
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,24	-0,01	0,20	-0,05	0,02	0,14	0,16	0,17
Температура воды в реке River water temperature	-0,01	-0,00	0,09	-0,09	-0,29	0,25	0,46	0,46
Уровень воды / Water level	0,19	-0,11	0,01	-0,07	0,06	-0,05	0,06	-0,04
Осадки / Precipitation	-0,01	0,22	-0,05	-0,01	-0,23	0,08	0,37	0,35
Скорость ветра / Wind speed	0,00	0,25	0,19	-0,21	-0,37	0,15	0,22	0,14
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	-0,13	0,12	-0,33	0,14	-0,15	-0,13	0,45	0,47
Август / August								
Температура воздуха / Air temperature	-0,08	-0,15	-0,44	0,04	-0,11	-0,09	0,36	0,43
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,06	-0,12	-0,02	0,22	-0,24	0,11	0,13	0,20
Температура воды в реке River water temperature	-0,02	-0,02	-0,28	0,05	-0,48	0,07	0,54	0,61
Уровень воды / Water level	0,17	0,04	0,19	-0,16	0,21	0,09	-0,08	-0,15
Осадки / Precipitation	-0,23	0,00	-0,14	-0,09	-0,08	0,01	0,21	0,26
Скорость ветра / Wind speed	-0,02	-0,06	-0,07	0,11	0,05	0,11	0,11	0,15
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	-0,12	-0,11	-0,40	-0,07	-0,14	-0,09	0,44	0,52
В среднем за сезон / Averaged seasonal								
Температура воздуха / Air temperature	-0,05	-0,22	-0,25	0,18	-0,20	-0,07	0,33	0,36
Температура воды в озере, 0–100 м Lake water temperature, 0–100 m	0,15	-0,23	0,17	0,07	-0,34	0,14	0,08	0,08
Температура воды в реке River water temperature	0,02	-0,16	-0,08	-0,02	-0,70	0,19	0,63	0,65
Уровень воды / Water level	0,23	0,08	0,12	-0,14	0,26	-0,11	0,05	-0,02
Осадки / Precipitation	-0,03	0,23	-0,07	-0,09	-0,34	0,16	0,51	0,54
Скорость ветра / Wind speed	0,00	0,04	0,03	-0,03	-0,10	-0,02	0,14	0,15
Температура воздуха на ГМС Озерная Air temperature at the Ozernaya station	-0,12	-0,02	-0,31	0,07	-0,38	-0,02	0,58	0,61

Примечание: Жирным шрифтом выделены значимые оценки при уровне значимости $p > 0,05$
Note: Bold font marks significant values at the level $p > 0,05$

ниваются практически на границе уровня значимости.

Относительно слабые, но значимые линейные связи прослеживались между индексом PDO и температурой воздуха на ГМС Озерная в июле и августе — коэффициенты корреляции составили 0,31–0,40. Наиболее сильная связь с PDO со значением коэффициента минус 0,44 оказалась для температуры воздуха в бассейне оз. Курильского в августе. Данная зависимость показывает обратную связь между этими показателями, т. е. рост значений температуры воздуха соответствует понижению индекса PDO, другими словами, отрицательной фазе PDO, и наоборот. Физически это объясняется особенностями распределения аномалии ТПО в отрицательную или положительную фазы. Так, при положительных фазах PDO вдоль Северной Америки появляется полоса теплых вод, тогда как в остальных частях северной части Тихого океана, включая обширную центральную область, преобладают отрицательные аномалии температуры. Отрицательная фаза показывает преобладание положительных аномалий во всей северной части Тихого океана, и только у побережья Северной Америки наблюдаются холодные условия.

Намного чаще значимые линейные связи обнаруживаются между WP и температурными характеристиками на оз. Курильском и ГМС Озерная. Так, наиболее тесная связь прослеживается для температуры воды в реке в июне и августе, $r = -0,46$ и $-0,48$ соответственно. В среднем за сезон коэффициент корреляции и вовсе составил минус 0,70, таким образом, вклад индекса WP в общую изменчивость температуры воды в реке оценивается величиной около 50%.

В июне и в среднем за сезон значимыми, но заметно меньше по величине, оказались парные коэффициенты корреляции между временными рядами индекса WP и температуры воды в озере и температуры воздуха на ГМС Озерная ($r = -0,32 \dots -0,38$). Кроме того, единичные значимые относительно слабые связи между этим индексом и скоростью ветра в июле ($r = -0,37$), а также суммарным количеством осадков за летний сезон ($r = -0,34$).

В соответствии с таблицей 4, все значимые коэффициенты корреляции с индексом WP имеют отрицательный знак, т. е. при понижении значений индекса наблюдается рост гидрометеорологических параметров, и наоборот. Физический смысл

данной связи описывают в своей работе Барнстон и Ливезей (Barnston, Livezey, 1987). В положительную фазу WP повышенное атмосферное давление наблюдается в районе Камчатки относительно района западной тропической части Тихого океана. Это сопровождается ослаблением струйного течения над Восточной Азией. В отрицательную фазу колебания наблюдается обратная картина. Положительная фаза WP сопровождается более высокими температурами в южных широтах западной части северной половины Тихого океана зимой и весной, а также пониженными — над северо-восточной окраиной материка в любое время года. В высоких широтах северной части Тихого океана во все времена года интенсивность осадков выше среднего, а в центральной части — ниже среднего, особенно зимой и весной.

Полученные значимые отрицательные корреляции подтверждаются также другими исследователями. В частности, схожие оценки были получены в работах О.А. Шкаберда (2014) и И.Д. Ростова и др. (2017).

Корреляционный анализ временных рядов гидрометеорологических параметров и глобальных индексов температуры HadSST4 и HadCRUT5 также во многих случаях показал наличие тесных линейных связей. Для всех исследуемых интервалов осреднения значимыми оказались коэффициенты корреляции между индексами и температурой воды в р. Озерной и температурой воздуха на ГМС Озерная. Диапазон значений коэффициентов между HadSST4 и температурой воды в р. Озерной находился в диапазоне от 0,46 в июле до 0,63 в среднем за сезон, а между тем же индексом и температурой воздуха на ГМС Озерная — 0,44 в августе и 0,58 в среднем за сезон. Схожей величиной коэффициентов корреляции оцениваются связи тех же гидрометеорологических параметров с индексом HadCRUT5 (табл. 4). Положительные связи свидетельствуют о согласованности роста температуры в исследуемом нами районе с глобальными тенденциями.

Интересным результатом также являются значимые связи, полученные на основе анализа рядов глобальных температурных индексов и количества осадков в июне и июле и температуры воздуха в бассейне оз. Курильского в августе и в среднем за сезон. Однако значения коэффициентов корреляции оказались существенно ниже и характеризовались значениями 0,34–0,39 и 0,33–0,43 соответственно.

Спектральный анализ межгодовых колебаний средних за летний сезон гидрометеорологических параметров

Амплитудные спектры, полученные в результате проведенного спектрального анализа, представлены на рисунке 5. Из всех гармоник статистически значимой на доверительном интервале 95% оказалась лишь одна — спектральная мода суммарного количества осадков с периодом 2,2

года. Амплитуда двухлетних колебаний количества осадков составила около 31 мм.

Квазидвухлетние колебания в метеорологии связывают со средними и высокочастотными атмосферными волнами (Дзердзеевский, 1975). Это яркий пример высокочастотных квазирегулярных изменений атмосферы Земли на межгодовых масштабах. Они модулируют планетарные волны и оказывают влияние на атмосферную ситуацию

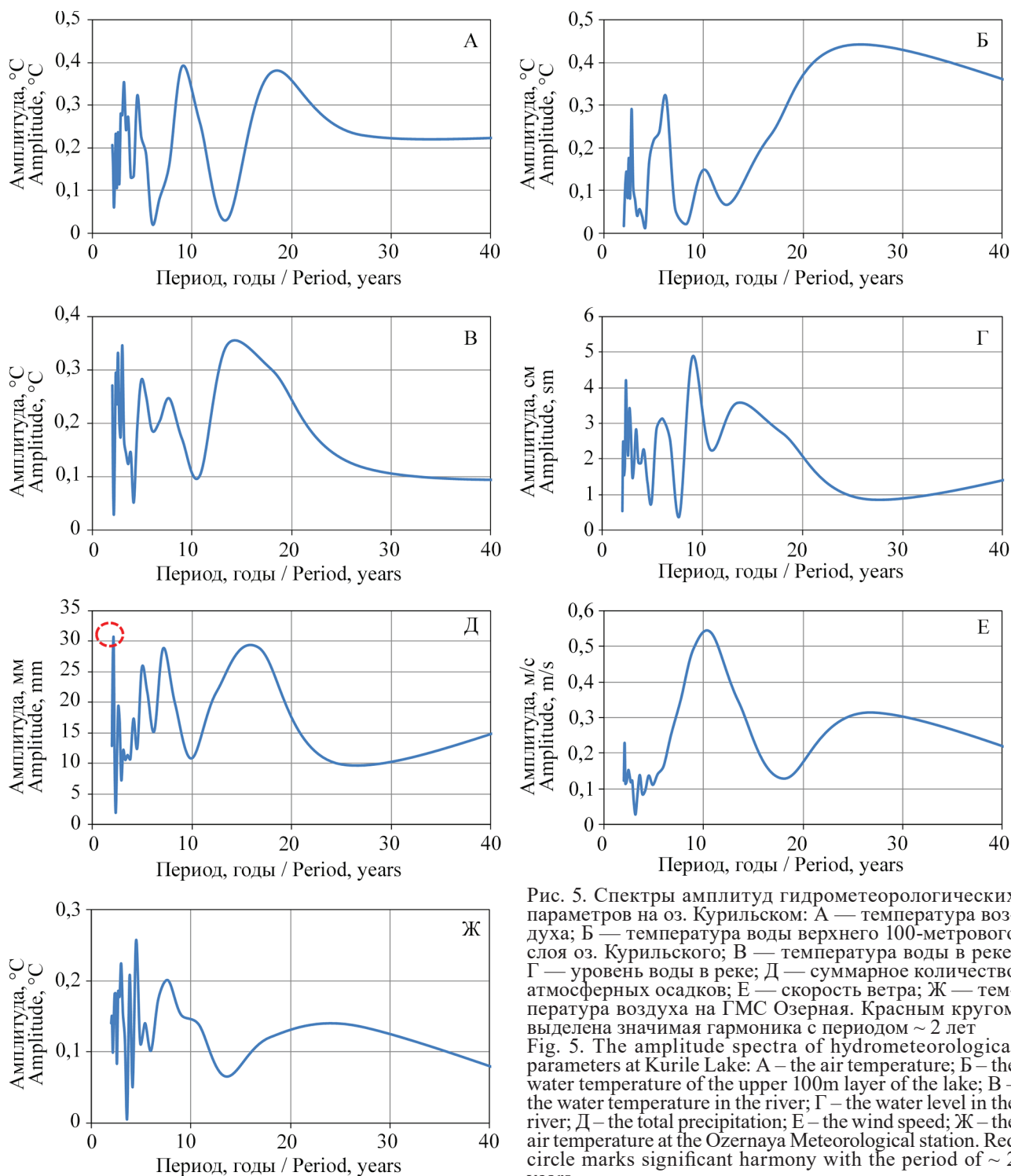


Рис. 5. Спектры амплитуд гидрометеорологических параметров на оз. Курильском: А — температура воздуха; Б — температура воды верхнего 100-метрового слоя оз. Курильского; В — температура воды в реке; Г — уровень воды в реке; Д — суммарное количество атмосферных осадков; Е — скорость ветра; Ж — температура воздуха на ГМС Озерная. Красным кругом выделена значимая гармоника с периодом ~ 2 лет
Fig. 5. The amplitude spectra of hydrometeorological parameters at Kuril Lake: А — the air temperature; Б — the water temperature of the upper 100m layer of the lake; В — the water temperature in the river; Г — the water level in the river; Д — the total precipitation; Е — the wind speed; Ж — the air temperature at the Ozernaya Meteorological station. Red circle marks significant harmony with the period of ~ 2 years

умеренных широт, воздействуют на общую циркуляцию в атмосфере, а также взаимодействуют с таким важным для системы «океан–атмосфера» явлением, как Эль-Ниньо. Накоплены многочисленные свидетельства о наличии квазидвухлетних колебаний характеристик атмосферы Земли (Хайруллина, Астафьева, 2011).

Мощные пики амплитудного спектра также отмечаются у гармоник с периодом 3 года для температуры воздуха на ГМС Озерная и температуры воды в р. Озерной (бассейн оз. Курильского) с амплитудами колебаний 0,22 и 0,35 °C соответственно. Доверительный интервал полученной цикличности составил 82 и 89%.

Для целого ряда проанализированных гидрометеорологических параметров обнаруживаются спектральные пики с периодами между 2 и 3 лет. К таким можно отнести уровень воды в реке (2,3 года), температуру воды в озере (2,8 года), температуру воздуха на ГМС Озерная (2,4 года). Однако значимость этих событий снижается до 76–86%.

Выделяется из всех гидрометеорологических параметров скорость ветра, для которой максимальная гармоника соответствует периоду 9–10 лет (рисунок 5Е), а ее значимость оценивается доверительным интервалом 79%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки и обобщения гидрометеорологических данных, полученных на Озерновском наблюдательном пункте КамчатНИРО на оз. Курильском за весь исторический период исследований, проведена характеристика гидрометеорологических условий в летний период года. Получены статистические оценки временных рядов всего гидрометеорологического массива данных.

Анализ линейных трендов выявил значимые коэффициенты наклона линии тренда для температурных показателей и суммы количества атмосферных осадков. При этом во всех случаях они имели положительный знак. Рост температуры воздуха в бассейне оз. Курильского и на ГМС Озерная, а также температуры воды в реке оценивается более высокими темпами относительно глобальных тенденций, но с меньшим вкладом линейного тренда в общую дисперсию данных. Так, по нашим данным, коэффициенты линейного тренда изменяются от 0,13 °C / 10 лет (средняя за сезон температура воздуха на оз. Курильском) до

0,82 °C / 10 лет (средняя за август температура воды в р. Озерной), а в среднем 0,37 °C / 10 лет, в то время как глобальные температурные индексы характеризуются значениями 0,18–0,20 °C / 10 лет.

Наиболее тесные значимые линейные связи между гидрометеорологическими параметрами отмечены для температурных характеристик. Коэффициенты корреляции между температурой воздуха в бассейне оз. Курильского и на ГМС Озерная, а также температурой воды в р. Озерной возрастали от 0,3 в июне до 0,6–0,8 в августе и в среднем за сезон. Между другими параметрами связи оказались заметно слабее, а значимые из них встречались единично.

При сопоставлении межгодовых колебаний гидрометеорологических параметров и климатических индексов выявлены стабильные значимые корреляции между температурными характеристиками и глобальными температурными индексами. Также значимые линейные связи относительно стабильно отмечались между индексом WP, характеризующим низкочастотную изменчивость в атмосфере в западной части Тихого океана, и целым рядом параметров для различных месяцев и в среднем за сезон.

Спектральный анализ показал, что на 95%-м доверительном интервале значимой оказалась только спектральная гармоника межгодового колебания суммарного за сезон количества осадков с периодом 2,2 года.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность всем, кто принимал участие в сборе гидрометеорологического материала на оз. Курильском. Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) — за предоставление метеорологических данных с гидрометеорологической станции Озерная в открытом доступе в рамках международной программы по обмену данными Всемирной метеорологической организации. А также Центру климатического прогнозирования (Climate Prediction Center), Национальному центру по прогнозированию окружающей среды (NCEP), Национальному центру атмосферных исследований (NCAR) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) США и Hadley Centre (UK MetOffice) and the Climatic Research Unit (University of East Anglia) Великобритании за регулярно обновляемые дан-

ные о климатических индексах на открытых ресурсах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бендат Дж., Пирсол А. 1974. Измерение и анализ случайных процессов. М: Мир, 464 с. (*Bendat J.S., Piersol A.G.* 1971. *Random Data Analysis and Measurement Procedures*. New York: Wiley-Intersciences, 407 p.)
- Брайцева О.А., Краевая Т.С., Шеймович В.С. 1965. О происхождении Курильского озера и пемз этого района // *Вопр. географии Камчатки*. Вып. 3. С. 49–57.
- Брукс К., Карузерс Н. 1963. Применение статистических методов в метеорологии. Л.: Гидрометеопиздат, 382 с.
- Вишератин К.Н. 2007. Межгодовые вариации и тренды среднезональных рядов общего содержания озона, температуры и зонального ветра // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 43. № 4. С. 502–520.
- Вишератин К.Н., Карманов Ф.И. 2008. Практические методы оценивания спектральных параметров / Учеб. пособие. Обнинск: Обнинский гос. тех. ун-т атомной энергетики, 60 с.
- Дзердзеевский Б.Л. 1975. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 286 с.
- Лепская Е.В. 2004. Многолетняя динамика численности и биомассы фитопланктона озера Курильское и определяющие ее факторы // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана*: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 7. С. 79–87.
- Лепская Е.В. 2006. Тенденция климатических изменений в районе оз. Курильское (Южная Камчатка). Влияние температуры воздуха на термический режим водоема / *Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России*: Матер. Дальневост. регион. конф., посвящ. памяти А.П. Васильковского и в честь его 95-летия (Магадан, 28–30 ноября 2006 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН. С. 232–236.
- Лепская Е.В., Маслов А.В. 2009. Долгосрочные изменения гидрометеорологической обстановки в бассейне озера Курильского (Камчатка) и особенности трансформации «рыбного» фосфора в озерной экосистеме // *Изв. ТИНРО*. Т. 158. С. 293–302.
- Марпл-мл. С.Л. 1990. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. М.: Мир, 584 с.
- Николаев А.С., Николаева Е.Т. 1991. Некоторые аспекты лимнологической классификации нерковых озер Камчатки // *Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа*. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. 1. С. 3–17.
- Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. 2017. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // *Изв. ТИНРО*. Т. 191. С. 176–195.
- Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. 2018. Тенденции климатических изменений термических условий в прибрежных акваториях западной части Берингова моря и прилегающих районах за последние десятилетия // *Изв. ТИНРО*. Т. 193. С. 168–182.
- Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Рудых Н.И., Воронцов А.А. 2020. Климатические изменения термических условий окраинных западной части Тихого океана // *Метеорология и гидрология*. № 3. С. 44–57.
- Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. 2016. Тенденции климатических и антропогенных изменений морской среды прибрежных районов России в Японском море за последние десятилетия // *Изв. ТИНРО*. Т. 186. С. 163–181.
- Руководящие рекомендации ВМО по расчету климатических норм (ВМО-№ 1203). 2017. 32 с.
- Тарасов В.И., Карюхин А.А., Пономарев В.П., Васильев А.В., Гончарова Т.И., Козюрин Н.Т. 1984. Результаты гидрометеорологических наблюдений на оз. Курильском в сезоне 1983 г. (март–декабрь) // *Комплексные гидрометеорологические и гидрохимические исследования озера Курильского / Отчет по хозяйственной теме № 58/83 за 1983 год*. Под рук. В.И. Тарасова. Владивосток: ДВГУ. Т. 1. 151 с.
- Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. 2011. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования. М.: ИКИ РАН, 60 с.
- Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. 2019а. Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // *Изв. ТИНРО*. Т. 197. С. 166–181.
- Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. 2019б. Изменчивость и взаимосвязь основных климатических индексов для северной части Тихого океана: тренды, климатические сдвиги, спектры, корреляции // *Изв. ТИНРО*. Т. 199. С. 163–178.
- Шкаберда О.А. 2014. Современные тенденции изменения климата Камчатки. Дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток: ДВФУ. 234 с.
- Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmo-

spheric circulation patterns // *Mon. Wea. Rev.* Vol. 115. P. 1083–1126.

Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivere P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change // *Geophys. Res. Lett.* Vol. 35, L08607. doi: 10.1029/2007GL032838

Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 78. No. 6. P. 1069–1079.

The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. 2007. WMO/TD No. 1377; WCDMP No. 61. Edited by: Omar Baddour and Hama Kontongomde. World Meteorological Organization, Geneva. 129 p.

Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* Vol. 25. No. 9. P. 1297–1300. doi: 10.1029/98GL00950

Wallace J.M., Gutzler D.S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // *Mon. Weather Rev.* Vol. 109. No. 4. P. 784–812.

REFERENCE

Bendat J.S., Piersol A.G. Random Data Analysis and Measurement Procedures. New York: Wiley-Intersciences, 1971, 407 p.

Braytseva O.A., Krayevaya T.S., Sheymovich V.S. On the origin of Kurile Lake and pumice in this area. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1965, issue 3, pp. 49–57. (In Russian)

Brooks K., Carruthers N. *Primeneniye statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistical methods in meteorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1963, 382 p.

Visheratin K.N. Interannual variations and trends in zonal mean series of total ozone, temperature, and zonal wind. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2007, vol. 43, no. 4, pp. 461–479.

Visheratin K.N., Karmanov F.I. *Prakticheskiye metody otsenivaniya spektralnykh parametrov. Uchebnoye posobiye* [Practical methods for estimating spectral parameters. Tutorial]. Obninsk: Obninskiy gos. tekhn.-t. atomnoy energetiki, 2007, 60 p.

Dzerdzheyevskiy B.L. *Obshchaya tsirkulyatsiya atmosfery i klimat* [General atmospheric circulation and climate]. Moscow: Nauka, 1975, 286 p.

Lepskaya E.V. Many-years dynamics of phytoplankton stock abundance and biomass in the lake Kurilskoye and determining factors. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2004, vol. 7, pp. 79–87. (In Russian)

Lepskaya E.V. Tendency of climatic changes in the area of the lake Kuril (South Kamchatka). Influence of air temperature on the thermal regime of a reservoir. *Geology, geography and biological diversity of the North-East of Russia: Mater. Far East. region. conf.*, dedicated in memory of A.P. Vaskovsky and in honor of his 95th birthday (Magadan, November 28–30, 2006). Magadan: SVNTs FEB RAS, 2006, pp. 232–236. (In Russian)

Lepskaya E.V., Maslov A.V. Long-term changes of hydrometeorological conditions in the basin of Kurilskoye Lake (Kamchatka) and features of “fish” phosphorus transformation in the lacustrine ecosystem. *Izvestiya TINRO*, 2009, vol. 158, pp. 293–302. (In Russian)

Marple Jr. S.L. Digital spectral analysis and its applications. Moscow: Mir, 1990, 584 p.

Nikolaev A.S., Nikolaeva E.T. Some aspects of the limnological classification of sockeye salmon lakes in Kamchatka. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 1991, vol. 1, pp. 3–17. (In Russian)

Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Vorontsov A.A. Tendencies of climatic changes for thermal conditions in the coastal areas of the Okhotsk Sea in last decades. *Izvestiya TINRO*, 2017, vol. 191, pp. 176–195. (In Russian)

Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Vorontsov A.A. Tendencies of climate changes for thermal conditions in the coastal waters of the western Bering Sea and adjacent areas in the last decades // *Izvestiya TINRO*, 2018, vol. 193, pp. 168–182. (In Russian)

Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Rudykh N.I., Vorontsov A.A. Climatic changes in thermal conditions of marginal seas in the Western Pacific. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 45, no. 3, pp. 169–178.

Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. Tendencies of climatic and anthropogenic changes of the marine environments in the coastal areas of Russia in the Japan Sea for the last decades. *Izvestiya TINRO*, 2016, vol. 186, pp. 163–181. (In Russian)

Rukovodyashchiye rekomendatsii VMO po raschetu klimaticheskikh norm [WMO Guidelines for the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203)]. 2017, 32 p.

- Tarasov V.I., Karyuhin A.A., Ponomarev V.P., Vasiliev A.V., Goncharova T.I., Kozyurin N.T. Results of hydrometeorological observations on the Lake Kurilskoye in the 1983 season (March–December). Integrated hydrometeorological and hydrochemical studies of the Kurilskoye Lake. *Report on the economic contract topic no. 58/83 for 1983*. Vladivostok: DVGU, 1984, vol. 1, 151 p.
- Khayrullina G.R., Astafyeva N.M. *Kvazidvukhletniye kolebaniya v atmosfere Zemli. Obzor: nablyudeniya i mekhanizmy formirovaniya* [Quasi-biennial oscillations in the Earth's atmosphere. Review: observation and formation mechanisms]. Moscow: IKI RAN, 2011, 60 p.
- Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Y.D. Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (a review). *Izvestiya TINRO*, 2019, vol. 197, pp. 166–181. (In Russian)
- Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Y.D. Variability and interrelation of the basic climate indices for the North Pacific: trends, climate shifts, spectra, correlations. *Izvestiya TINRO*, 2019, vol. 199, pp. 163–178. (In Russian)
- Shkaberda O.A. *Sovremennyye tendentsii izmeneniya klimata Kamchatki. Dissertatsiya kandidata geograficheskikh nauk* [Current trends in climate change in Kamchatka. The dissertation of the candidate of geographical sciences]. Vladivostok: DVFU, 2014, 234 p.
- Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, vol. 115, pp. 1083–1126.
- Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivero P. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, vol. 35, L08607. doi: 10.1029/2007GL032838
- Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, vol. 78, no. 6, pp. 1069–1079.
- The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. WMO/TD No. 1377; WCDMP No. 61. Edited by: Omar Baddour and Hama Kontongomde. World Meteorological Organization, Geneva, 2007, 129 p.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, vol. 25, no. 9, pp. 1297–1300. doi: 10.1029/98GL00950
- Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Weather Rev.*, 1981, vol. 109, no. 4, pp. 784–812.

Статья поступила в редакцию: 19.05.2021

Одобрена после рецензирования: 14.09.2021

Статья принята к публикации: 17.09.2021