

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ THE EVOLUTION OF THE HYDROSPHERE

УДК 556.555.2; 551.583

DOI: 10.34753/HS.2021.3.3.204

ТОРЕЙСКИЕ ОЗЕРА КАК ИНДИКАТОР МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ УВЛАЖНЕННОСТИ ЮГО- ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ

В.А. Обязов^{1,2}, В.Е. Кирилюк^{3,4},
А.В. Кирилюк^{4,5}

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия; ²Российский государственный
гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия; ³Институт
природных ресурсов, экологии и криологии СО
РАН, г. Чита, Россия; ⁴Государственный
заповедник «Даурский», г. Нижний Цасучей,
Россия; ⁵Северо-Восточный Лесной
Университет, г. Харбин, Китай
td@npogtp.ru

TOREY LAKES AS AN INDICATOR OF MOISTURE LONG-TERM CHANGES IN SOUTHEASTERN TRANSBAIKALIA AND NORTHEASTERN MONGOLIA

Victor A. Obyazov^{1,2}, Vadim E. Kirilyuk^{3,4},
Anastasia V. Kirilyuk^{4,5}

¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia; ²Russian State
Hydrometeorological University, Saint-Petersburg,
Russia; ³Institute of Natural Resources, Ecology and
Cryology of the Siberian Branch of the RAS, Chita,
Russia; ⁴Daursky State Nature Biosphere Reserve,
Nizhniy Tsasuchey, Russia; ⁵Northeast Forestry
University, Harbin, China
td@npogtp.ru

Аннотация. Расположенные в Юго-Восточном Забайкалье на границе с Монголией в зоне недостаточного увлажнения и резко континентального климата Торейские озера, представленные соединенными между собой бессточными озерами Барун-Торей и Зун-Торей, периодически наполняются, затопливая десятки тысяч гектаров территории, а спустя несколько лет полностью высыхают. Анализ изменений их уровня воды с начала 1700-х до 1960-х годов, выполнен преимущественно на качественном уровне на основе картографических материалов XVIII века, свидетельств путешественников и ученых, фондовых геологических и гидрометеорологических данных. За последние 55 лет использовались инструментальные данные и снимки искусственных спутников Земли. Показано, что средняя годовая температура воздуха в Юго-Восточном Забайкалье с середины XX века повысилась в

Abstract. The Torey Lakes, represented by the interconnected Barun-Torey and Zun-Torey lakes in Southeastern Transbaikalia on the Russia-Mongolia border, have global ecological significance. We aimed to assess the dependence of the Torey Lakes' water level fluctuations on climatic factors by using cartographic materials, scientists' evidence and observations, and a geological and hydrometeorological databases from the early 1700s to the 1960s, and instrumental data and satellite imagery over the past 55 years. The average annual air temperature from the middle of the 20th century increased by an average of 2°C. Until the early 1990s this growth was due to warming during the cold period; after the 1990s due to an increase in temperature during the warm period, causing significantly higher evaporation over the past 20 years. We revealed a significant decrease in atmospheric precipitation in the south of the study area, including the Torey Lakes depression, causing

среднем на 2°C. До начала 1990-х годов это повышение обуславливалось потеплением в холодный период года, а позже – ростом температуры теплого периода. В частности, это сказалось на существенном увеличении испаряемости в последние 20 лет. В южных районах исследуемой территории, в том числе в котловине Торейских озер, произошло значимое уменьшение атмосферных осадков, обусловившее, наряду с увеличением испаряемости, усиление аридизации этих районов. В многолетнем режиме осадков преобладают внутривековые циклы продолжительностью 25–30 лет. Цикличность характерна и для многолетних изменений стока рек. Наиболее устойчивыми за весь период наблюдений за стоком в Забайкалье, начиная с конца XIX века, являются 25–30-летние циклы. Цикличность атмосферных осадков и речного стока обусловила соответствующий уровенный режим Торейских озер. Отмечаемая слабая выраженность влажной фазы цикла, которая должна была начаться примерно с 2011 года, обусловлена усилением аридизации южных районов исследуемой территории в последние годы. Сделан вывод, что Торейские озера в полной мере могут считаться индикатором многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии.

Ключевые слова: Торейские озера; уровень воды; увлажненность; температура воздуха; атмосферные осадки; сток рек; многолетние изменения.

Введение

Торейские озера издавна привлекали внимание исследователей природы Забайкалья своим неустойчивым водным режимом. Периодически разливаясь, они затапливали десятки тысяч гектаров территории, а спустя несколько лет могли полностью высохнуть. Особый интерес гидрологический режим этих озер вызывает в связи с их глобальным экологическим значением. Торейские озера относятся к полутора – двум десяткам ключевых

an increase in evaporation and aridization in these areas. However, a reliable relationship between long-term changes in atmospheric precipitation and air temperature was not found. Intrasecular cycles of 25–30 years prevail in the multiyear precipitation regime. Cyclicity is also typical for long-term changes in rivers' runoff. The cyclical nature of atmospheric precipitation and river runoff determined the Torey Lakes level regime. We noted a weak manifestation of the wet phase of the cycle due to the increased aridization in recent years. We concluded that the Torey Lakes can be considered an indicator of long-term changes in moisture in Southeastern Transbaikalia and Northeastern Mongolia.

Keywords: Torey Lakes; water level; moisture content; air temperature; precipitation; river flow; long-term changes.

водно-болотных угодий Восточной Азии, от которых зависит существование многих водоплавающих и околоводных птиц, в том числе исчезающих видов, таких как реликтовая чайка. Они имеют статус участка Всемирного наследия ЮНЕСКО в составе российско-монгольского объекта «Ландшафты Даурии» и водно-болотных угодий международного значения, охраняемых положениями Рамсарской конвенции, и чрезвычайно важны для сохранения десятков

видов птиц, мигрирующих по Восточноазиатско-австралийскому пролетному пути.

Анализ характера колебаний водности Торейских озер и их причин предпринимался неоднократно. На нестабильность уровня воды этих озер в голоцене указывает наличие на поверхности низких террас их котловины около 20 береговых валов [Корнутова, 1968; Шамсутдинов, 1971] и 18–20 горизонтов погребенных почв или гумусированных осадков [Шамсутдинов, 1971]. Принимая возраст отложений в 10–12 тысяч лет, В.Х. Шамсутдинов в своей работе [Шамсутдинов, 1971] вычислил среднюю продолжительность циклов колебаний климата, составившую 550–600 лет, и сделал вывод, что «ритмичные изменения климатических условий находились в определенной связи с ритмично проявившимися тектоническими процессами». Меньшие по продолжительности колебания уровня воды Торейских озер он также связывал с тектоникой [Шамсутдинов, 1983]. Подобное мнение о генезисе колебаний водности этих озер еще раньше было высказано в работе [Симонов, 1969]. Другие исследователи [Кренделев, 1986; Чечель, 1991] пришли к выводу, что колебания уровня воды Торейских озер отражают особенности климата, обусловленные различной степенью солнечной активности.

Ранее одним из авторов [Обязов, 1994] была сделана попытка представить имеющиеся качественные и количественные данные уровня воды Торейских озер в виде схематического графика и сравнить его с данными об атмосферных осадках и речном стоке в регионе. Сравнительный анализ показал большое сходство их многолетних изменений, что послужило основанием сделать вывод о климатообусловленных колебаниях водности этих озер. За прошедшие годы накоплен большой фактический материал, часть из которого опубликована [Обязов, 1999а; Обязов, 1999б; Ткаченко, Обязов, 2003; Обязов, 2012; Kirilyuk et al., 2012; Обязов, 2015], позволяющий сделать количественный анализ.

Целью настоящей работы является оценка зависимости колебаний уровня воды Торейских

озер от климатических факторов. Достижение поставленной цели реализовано путем анализа многолетнего режима температуры воздуха, атмосферных осадков, испаряемости, стока рек региона, оценки зависимости от их колебаний уровня воды Торейских озер в прошлом.

Материалы и методы

В основу данной работы положены материалы стандартных гидрометеорологических наблюдений на стационарной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Анализ выполнен по данным о средней месячной температуре и влажности воздуха, месячных суммах атмосферных осадков, средних месячных расходах воды. При анализе многолетних изменений температуры воздуха и осадков использованы данные 9 метеостанций и 15 гидрологических постов (таблица 1), характеризующей Юго-Восточное Забайкалье в междуречье рек Онон и Аргунь за период с 1951 по 2019 год. Дополнительно привлечены данные по метеостанции Нерчинский Завод за более ранние годы. Анализ гидрологического режима рек выполнен преимущественно по данным с 1958 по 2019 год, реки Шилки – с 1897 по 2019 год, а озера Барун-Торей – с 1965 по 2020 год.

Для расчета испаряемости использована одна из самых распространенных формул – эмпирическая формула, представленная в работе [Иванов, 1954]:

$$E_0 = 0,0018 (25 + t)^2 (100 - f), \quad (1)$$

где E_0 – испаряемость, мм;

t – средняя месячная температура воздуха, °С;

f – средняя месячная относительная влажность воздуха, %.

В исследовании применены различные количественные методы как традиционные, так и современные. К традиционным методам можно отнести разностные интегральные кривые, для получения ординат которых производится последовательное суммирование отклонений модульных коэффициентов от среднего значения.

Таблица 1. Перечень метеорологических станций и гидрологических постов.**Table 1.** List of meteorological stations and hydrological posts.

Метеорологические станции	Гидрологические посты
Акша	река Борзя – город Борзя
Александровский Завод	река Верхняя Борзя – село Бырка
Кайластуй	река Газимур – село Александровский Завод
Сретенск	река Нижняя Борзя – село Михайловка
Борзя	река Онон – село Бытэв
Соловьевск	река Онон – село Верхний Ульхун
Газимурский Завод	река Онон – село Чирон
Нерчинский Завод	река Онон – село Оловянная
Мангут	река Турга – село Бырка
	река Ульдза – село Соловьевск
	река Унда – село Ново-Ивановск
	река Унда – село Шелопугино
	река Учирка – село Бытэв
	река Шилка – город Сретенск
	река Шилка – село Усть-Онон

В последние годы все более активно для анализа временных рядов используется вейвлет-анализ [Астафьева, 1996]. Вейвлет-преобразование представляет собой разложение «одномерного сигнала по базису, сконструированному из солитоноподобных функций (вейвлетов), посредством их масштабных изменений и переносов вдоль оси времени» [Витязев, 2001]. Термин «вейвлет» переводится как «маленькая волна». Для непрерывного вейвлет-преобразования использовался вейвлет Морле. Вейвлет когерентность вычислялась с помощью пакета программ Crosswavelet and Wavelet Coherence [Grinsted, Moore, Jevrejeva, 2004]. Для оценки статистической достоверности вейвлет когерентности применен метод Монте-Карло. Анализ выполнен с помощью программного пакета Matlab.

Тенденции многолетних изменений показателей климата и стока рек выявлены методом наименьших квадратов. Пространственно-временная согласованность исследуемых характеристик выполнена с помощью корреляционного анализа. Для оценки статистической значимости линейного тренда и коэффициента корреляции применялся критерий

Стьюдента при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Анализ пространственных изменений атмосферных осадков, а также их визуализация выполнялась с помощью программного пакета QGIS.

Для оценки многолетних колебаний уровня воды Торейских озер их значения за период с 1981 по 2009 год восстановлены с помощью метода водного баланса. Расчеты проводились на дату начала гидрологического года, за которую было принято 1 ноября. Контроль точности получаемых значений осуществлялся по данным эпизодических наблюдений. При несовпадении измеренных и рассчитанных значений уровня воды, последние подвергались корректировке. Восстановление значений уровня воды в озере Барун-Торей в период с 2010 по 2020 год выполнено по данным космических снимков.

Площадь водосборного бассейна Торейских озер рассчитана на основе бассейнов 10–12 уровней из каталога BasinATLAS [Lehner, Grill, 2013], представленного в пространственном формате HydroATLAS v1.0 [Linke et al. 2019]. При расчете из бассейна реки Ульдзы (Улз-Гол) исключена водосборная площадь Торейских озер, уровень воды которых согласно топографическим картам масштаба 1:100 000 находится ниже

уровня реки в ближайшем ее створе на 2 м и более.

Объект исследования

Торейские озера – наиболее крупные водоемы Забайкалья, расположенные в его юго-восточной части на границе с Монголией (рисунок 1) – представляют собой два, соединенных двойной короткой протокой Уточи, озера Барун-Торей и Зун-Торей. В озеро Барун-Торей впадают две реки – Ульдза и Ималка. Озеро Зун-Торей притоков не имеет. Его питание поверхностными водами происходит через озеро Барун-Торей. При понижении уровня воды ниже порога слива протоки Уточи режим водоемов становится независимым. Общая площадь их водной поверхности в периоды наибольшего наполнения составляет около 860–870 км², из

которых две трети приходится на озеро Барун-Торей (таблица 2). При этом Торейские озера очень мелководны – их максимальная глубина не превышает 8 м. Водосборная площадь этих озер равна 25 272,87 км², большая часть которого представлена водосборами реки Ульдзы (21 976,25 км²) и реки Ималки (1 395,64 км²).

Торейские озера и их водосбор расположены в области резко континентального климата в зоне недостаточного увлажнения. Годовая сумма осадков по данным метеостанции Соловьевск, расположенной в непосредственной близости от этих озер, в период с 1990 по 2019 год изменялась от 167,8 до 465,1 мм при средней величине за данный период равной 279,3 мм. Основные характеристики температуры воздуха приведены в таблице 3.

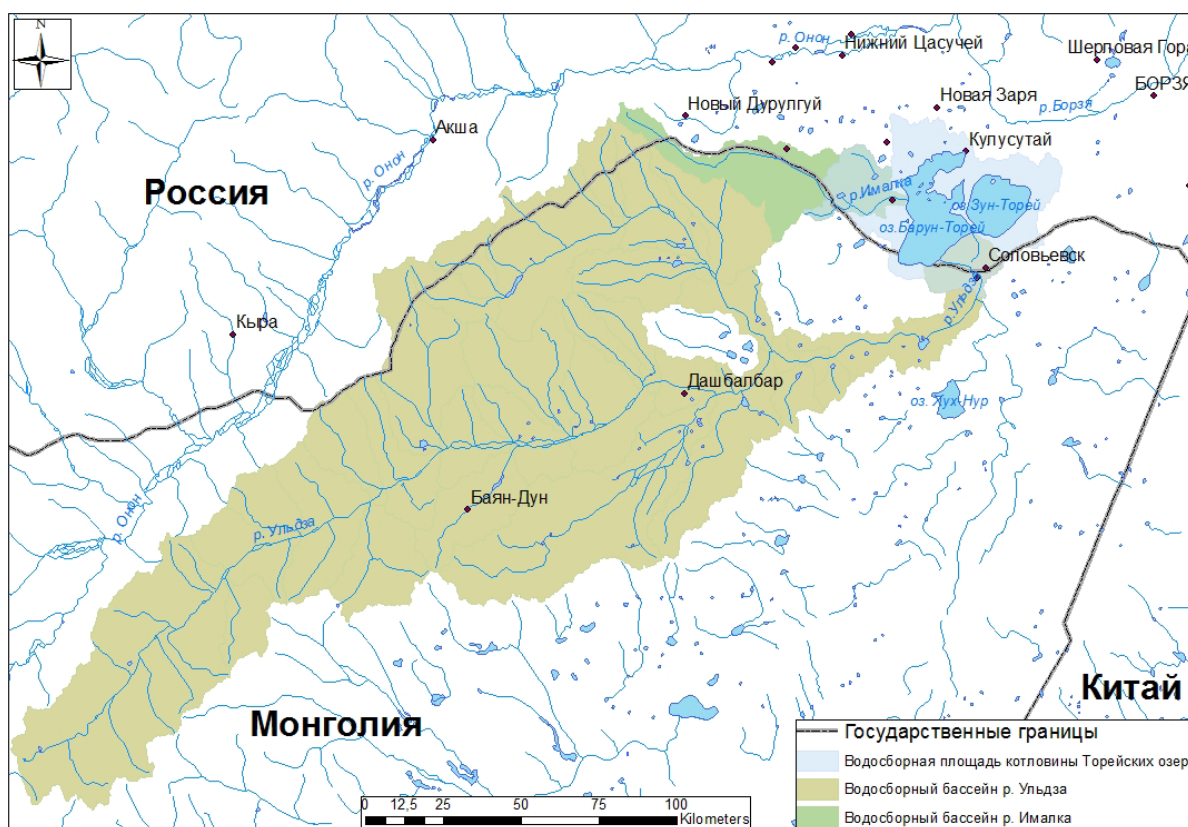


Рисунок 1. Торейские озера и их водосбор.

Figure 1. The Torey Lakes basin.

Таблица 2. Морфометрические характеристики Торейских озер при уровне воды 599,0 м БС.

Table 2. Morphometric characteristics of the Torey Lakes at a water level of 599.0 m BS.

Название озера	Площадь, км ²	Объем, км ³	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м
Барун-Торей	567	1,83	3,2	5,1
Зун-Торей	295	1,84	6,2	7,6

Таблица 3. Основные характеристики температуры воздуха по данным метеостанции Соловьевск в период с 1990 по 2019 год.

Table 3. Main characteristics of air temperature according to the data of the Solovievsk settlement weather station in 1990–2019.

Средняя температура воздуха, °С			Максимальная температура, °С	Минимальная температура, °С
январь	июль	год		
-23,3	18,5	0,3	42,4	-45,7

Единственным элементом расходной части водного баланса Торейских озер является испарение, озера бессточные.

Результаты и обсуждение

Многолетние изменения температуры воздуха

Многолетние изменения температуры воздуха в Юго-Восточном Забайкалье происходят достаточно согласованно (таблица 4). Коэффициенты корреляции между рядами средних годовых температур превышают 0,8. Высокая степень пространственной согласованности термического режима позволяет использовать наиболее длительный ряд наблюдений на метеостанции Нерчинский Завод для оценки вековых изменений температуры воздуха в исследуемом регионе (рисунок 2).

На графике хода средней годовой температуры можно выделить три периода, что отмечалось ранее [Обязов, 1996б; Обязов, 1999б]. С середины XIX до начала XX века происходил рост температуры. Затем до середины XX века тренд имел значение близкое к нулю. В начале 1950-х годов начался новый период потепления. За период с 1951 по 2019 год средняя годовая температура повысилась в среднем по территории на 2,0°C, изменение значимое.

В холодный период года (октябрь – апрель) с 1951 по 1990 год температура росла достаточно интенсивно. Темпы ее роста в среднем составляли

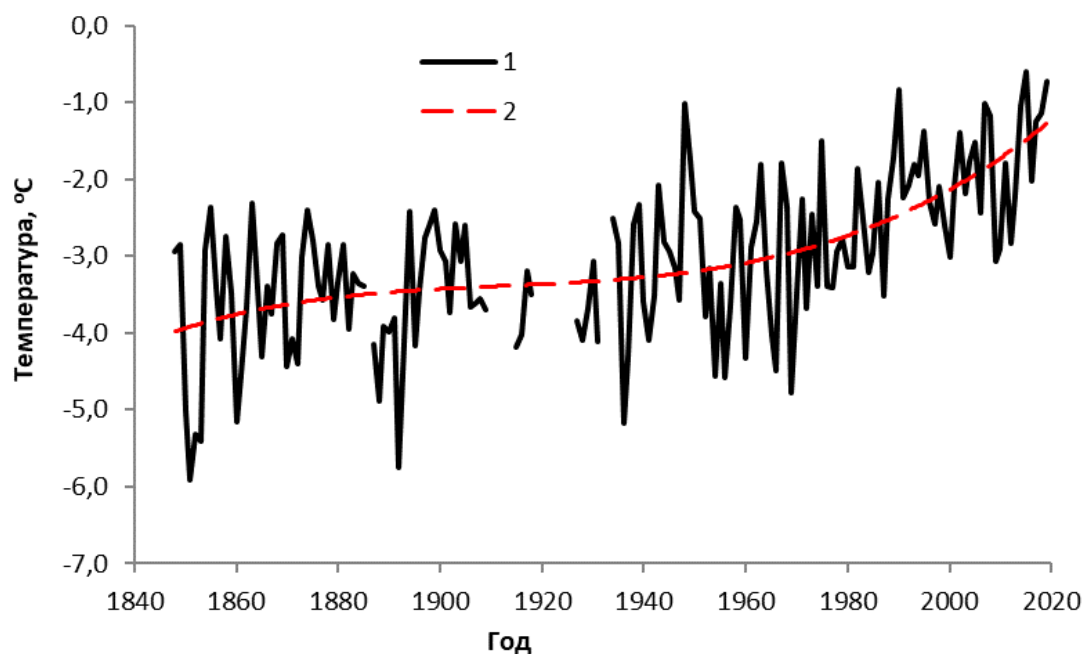
0,39°C/10 лет (тренд значимый). В дальнейшем она не только прекратила расти, но даже наметилась тенденция ее понижения (рисунок 3а). Поскольку тренд статистически не значим, утверждать, что наступил период похолодания, нет оснований. Тем не менее можно с уверенностью констатировать отсутствие потепления в Юго-Восточном Забайкалье в холодный период года в период с 1990 по 2019 год.

В теплый период года наблюдается обратная картина (рисунок 3б). В период с 1951 по 1990 год в изменениях температуры воздуха отсутствовали какие-либо тенденции. Величина тренда была близка к нулю. Зато в последующие годы произошло достаточно активное ее повышение. Темпы роста температуры в период с 1990 по 2019 год составили в среднем по исследуемой территории статистически значимую величину – 0,39°C/10 лет.

Таким образом, рост средних годовых температур воздуха с середины XX века до начала 1990-х годов обуславливался потеплением в холодный период года, в основном в феврале – апреле, в то время как в теплый период температура не росла. В последующие годы картина поменялась на прямо противоположную: активно повышается температура теплого периода, а рост температуры холодного периода прекратился.

Таблица 4. Величины тенденций изменений средней годовой температуры воздуха.**Table 4.** Values of a trend of the average annual air temperature changes.

Метеорологическая станция	Величина тренда, °С	Значимость тренда, $\alpha = 0,05$
Акша	1,5	значимый
Александровский Завод	1,7	значимый
Кайластуй	2,0	значимый
Сретенск	2,1	значимый
Борзя	2,1	значимый
Соловьевск	2,1	значимый
Газимурский Завод	2,2	значимый
Нерчинский Завод	2,2	значимый
Мангут	2,2	значимый
Средняя по территории	2,0	значимый

**Рисунок 2.** Многолетние изменения средней годовой температуры воздуха по данным метеостанции Нерчинский Завод за период с 1848 по 2019 год: 1 – исходный ряд; 2 – полиномиальный тренд.**Figure 2.** Long-term changes in the average annual air temperature according to the data of the Nerchinskii Zavod settlement weather station, 1848–2019: 1 – original dataset; 2 – polynomial trend.

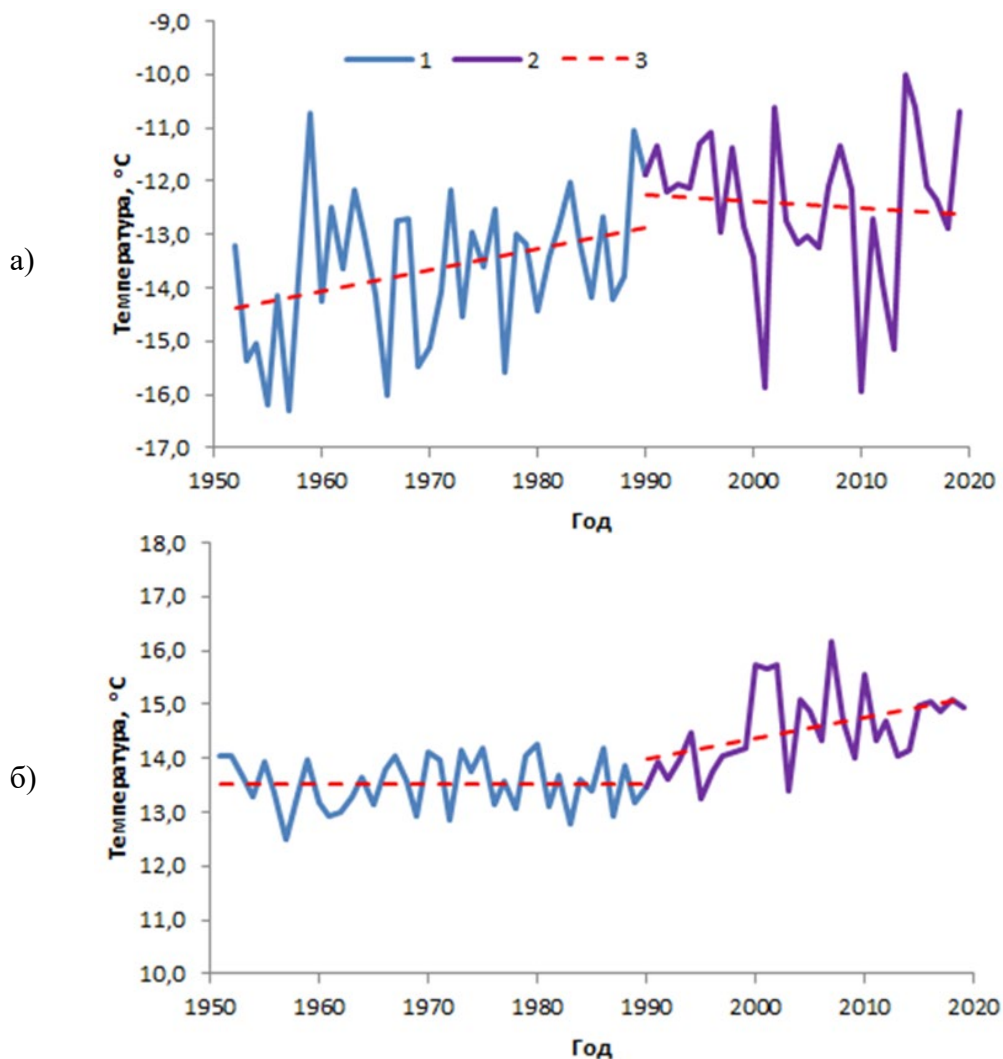


Рисунок 3. Многолетние изменения осредненной по территории Юго-Восточного Забайкалья средней за холодный период (а) и средней за теплый период (б) года температуры воздуха: 1 – период с 1951 по 1990 год; 2 – период с 1990 по 2019 год; 3 – линейные тренды.

Figure 3. Long-term changes in the average air temperature for the cold (a) and warm period (b), averaged over the territory of Southeastern Transbaikalia:

1 – period 1951–1990; 2 – period 1990–2019; 3 – linear trends.

Многолетние изменения атмосферных осадков

Атмосферные осадки в Юго-Восточном Забайкалье пространственно не столь согласованны, как температура воздуха. Если парные коэффициенты корреляции между рядами средних годовых температур не имеют значений ниже 0,8, то между рядами годовых сумм осадков они располагаются преимущественно в диапазоне 0,4–0,6. Тем не менее они статистически достоверны при заданном уровне значимости.

Количество осадков на исследуемой территории с середины прошлого столетия в

среднем уменьшилось на 39 мм, что составляет около 11% годовой суммы (рисунок 4). При этом тренд статистически не значим. Ранее был сделан вывод о значимом увеличении атмосферных осадков в Юго-Восточном Забайкалье [Обязов, 1999а; Обязов, 1999б], что было справедливо до 1990-х годов. Аналогичный вывод был сделан также в работе [Баженова, Мартыанова, 2000]. Однако последовавший затем период пониженной увлажненности привел к смене знака тренда.

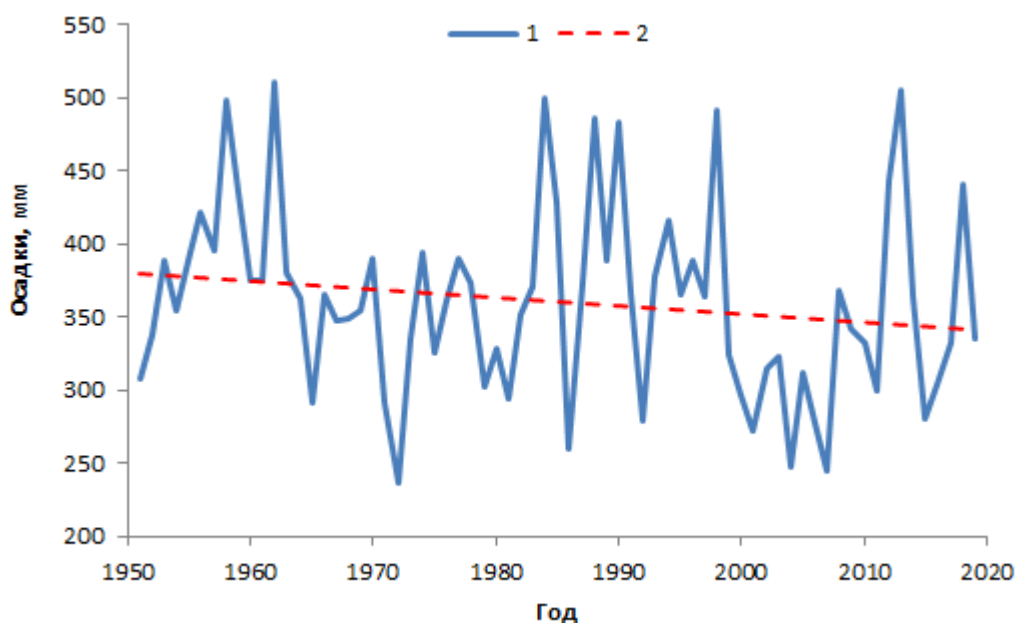


Рисунок 4. Многолетние изменения годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Юго-Восточного Забайкалья: 1 – исходный ряд; 2 – линейный тренд.

Figure 4. Long-term changes in the annual total precipitation averaged over the territory of Southeastern Transbaikalia: 1 – original dataset; 2 – linear trend.

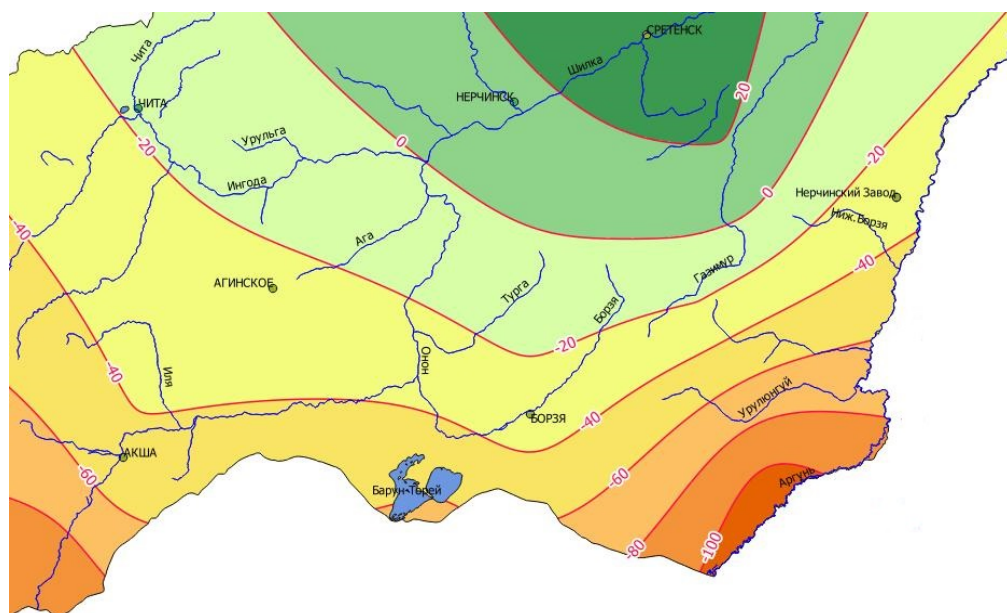


Рисунок 5. Распределение величины тренда годовых сумм атмосферных осадков в Юго-Восточном Забайкалье.

Figure 5. Distribution of the trend value of the annual total precipitation in Southeastern Transbaikalia.

Наибольшие изменения характерны для южных районов (рисунок 5), в том числе в районе Торейских озер. При продвижении на север величины тренда уменьшаются и за пределами степной зоны становятся слабо положительными. При этом только для трех рядов годовых сумм

осадков (метеостанции Кайластуй, Соловьевск, Мангут) из 9, использованных в анализе, достоверность тренда подтвердилась.

Многолетние изменения месячных сумм осадков статистически недостоверны, за исключением тренда в феврале. За 69 лет осадки

в этом месяце возросли на 2,0 мм. Наибольшую величину тренд имеет в июле: за рассматриваемый период месячная сумма осадков, осредненных по исследуемой территории, уменьшилась на 21 мм. Однако значимость этого тренда не подтверждается.

Учитывая то, что июльские осадки по количеству наибольшие в течение года и дисперсия их рядов превышает дисперсию рядов в другие месяцы, тенденции уменьшения годовых сумм атмосферных осадков, характерных для большей части Юго-Восточного Забайкалья,

обусловлены преимущественно их изменениями в июле.

В межгодовых изменениях атмосферных осадков наиболее четко выражена внутривековая цикличность (рисунок 6а), наличие которой ранее было выявлено в работе [Обязов, 1996а]. В период с 1955 по 1963 год отмечался период с осадками, превышающими норму. Затем до 1982 года преобладали годы с осадками ниже нормы. В 1983 году вновь наступил влажный период, который продолжался до 1998 года. В 1999 году начался сухой период, год окончания которого приходится, по-видимому, на 2011 год.

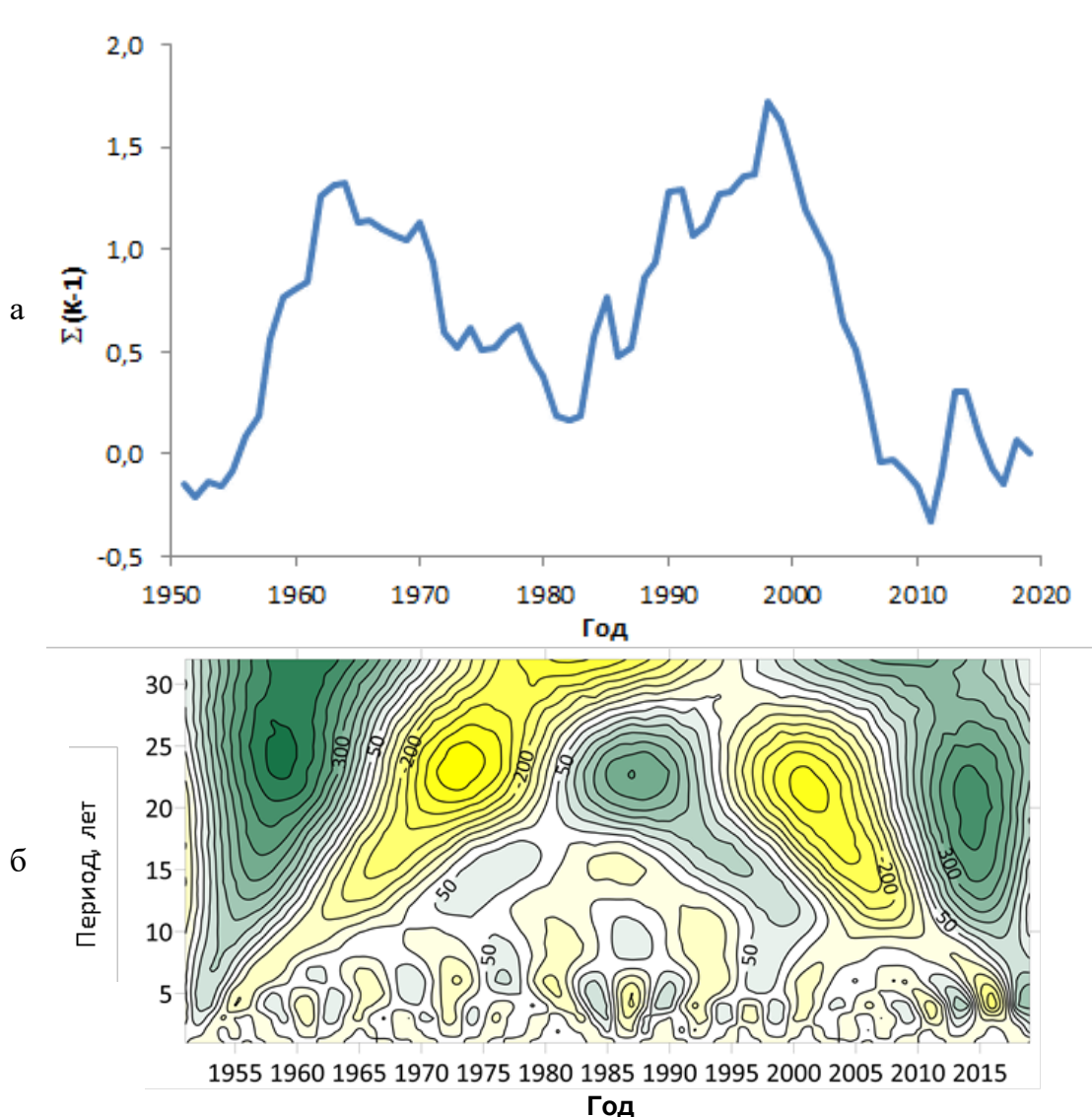


Рисунок 6. Разностная интегральная кривая (а) и вейвлет-спектр (б) средних по территории Юго-Восточного Забайкалья годовых сумм атмосферных осадков за период 1951–2019 гг.

Figure 6. Difference-integral curve (a) and wavelet spectrum (b) of the average annual total precipitation over the territory of Southeastern Transbaikalia, 1951–2019.

Результаты вейвлет-анализа (рисунок 6б) в целом согласуются с аналогичными результатами, полученными по разностной интегральной кривой. Наиболее четко проявляются ритмы продолжительностью 25–30 лет. Квазитридцатилетняя цикличность в изменениях увлажненности исследуемой территории, как показал анализ данных о радиальном приросте годовых колец сосен Цасучейского бора, расположенного вблизи Торейских озер, стабильно проявляется с середины XIX века [Вахнина, Обязов, Замана, 2018]. Одной из причин неустойчивости влажного периода в 25–30-летнем цикле, начавшегося, вероятно, в 2012 году, является наличие в середине 2010-х годов хорошо выраженной сухой фазы в квазипятилетнем цикле. Здесь и далее на вейвлет спектрах положительные отклонения исследуемой величины от среднего даны зеленым цветом, отрицательные – желтым; чем больше насыщенность цвета, тем больше величина отклонения.

Таким образом, в колебаниях атмосферных осадков в Юго-Восточном Забайкалье во второй половине XX века и в первом десятилетии XXI века выделяются два внутривековых цикла: с 1955 по 1982 год и с 1983 по 2011 год. Длительность циклов составила 29 и 30 лет соответственно. На их фоне достаточно хорошо выражены квазипятилетние ритмы.

Согласованность изменений атмосферных осадков и температуры воздуха отсутствует [Обязов, 2011; Обязов, 2012].

Многолетние изменения испаряемости

В качестве оценки испарения с водной поверхности как одного из главных элементов водного баланса бессточных Торейских озер была использована величина испаряемости – максимально возможного испарения с увлажненной поверхности. Многолетние изменения рассчитанных величин суммарной

испаряемости за май – сентябрь по данным метеостанции Соловьевск, расположенной в непосредственной близости от Торейских озер, представлены на рисунке 7. Обращает на себя внимание увеличение испаряемости в последние два десятилетия. Ее средняя величина в период с 1999 по 2020 год примерно на 20% больше чем в предшествующий период с 1951 по 1998 год. Линейный тренд за период с 1951 по 2020 год статистически достоверен.

Многолетние изменения стока рек

Ряды средних годовых расходов воды рек Юго-Восточного Забайкалья имеют между собой достаточно надежную корреляционную связь. Наибольшие коэффициенты корреляции, значения которых превышают 0,9, характерны для рек бассейна реки Онон, а также между рядами стока реки Онон и реки Шилки. Наименьшая скоррелированность изменений стока, характеризующаяся коэффициентами корреляции, достигающими значений менее 0,6, отмечается между реками бассейна рек Аргуни и Онон.

Согласованность стока рек подтверждается и при совместном анализе разностных интегральных кривых (рисунок 8), на которых выявляется хорошо выраженная синфазность его изменений.

В многолетнем режиме стока рек хорошо выражена цикличность. Результаты вейвлет-анализа ряда средних годовых расходов воды реки Шилки в створе города Сретенска показали наличие достаточно устойчивой на протяжении всего периода наблюдений 25–30-летней цикличности (рисунок 9). Близкие по величине ритмы выявлялись ранее в работах [Обязов, 1998; Обязов, 2012; Обязов, Смахтин, 2012; Обязов 2015]. С конца XIX века до середины 1920-х годов, а также в 1940–1970-х годах проявлялись 10–12-летние ритмы. В 1980–1990-х годах в высокочастотной части спектра преобладали колебания с периодом 4–5 лет.

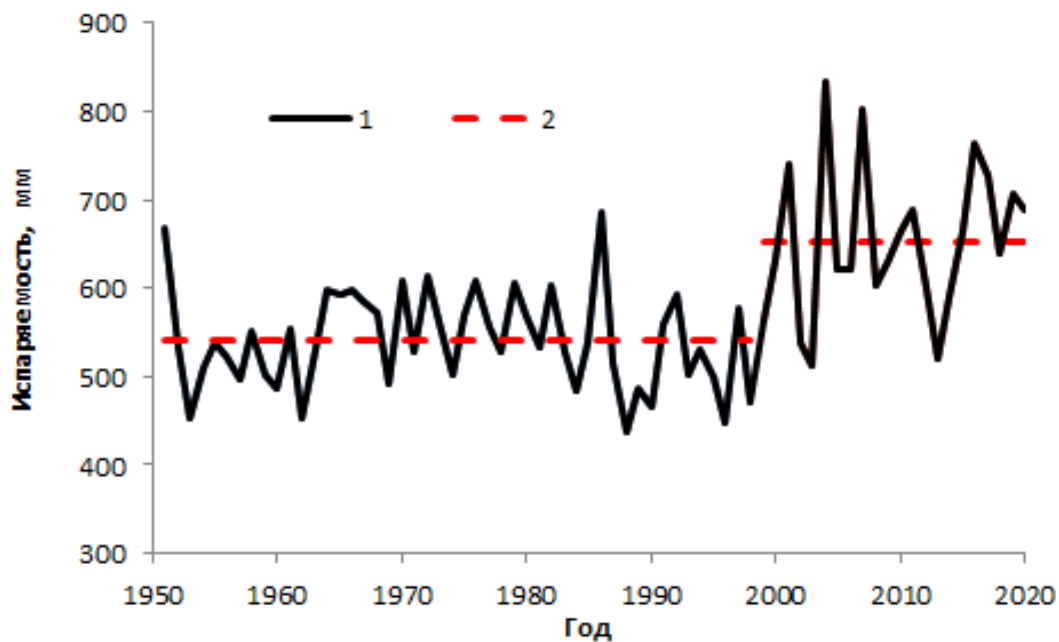


Рисунок 7. Многолетние изменения испаряемости в период с мая по сентябрь по данным метеостанции Соловьевск за период с 1951 по 2020 год: 1 – исходный ряд; 2 – средние значения за периоды с 1951 по 1998 год и с 1999 по 2020 год.

Figure 7. Long-term changes in evaporation from May to September according to the data of the Solovievsk settlement weather station, 1951–2020: 1 – original dataset; 2 – average values during 1951–1998 and 1999–2020.

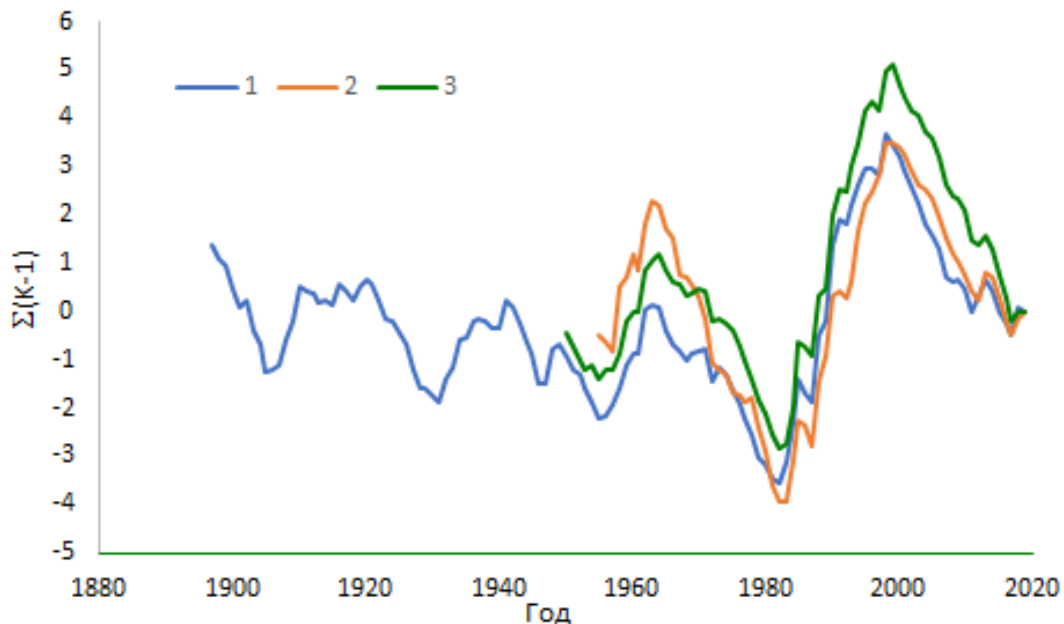


Рисунок 8. Многолетние изменения стока реки Шилки у города Сретенска (1), реки Унды у села Ново-Ивановск (2) и реки Онон у села Чирон (3), представленные в виде разностных интегральных кривых.

Figure 8. Long-term changes in the runoff of rivers: the Shilka river near Sretensk town (1), the Unda river near Novo-Ivanovsk village (2) and the Onon river near Chiron village (3), presented as difference-integral curves.

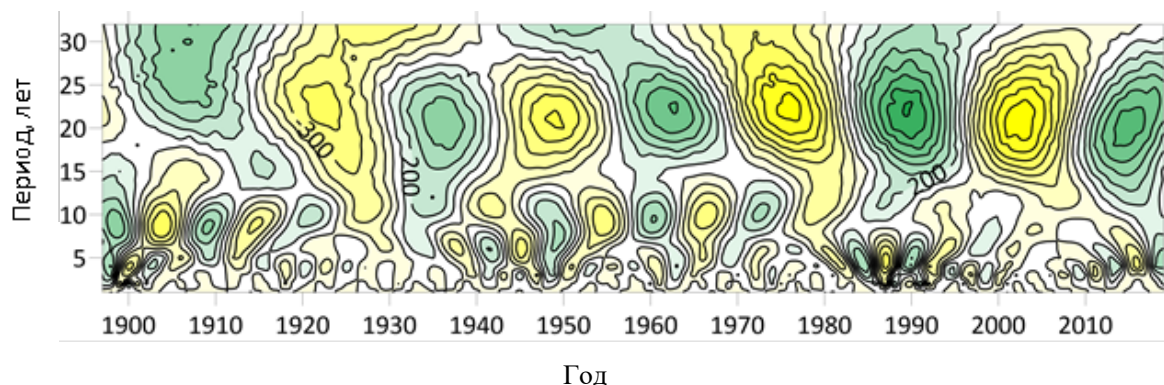


Рисунок 9. Вейвлет-спектр многолетних изменений стока реки Шилки у г. Сретенска.
Figure 9. Wavelet spectrum of long-term changes in the Shilka river runoff near Sretensk town.

Многолетние изменения годового стока на всех исследованных реках Юго-Восточного Забайкалья имеют отрицательный тренд. Осредненный по территории средний годовой модуль стока в период с 1958 по 2019 год уменьшился на $0,74 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ или на 35% (рисунок 10). Однако его статистическая достоверность не подтверждается при заданном уровне значимости.

Как показали ранее выполненные исследования [Обязов, 2012; Обязов, Смахтин, 2012], величина и знак тренда в многолетних изменениях стока во многом зависят от продолжительности ряда наблюдений,

используемого для анализа, и в большей степени определяется характером фазы водности в конце ряда. В случае завершения ряда многоводной фазой наиболее часто тренд имеет положительный знак, а в случае завершения маловодной фазой – отрицательный.

Многолетние изменения стока реки Ульды – основного притока Торейских озер – хорошо согласуются с изменениями стока других рек Юго-Восточного Забайкалья. Коэффициенты парной корреляции между рядами средних годовых расходов статистически достоверны и в большинстве случаев превышает значение 0,7.

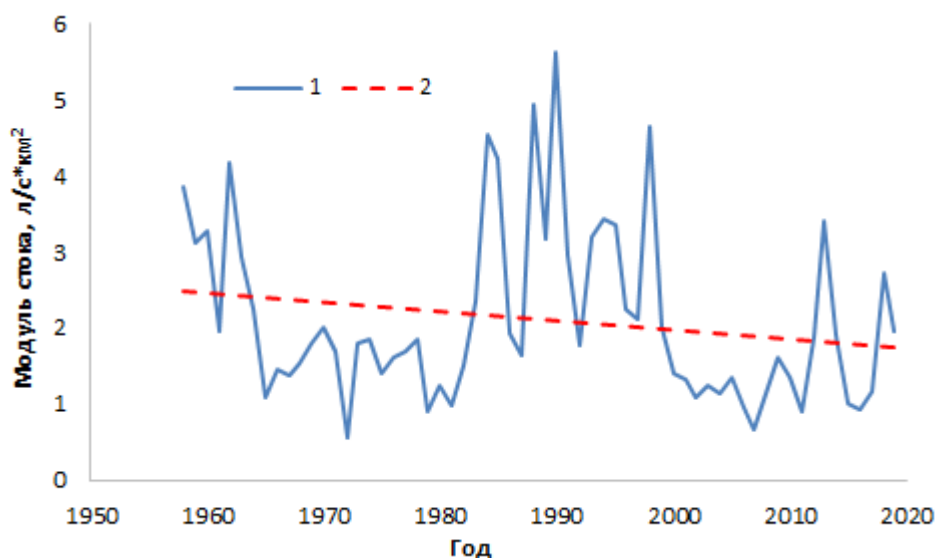


Рисунок 10. Изменение среднего годового модуля стока воды по 14 пунктам Юго-Восточного Забайкалья: 1 – исходный ряд; 2 – линейный тренд.

Figure 10. Change in the average annual module of water runoff by 14 study sites in Southeastern Transbaikalia: 1 – the original row; 2 – linear trend.

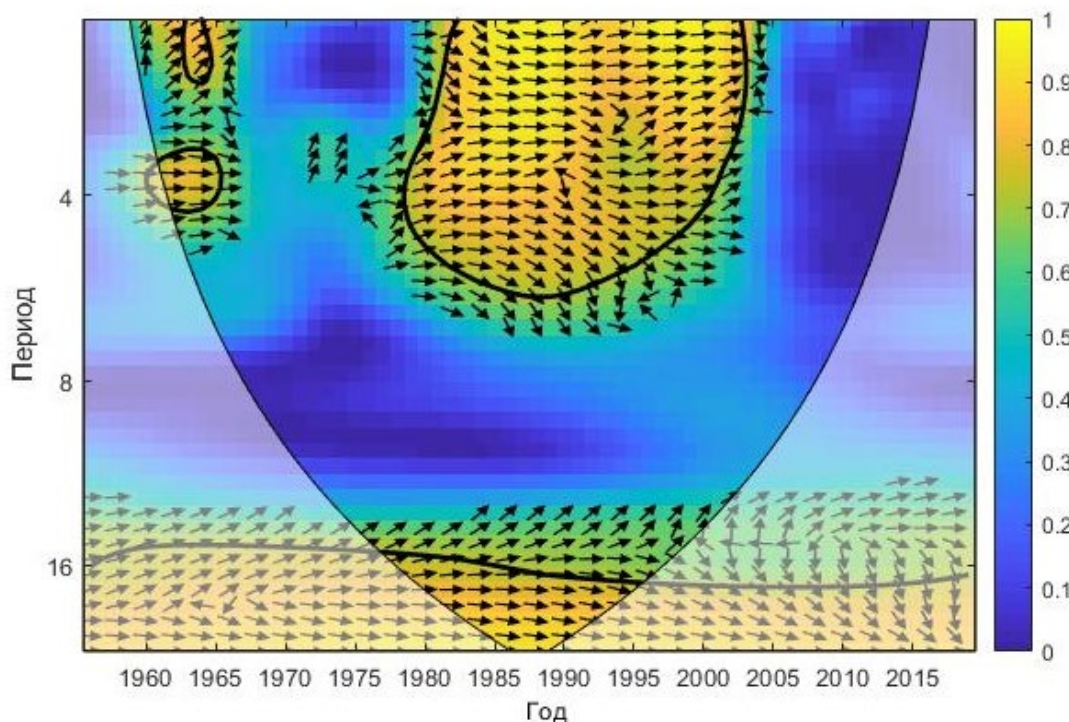


Рисунок 11. Вейвлет-когерентность годового стока реки Шилки у города Сретенска и реки Ульдзы у села Соловьевск.

Figure 11. Wavelet coherence of the annual runoff of the Shilka river near Sretensk town and the Uldza river near Solovievsk village.

Анализ вейвлет когерентности многолетних колебаний стока реки Ульдзы и реки Шилки показал, что наибольшая статистически достоверная согласованность на всем протяжении анализируемых рядов приходится на частоты, соответствующим ритмам длительностью более 16 лет (рисунок 11). В высокочастотной области колебаний (менее 4 лет) отмечается значимая величина когерентности в период с начала 1980-х до середины 2010-х годов. При этом необходимо отметить, что с целью получения большего разрешения на низких частотах при оценке когерентности ряд средних годовых расходов реки Ульдзы был ретроспективно продлен на 9 лет (период с 1956 по 1964 год) с помощью уравнения множественной регрессии по данным гидрологических постов река Онон – село Чирон и река Нижняя Борзя – село Михайловка. Множественный коэффициент корреляции этой связи составил 0,84.

Связь многолетних изменений среднего годового стока реки Ульдзы у села Соловьевск и годовых сумм атмосферных осадков в Онон-Аргунском междуречье несколько слабее, чем со

стоком рек. Тем не менее все полученные значения коэффициентов корреляции статистически достоверны.

Сравнение временных рядов многолетних изменений стока реки Ульдзы и осадков, измеренных на метеостанции Соловьевск, представленных в виде вейвлет-спектров, выявило их согласованность во внутривековых колебаниях (рисунок 12). Хотя в вейвлет-спектрах имеются отличия, тем не менее относительно сухим периодам в режиме атмосферных осадков соответствуют маловодные фазы в режиме стока, а влажным периодам – многоводные фазы. Короткопериодные ритмы в изменениях стока почти не проявляются.

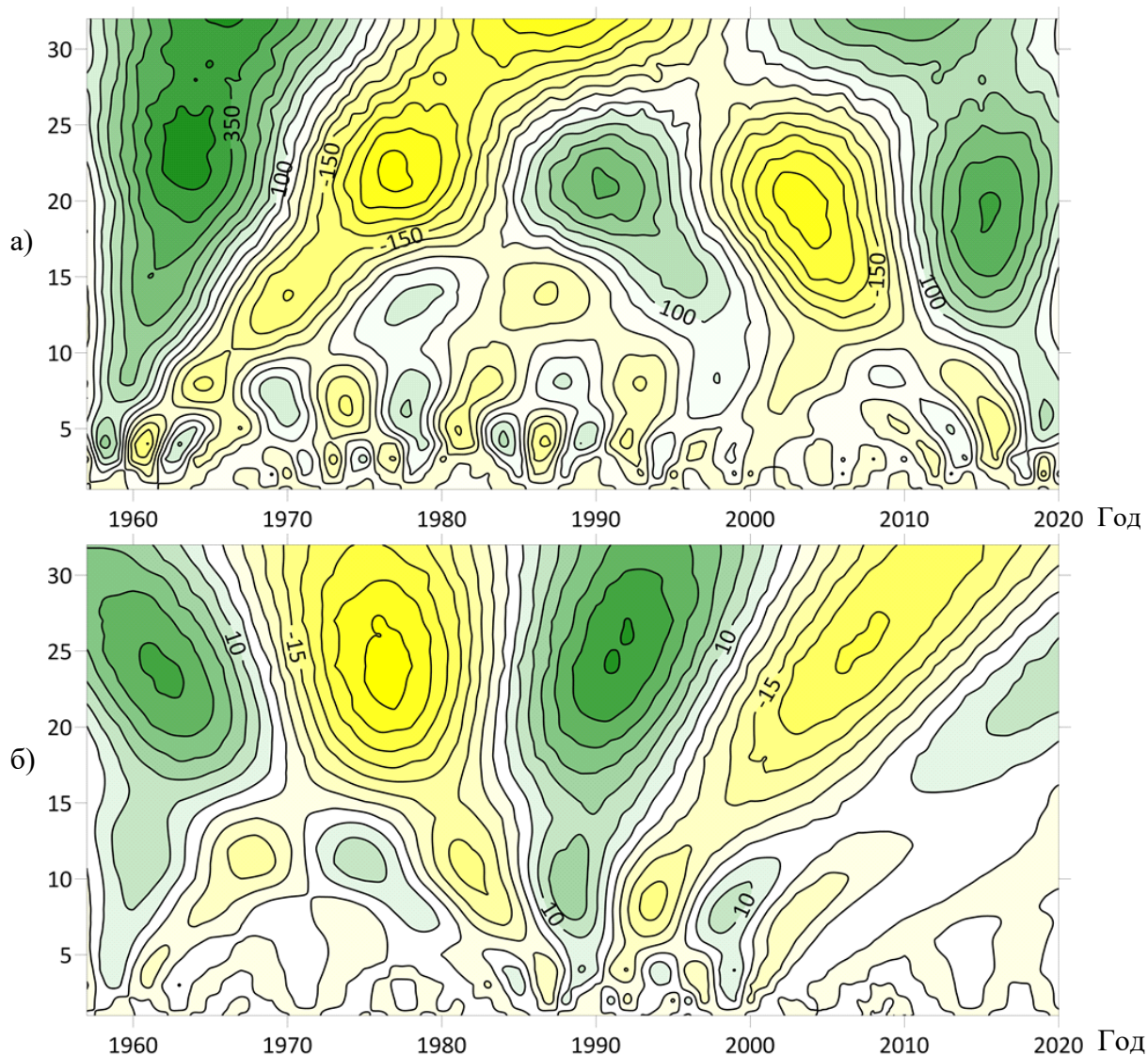


Рисунок 12. Вейвлет-спектры межгодовых изменений атмосферных осадков по данным метеостанции Соловьевск (а) и стока реки Ульдзы у села Соловьевск (б).

Figure 12. Wavelet spectrum of interannual changes in atmospheric precipitation according to the data of the Solovievsk settlement weather station (a) and the flow of the Uldza river near Solovievsk village (b).

Многолетние изменения уровня воды Торейских озер

Торейские озера, как и река Ульдза, не показаны на многолистной «новой карте Китая», изготовленной французскими миссионерами в 1709–1718 годах, на основе которой сделан Атлас [D'Anville, 1937], «необычайный не только для Китая, но и для Европы того времени по точности и охвату...» [Красникова, 2011]. Эти же листы карты были использованы И.К. Кириловым

[Красникова, 2011] для подготовки «Новой лант карты разграничения между Российской империей, Сибирскими землями Китайского владения с мунгальскими землицами»¹ [Атлас, 2008]. Здесь уже Торейские озера изображены в виде единого большого водоема с точным местоположением впадающих в них рек. В легенде карты указано, что работы выполнены в 1727 году с привлечением пограничных российских геодезистов. Известно, что

¹ Атлас Всероссийской империи: Собрание карт И.К. Кирилова / Вступ. статья О. А. Красниковой. Репринтное издание 1727–1737 годов. СПб.: Альфарет, 2008. 10 с.

геодезическая съемка 1727 года проведена и на Торейских озерах [Магидович, Магидович, 1984]. И.К. Кирилов во исполнение поручения главы государства и дипломатической миссии с привлечением геодезистов детально нанес на карту полосу вдоль границы государства. Основываясь на данных указанных карт, можно предположить, что в период с 1709 по 1718 год Торейские озера были сухими, а в 1727 году со стороны границы представляли собой единый большой водоем, простиравшийся от 49 до 53 пограничного маяка, но не выходящий к югу за границу¹. Однако этот вопрос требует отдельного изучения, поскольку при современных значениях элементов водного баланса Торейских озер столь существенные изменения за такой короткий (около 10–15 лет) промежуток времени представляются маловероятными.

Первые описания Торейских озер опубликованы П.С. Палласом, посетившим Юго-Восточное Забайкалье в 1772 году и увидевшим эти озера совершенно сухими, русла реки Ульдзы и реки Ималки в устьях также были безводными [Паллас, 1788]. Впоследствии Торейские озера обводнились, как это следует из результатов опросов Г.И. Радде, обследовавшего их в 1856 году [Радде, 1858]. Однако примерно за пять лет до его приезда эти озера вновь высохли. Возможно, за 84 года, отделяющих эти две экспедиции, наполнения и высыхания происходили неоднократно.

В конце XIX века Торейские озера наполнились, о чем свидетельствует Г.Н. Потанин, маршрут которого пролегал через Торейские озера в 1899 году [Потанин, 1948]. При его посещении вода была только в озере Барун-Торей. Наполненность озерных ванн в этот период отмечается также в работах [Дмитриева, Напрасников, Сизиков, 1976; Иванов, 1977; Кренделев, 1986]. Причем в [Дмитриева,

Напрасников, Сизиков, 1976; Кренделев, 1986] приводятся даже точные даты наполнения – 1872 и 1897 годы.

О состоянии Торейских озер в XX веке имеется более подробная информация [Обязов, 1994], включающая сведения из научной литературы [Прасолов, 1927; Некипелов, 1957; Корнутова, 1968; Фриш, 1972], фондовые данные Читагеолкома и Забайкальского управления гидрометслужбы, полученные главным образом при геологическом, гидрологическом, почвенном и зоологическом исследованиях Юго-Восточного Забайкалья, а также в результате опросов местных жителей. Однако до 1964 года такая информация носила лишь качественный характер. В период с 1964 по 1980 год Забайкальским управлением Гидрометслужбы на озере Барун-Торей у села Кулусутай проводились инструментальные наблюдения. Прекращение наблюдений было обусловлено отступанием береговой линии на несколько километров. Впоследствии Государственным природным биосферным заповедником «Даурский» производились лишь эпизодические наблюдения за уровнем воды Торейских озер.

График многолетних изменений уровня воды озера Барун-Торей, построенный по инструментальным данным и данным, полученным в результате воднобалансовых расчетов и изучения космических снимков, показан на рисунке 13. Максимальные за год уровни воды, как правило, отличаются от приведенных на графике, а внутрисезонная динамика уровня воды имеет обычно амплитуду выше, чем величина соседних многолетних параметров на определенную дату. Для устранения влияния высокой сезонной изменчивости применены и рассчитаны уровни воды на начало гидрологического года (1 ноября).

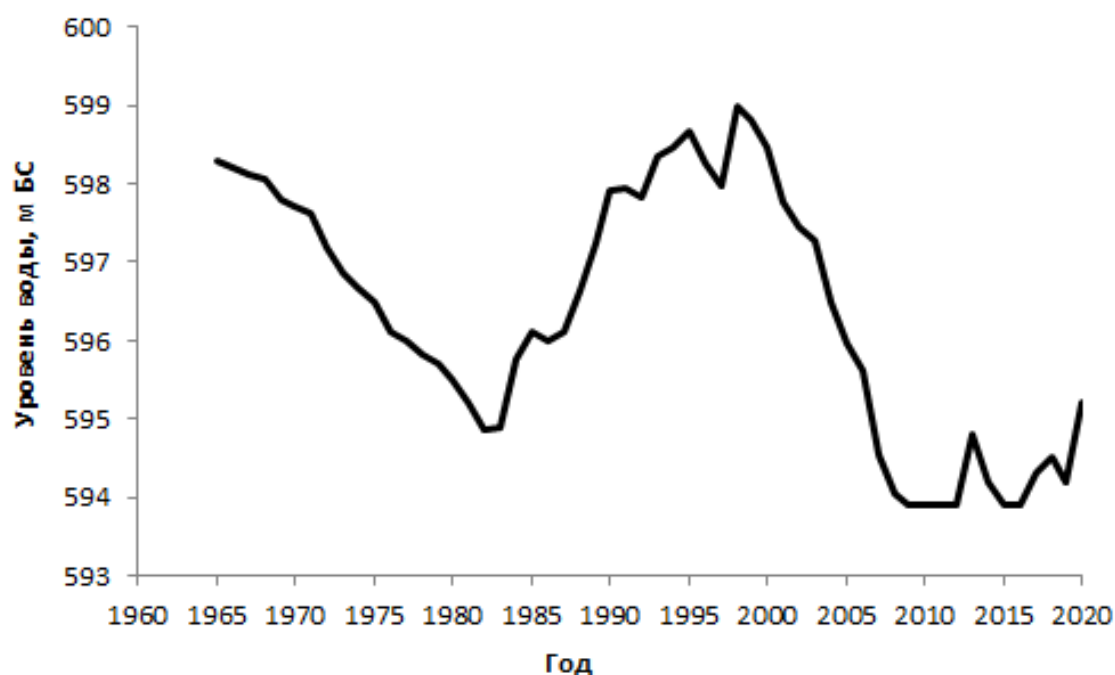


Рисунок 13. Многолетние изменения измеренных (период с 1965 по 1980 год) и восстановленных (период с 1981 по 2020 год) уровней воды озера Барун-Торей.

Figure 13. Long-term changes in water levels of Barun-Torey lake: measured (1965–1980) and calculated by water balance and satellite images studying (1981–2020).

После достижения в 1965 году максимума, уровень воды Торейских озер понижался в течение 17 лет. Его спад завершился в 1982–1983 годах. Последовавшее за ним наполнение этих озер периодически прерывалось, тем не менее, в течение 15 лет сохранялась общая положительная тенденция. По воднобалансовым расчетам наибольшей отметки уровня воды Торейские озера достигли в 1998 году, что и показано на рисунке 13. Однако анализ космических снимков указывает на достижение наивысших величин площади этих озер в 1999 году (рисунок 14а). Данное противоречие возникло в связи с тем, что расчеты выполнялись на 1 ноября, а максимальный уровень воды отмечался в начале июля. После достижения максимального уровня воды происходило многолетнее его падение. В 2009 году в озере Барун-Торей он достиг абсолютного минимума – ложе озера полностью освободилось от воды (рисунок 14б). При этом площадь зеркала озера Зун-Торей за этот период уменьшилась

несущественно (около 14%) за счет большей глубины и большей крутизны береговых склонов. Падение его уровня наблюдалось еще 10 лет и весной 2019 года ванна озера Зун-Торей полностью высохла (рисунок 14в). В последующем почти настолько же сухие Торейские озера были только один раз – в мае – июне 2020 года.

В течение 12 лет (с 2009 по 2020 год) вода в озере Барун-Торей появлялась почти ежегодно во втором полугодии на срок от двух до десяти месяцев из-за выпадения ливневых осадков, чаще приходящихся на июль – август, или увеличения стока реки Ульды (рисунки 14в, 14г). Из-за плоской чаши малый объем воды временно покрывал большую площадь.

Корреляционный анализ показал сильную зависимость ежегодных приращений уровня воды (ΔH) озера Барун-Торей от основных элементов водного баланса: годового стока реки Ульды, осадков и испаряемости по данным метеостанции Соловьевск (таблица 2).

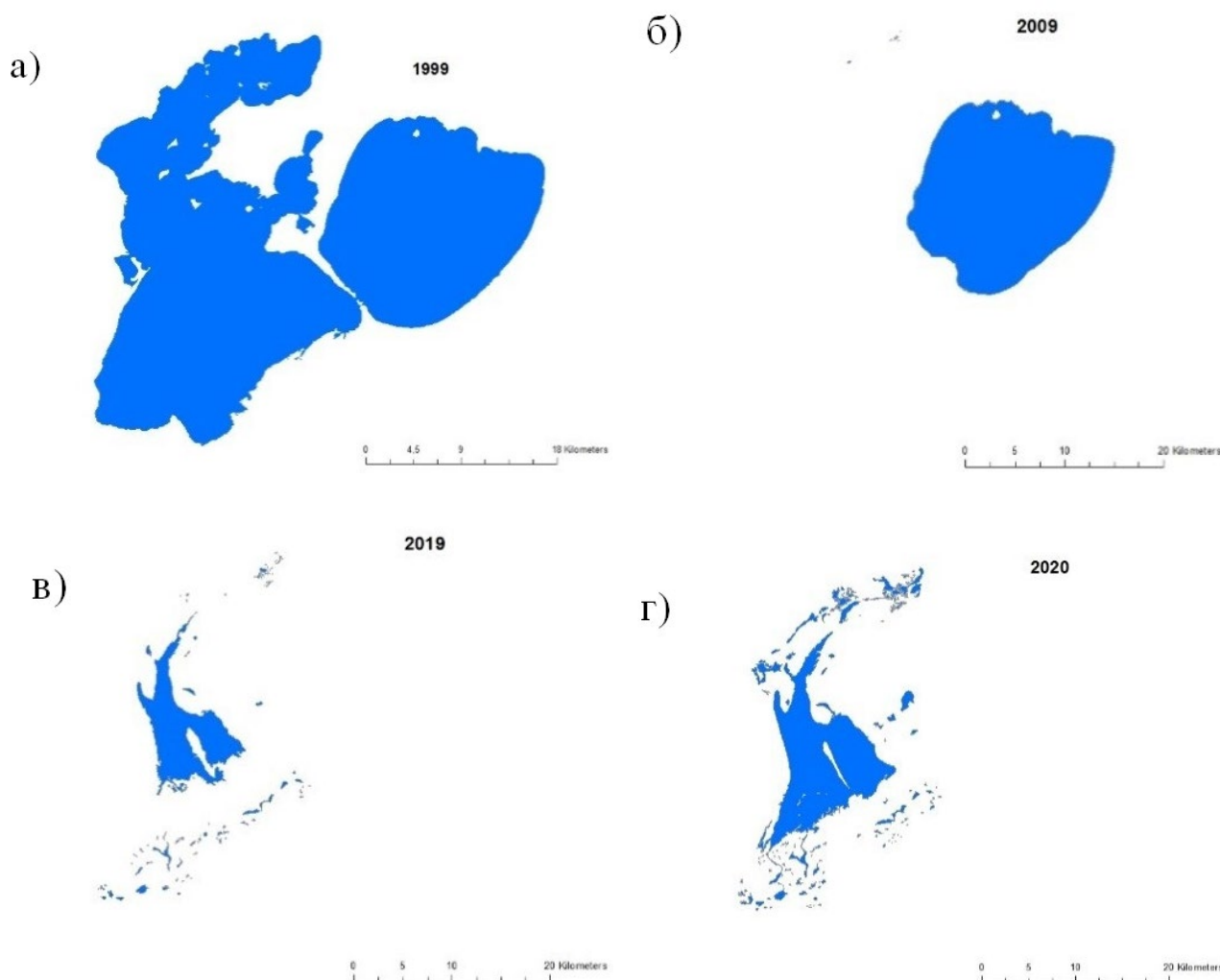


Рисунок 14. Изменение очертаний водной поверхности Торейских озер в июле – августе на разных этапах сухой фазы в период с 1999 по 2020 год.

Figure 14. Changes in the outlines of the Torey Lakes’ water surface in July – August at different stages of the dry phase from 1999 to 2020.

Таблица 2. Корреляционные матрицы связи годовых приращений уровня воды озера Барун-Торей, годового стока реки Ульдзы и годовых сумм атмосферных осадков за два периода (с 1965 по 2009 год и с 1965 по 2020 год).

Table 2. Correlation matrices of the relationship of annual increments of Barun-Torey lake water level, the annual flow of the Uldza river and annual precipitation for two periods (1965–2009 and 1965–2020).

	ΔН	Сток	Осадки	Испаряемость
с 1965 по 2009 год				
ΔН	1			
Сток	0,79	1		
Осадки	0,62	0,56	1	
Испаряемость	-0,72	-0,55	-0,67	1
с 1965 по 2020 год				
ΔН	1			
Сток	0,63	1		
Осадки	0,62	0,50	1	
Испаряемость	-0,45	-0,58	-0,61	1

До 2009 года зависимость уровня воды озера Барун-Торей от стока реки Ульдзы и испаряемости была существенно выше, чем за весь рассматриваемый период. Это связано, с одной стороны, со снижением стока в период с 2010 по 2020 год. За эти 11 лет суммарный объем стока реки Ульдзы ($0,112 \text{ км}^3$) оказался меньше, чем в среднем за год ($0,186 \text{ км}^3$) за весь период наблюдений (с 1965 по 2020 год). При этом сток в озеро поступал не ежегодно, а лишь кратковременно во время прохождения дождевых паводков. С другой стороны, в периоды, когда ложе озера полностью высыхает, что, как правило, приходится на апрель – июнь, испарение имеет значения близкие к нулю, хотя испаряемость, показывающая потенциальное испарение, наивысшая. Поэтому испаряемость в эти периоды не соответствует испарению. Существует в этот период и менее значимый обратный процесс. При временном появлении воды малого объема плоское дно обоих озер способствует ее повышенному испарению и просачиванию в грунт. Это происходит из-за того, что ветер, меняя направление, переносит небольшое количество воды на ранее высохшие и нагретые участки дна, значительно увеличивая площадь испарения и инфильтрации.

В водном балансе озера Зун-Торей в периоды малой водности и разобшенного существования озер поверхностный приток отсутствует. Поскольку испарение с водной поверхности озера (около 700 мм) примерно в два раза превышает величину атмосферных осадков (около 300 мм), после высыхания протоки Уточи падение уровня воды озера Зун-Торей происходит интенсивнее, чем у озера Барун-Торей, но из-за большей глубины длится намного дольше. От последнего максимума уровня воды (1999 год) озеро Барун-Торей высыхало 11 лет, озеро Зун-

Торей – 21 год, поверхностная связь озер прекратилась в 2005 году.

Выявленное существенное снижение зависимости приращения уровня воды озера Барун-Торей от испаряемости в период длительного (с 2009 по 2020 год) чередования безводных фаз и маловодности подтверждает, что в это время не только неоднократно высыхало ложе озер, но и понижался уровень грунтовых вод под их дном, а его восстановление до отметки дна происходило без существенного влияния испарения. Наиболее низкие уровни грунтовых вод вблизи Торейских озер (скважины у протоки Уточи в селе Соловьевск) отмечены в 1918 и 1919 годах. Необходимость восполнения уровня грунтовых вод при меньшей скорости подземного и подруслового стока объясняет отмеченное запаздывание периодов роста уровня воды Торейских озер по сравнению с аналогичными периодами увеличения стока реки. Затянувшиеся сухие периоды в бессточных озерных котловинах, подобных Торейской, в начале многоводной фазы могут требовать значительных объемов воды до начала устойчивого наполнения чаши.

Устойчивое наполнение Торейских озер зафиксировано с начала сентября 2020 года (рисунок 15). В первых числах сентября река Ульдза принесла в озеро Барун-Торей паводковую воду, собранную преимущественно главным левым притоком – рекой Дучийн-Гол. Расход воды в сентябре был столь значителен ($7,1 \text{ м}^3/\text{с}$), что, наполнив основное русло и мелкие старицы дельты, вода по руслу правого рукава дельты – реке Барахойлой проникла через северную протоку в озеро Зун-Торей. Это произошло ранее, чем к протоке подошла вода из наполнявшегося озера Бурун-Торей (рисунки 16 и 17).

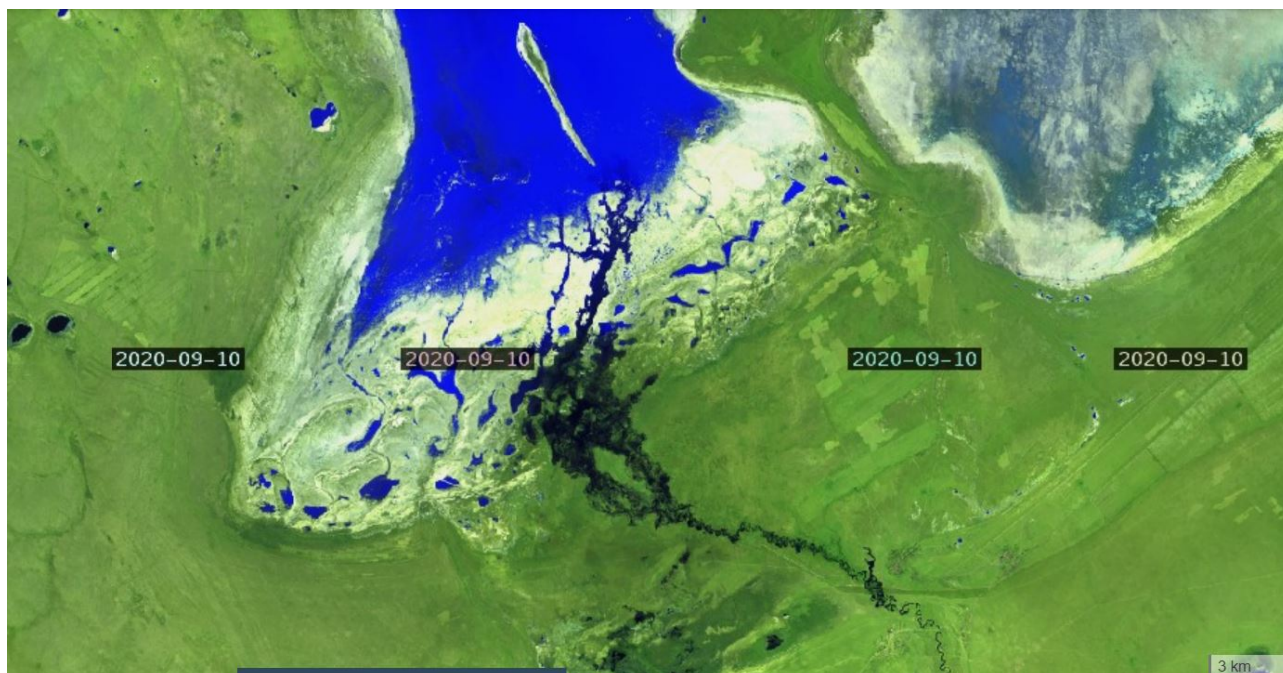


Рисунок 15. Начало заполнения чаши озера Барун-Торей водами реки Ульды в первых числах сентября 2020 года.

Figure 15. The beginning of filling Barun-Torey bowl with the Uldza river waters in early September 2020.

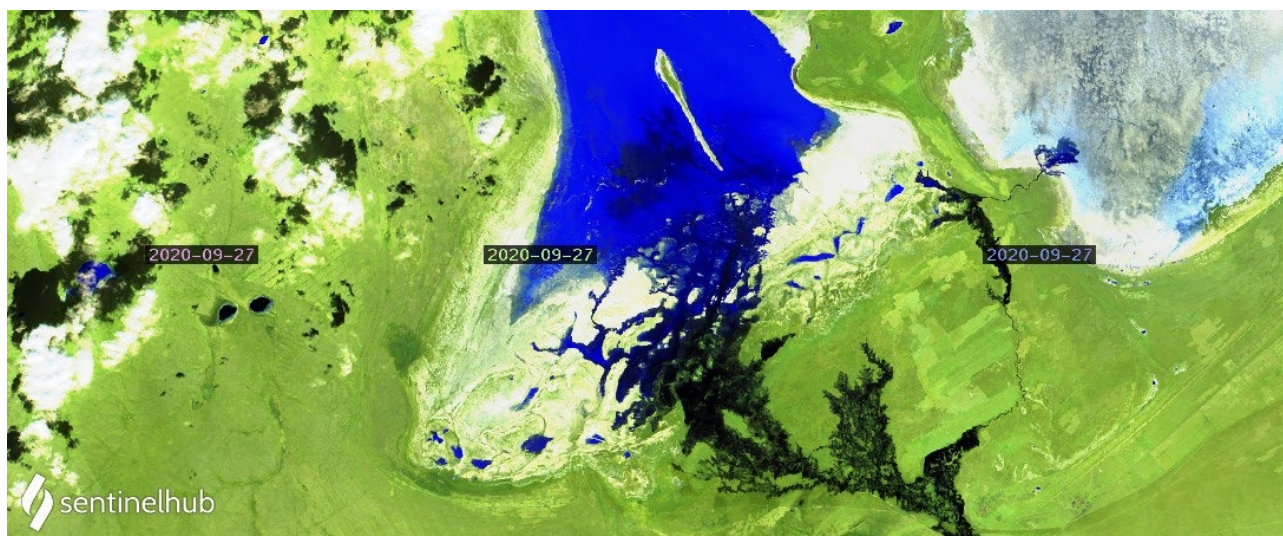


Рисунок 16. Начало заполнения чаши озера Зун-Торей водами реки Ульды по правому рукаву ее дельты – реке Барахолой – и далее по протоке Уточи в третьей декаде сентября 2020 года.

Figure 16. The beginning of filling of Zun-Torey bowl with the Uldza river waters along the right branch of its delta – the river Barakholey – and further along the Utochi channel in the third decade of September 2020.



Рисунок 17. Северная протока Уточа во время наполнения ее водой, пришедшей из реки Барахоллой 23 сентября 2020 года. Фото 24.09.2020 В.Е. Кирилюк.

Figure 17. The northern channel Utochi during its filling with water that came from the river Barakholey, September 23, 2020. Photo by V. Kirilyuk dated 24.09.2020.

Наполнение озера Зун-Торей может происходить двумя путями. При расходе воды в реке Ульдзе в створе села Соловьевск, достаточного для наполнения озера Барун-Торей, но менее $6-7 \text{ м}^3/\text{с}$, переток в озеро Зун-Торей происходит только при достижении уровнем воды отметки порога слива протоки Уточы ($596,5 \text{ м БС}$), соединяющей эти озера. Это происходит при максимальной глубине озера Барун-Торей $2,6 \text{ м}$ и площади зеркала озера, превышающей 420 км^2 . В периоды появления интенсивного стока реки Ульдзы (более $6-7 \text{ м}^3/\text{с}$) вода по реке Барахоллой стекает и в озеро Зун-Торей. В юго-восточной части чаши озера Барун-Торей имеется образованное течением русловое углубление, ведущее в северную протоку Уточы и по ней в озеро Зун-Торей, дно которого ниже дна озера Барун-Торей. В случае углубления и расширения течением реки Барахоллой и наблюдаемого размывания и зарастания основного русла реки Ульдзы перед озером Барун-Торей, порядок наполнения Торейских озер изменится: сначала будет наполняться озеро Зун-Торей, а затем – озеро Барун-Торей.

В периоды регрессии уровень воды падает в обоих озерах согласованно до достижения отметки порога слива протоки Уточы. При

разобщином их существовании озеро Барун-Торей высыхает быстрее за счет меньших глубин. В трансгрессивную фазу наполнение начинается с озера Барун-Торей, но существует возможность более быстрого наполнения озера Зун-Торей или поочередного наполнения двух озер. Устойчивый объем воды в озере Зун-Торей появляется только после начала стока по протоке Уточы. После выравнивания уровней воды режим Торейских озер вновь становится согласованным.

Анализ имеющихся данных об уровне воды Торейских озер, в том числе качественных, указывает на циклический характер его изменений. Многолетний уровенный режим Торейских озер хорошо согласуется с режимом атмосферных осадков и речного стока Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии. Торейские озера начали наполняться только в 2020 году, хотя влажная фаза цикла в Юго-Восточном Забайкалье должна была начаться раньше – примерно с 2012 года. Причиной слабой выраженности влажного периода или почти полного отсутствия его проявлений явились рост температуры воздуха в теплый период года и связанное с ним увеличение испаряемости, наряду с тенденцией уменьшения атмосферных осадков.

Таким образом, Торейские озера в полной мере могут считаться индикатором многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии.

Заключение

В Юго-Восточном Забайкалье с середины XX века происходит потепление, которое до начала 1990-х годов обеспечивалось ростом температуры воздуха в холодный период года, в основном в феврале – апреле, а в последующие годы – за счет повышения температуры теплого периода. Однако в течение последних трех десятилетий рост средней годовой температуры замедлился. Если за период с 1951 по 1990 год средняя годовая температура в среднем по исследуемой территории росла со скоростью $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет, то в период с 1990 по 2019 год темпы потепления составили лишь $0,09^{\circ}\text{C}/10$ лет. В многолетних колебаниях средней годовой температуры воздуха выявлено несколько циклических составляющих. Наиболее четко проявляются циклы продолжительностью около 4 и 11 лет, а также 20–25 лет.

В режиме атмосферных осадков статистически достоверное их изменение за последние 70 лет произошло в южных районах Юго-Восточного Забайкалья, в том числе в районе Торейских озер. При продвижении на север величины тренда уменьшаются и за пределами степной зоны становятся слабо положительными. Соответственно, с северо-востока на юго-запад существенно выросла разница в увлажненности, отражающая сильную аридизацию приграничного участка Забайкалья, в том числе в районе Торейских озер. Однако в многолетних изменениях осадков лучше выражены их циклические колебания. Наиболее четко проявляются ритмы продолжительностью 25–30 лет.

Однозначной связи между многолетними изменениями атмосферных осадков и температуры воздуха не выявлено.

В последние два десятилетия существенно возросла испаряемость. Ее средняя величина в период с 1999 по 2020 год примерно на 20% больше чем в предшествующий период с 1951 по 1998 год.

Многолетние изменения стока рек на территории Юго-Восточного Забайкалья происходят с высокой степенью согласованности. В их многолетнем режиме хорошо выражена цикличность. Наиболее устойчивыми за весь период наблюдений за стоком в Забайкалье, начиная с конца XIX века, являются 25–30-летние циклы.

Многолетние изменения стока реки Ульды хорошо согласуются с изменениями стока других рек Юго-Восточного Забайкалья. Наибольшая статистически достоверная согласованность на всем протяжении анализируемых рядов приходится на частоты, соответствующим ритмам длительностью более 16 лет. Связь многолетних изменений среднего годового стока реки Ульды у села Соловьевск и годовых сумм атмосферных осадков в Юго-Восточного Забайкалья несколько слабее, чем со стоком рек. Тем не менее все полученные значения коэффициентов корреляции статистически достоверны. Как в ряду стока реки Ульды, так и осадков, выпадающих на ее водосбор, выявлено преобладание внутривековых циклов.

Для уровневого режима Торейских озер характерна внутривековая цикличность, обусловленная режимом атмосферных осадков и речного стока. Причиной слабой выраженности влажной фазы цикла, которая должна была начаться примерно с 2012 года, явились отмечаемые в последние годы рост температуры воздуха в теплый период года и связанное с ним увеличение испаряемости, наряду с тенденцией уменьшения атмосферных осадков.

Торейские озера в полной мере могут считаться индикатором многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии.

Литература

Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170. DOI: [10.3367/UFNr.0166.199611a.1145](https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611a.1145).

Баженова О.И., Мартыанова Г.Н. Реакция степных и лесостепных морфодинамических систем на современные изменения климата // География и природные ресурсы. 2000. № 4. С. 23–32.

Вахнина И.Л., Обязов В.А., Замана Л.В. Динамика увлажнения в степной зоне юго-восточного Забайкалья с начала XIX столетия по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 2. С. 28–33.

Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 58 с.

Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т., Сизиков А.И. Зонально-поясные особенности и режим озер Забайкалья // Региональные особенности природы Забайкалья / Записки Забайкальского филиала географического общества СССР. Вып. 103. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1976. С. 41–59.

Иванов Н.Н. Об определении величины испаряемости // Известия Всесоюзного географического общества. 1954. Т. 86. № 2. С. 189–196.

Иванов А.В. Торейские озера // Гидрохимия рек и озер в условиях резко континентального климата. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 69–102.

Корнумова Е.И. История развития Торейских озер Восточного Забайкалья // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М.: Наука, 1968. С. 74–88.

Красникова О.А. Карты в истории установления российско-китайской границы в XVII–XVIII вв. и карта Китая, присланная Петру I императором Кам-хи // Наука из первых рук. 2011. Т. 39. № 3. С. 54–69.

Кренделев Ф.П. Периодичность наполнения и высыхания Торейских озер (Юго-Восточное

References

Astaf'eva N.M. Wavelet analysis: basic theory and some applications. *Physics-Uspekh (Advances in Physical Sciences)*, 1996, vol. 39, iss. 11, pp. 1085–1108.

DOI: [10.1070/PU1996v039n11ABEH000177](https://doi.org/10.1070/PU1996v039n11ABEH000177).

(Russ. ed.: Astaf'eva N.M. Veivlet-analiz: osnovy teorii i primery primeneniya. *Uspekh fizicheskikh nauk*, 1996, vol. 166, iss. 11, pp. 1145–1170. DOI: [10.3367/UFNr.0166.199611a.1145](https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611a.1145)).

Bazhenova O.I., Mart'yanova G.N. Reaktsiya stepnykh i lesostepnykh morfodinamicheskikh sistem na sovremennye izmeneniya klimata [Reaction of steppe and forest-steppe morphodynamic systems to modern climate changes]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 2000, iss. 4, pp. 23–32. (In Russian).

Chechel' A.P. Dinamika urovennogo rezhima ozer [Dynamics of the level regime of lakes]. *Sodovye ozera Zabaikal'ya [Soda lakes of the Transbaikalia]*. Novosibirsk, Publ. Nauka, 1991, pp. 12–15. (In Russian).

D'Anville J.B. *Atlas général de la Chine, de la Tartarie chinoise, et du Tibet: pour servir aux différentes descriptions et histoires de cet empire [General Atlas of China, Chinese Tartary, and Tibet: to be used for the various descriptions and histories of this empire.]*. La Haye: H. Scheurleer, 1737. (In French).

Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T., Sizikov A.I. Zonal'no-poyasnye osobennosti i rezhim ozer Zabaikal'ya [Zonal-belt features and regime of the lakes of Transbaikalia]. *Regional'nye osobennosti prirody Zabaikal'ya. Zapiski Zabaikal'skogo filiala geograficheskogo obshchestva SSSR. Vypusk 103. [Regional features of the nature of Transbaikalia. Notes of the Transbaikal branch of the USSR Geographical Society. Iss. 103.]*. Irkutsk, East Siberian Book Publishing House, 1976, pp. 41–59. (In Russian).

Frish V.A. Toreiskii eksperiment [Torey experiment]. *Priroda [Nature]*, 1972, iss. 2, pp. 60–66. (In Russian).

Забайкалье) // Доклады АН СССР. 1986. Т. 287. № 2. С. 396–400.

Магидович И.П., Магидович В.И. Очерки по истории географических открытий в 5-ти т. Том 3. Географические открытия и исследования нового времени (середина XVII–XVIII века). М.: Просвещение, 1984. 319 с.

Некипелов Н.В. Климат Юго-Восточного Забайкалья и исторический обзор чумных эпизоотий на фоне климатических изменений // Известия Иркутского государственного научно-исследовательского противочумного института Сибири и Дальнего Востока. 1957. Т. XV. С. 19–56.

Обязов В.А. Связь колебаний водности озер степной зоны Забайкалья с многолетними гидрометеорологическими изменениями на примере Торейских озер // Известия Русского географического общества. 1994. Т. 126. Вып. 5. С. 48–54.

Обязов В.А. Пространственно-временная изменчивость атмосферных осадков в Юго-Восточном Забайкалье // Известия Русского географического общества. 1996а. Т. 128. Вып. 2. С. 73–80.

Обязов В.А. Многолетние изменения температуры воздуха в Юго-Восточном Забайкалье // Известия Русского географического общества. 1996б. Т. 128. Вып. 3. С. 66–73.

Обязов В.А. Многолетние колебания стока рек Юго-Восточного Забайкалья // Известия Русского географического общества. 1998. Т. 130. Вып. 3. С. 72–78.

Обязов В.А. Изменение увлажненности бассейна верхнего Амура в XX веке // Доклады академии наук. 1999а. Т. 366. № 4. С. 547–548.

Обязов В.А. Вековые тенденции изменений климата на юго-востоке Забайкалья и в сопредельных районах Китая и Монголии // Метеорология и гидрология. 1999б. № 10. С. 33–40.

Обязов В.А. Изменения климата в междуречье Аргуни и Онона в контексте глобального потепления // Вестник Читинского

Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2004, vol. 11, iss. 5–6, pp. 561–566. DOI: [10.5194/npg-11-561-2004](https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004).

Ivanov N.N. Ob opredelenii velichiny isparyaemosti [On the determination of the values of evaporation]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva [News of the All-Union Geographical Society]*, 1954, vol. 86, iss. 2, pp. 189–196. (In Russian).

Ivanov A.V. Toreiskie ozera [Torey lakes]. *Gidrokimiya rek i ozer v usloviyakh rezko kontinental'nogo klimata [Hydrochemistry of rivers and lakes in a sharply continental climate]*. Vladivostok, Publ. of the Far East Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1977, pp. 69–102. (In Russian).

Kirilyuk V.E., Obyazov V.A., Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. Influence of climate change on vegetation and wildlife in the Daurian ecoregion. In Werger M.J.A., van Staaldunin M.A. (eds.) *Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World*. Dordrecht, Publ. Springer, 2012, pp. 397–424. DOI: [10.1007/978-94-007-3886-7_15](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3886-7_15).

Kornutova E.I. Istoriya razvitiya Toreiskikh ozer Vostochnogo Zabaikal'ya [The history of the development of the Torey lakes of the Eastern Transbaikalia]. *Mezozoiskie i kainozoiskie ozera Sibiri [Mesozoic and Cenozoic lakes of Siberia]*. Moscow, Publ. Nauka, 1968, pp. 74–88. (In Russian).

Krasnikova O.A. Karty v istorii ustanovleniya rossiisko-kitaiskoi granitsy v XVII–XVIII vv. i karta Kitaya, prislannaya Petru I imperatorom Kamkhi [Maps in the history of the establishment of the Russian-Chinese border in the 17th-18th centuries. and a map of China sent to Peter the Great by Emperor Kam-khi]. *Nauka iz pervykh ruk [Science from first hand]*, 2011, vol. 39, iss. 3, pp. 54–69. (In Russian).

Krendelev F.P. Periodichnost' napolneniya i vysykhaniya Toreiskikh ozer (Yugo-Vostochnoe Zabaikal'e) [Frequency of filling and drying of the Torey lakes (South-Eastern Transbaikalia)].

государственного университета. 2011. № 7 (74). С. 78–85.

Обязов В.А. Изменение климата и гидрологического режима рек и озер в Даурском экорегионе // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейне рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты / Сборник научных трудов Государственного природного биосферного заповедника «Даурский». Вып. 5. Чита: Экспресс-издательство, 2012. С. 24–45.

Обязов В.А. Динамика увлажненности бассейна Верхнего Амура во второй половине XX – начале XXI веков // Материалы XV совещания географов Сибири и Дальнего Востока (г. Улан-Удэ, 10–13 сентября 2015 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 127–130.

Обязов В.А., Смахтин В.К. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 1. С. 63–72. DOI: [10.35567/1999-4508-2012-1-5](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2012-1-5).

Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства в 3 ч. Часть 3 в 2 пол. Половина первая. 1772 и 1773 годы / Пер. с нем. В.Ф. Зуев. СПб.: Императорская Академия Наук, 1788. 655 с.

Потанин Г.Н. Путешествия по Монголии. М.: ОГИЗ, 1948. 484 с.

Прасолов Л.И. Южное Забайкалье: почвенно-географический очерк. Л.: Изд-во АН СССР, 1927. 422 с.

Радде Г.И. Дауро-Монгольская граница Забайкалья // Вестник Императорского русского географического общества. 1858. Ч. 22. С. 117–142.

Симонов Ю.Г. Озерный морфолитогенез в условиях Забайкалья // Вопросы озерного морфолитогенеза: материалы к Научному совещанию по проблемам озерного морфолитогенеза: сборник статей / Записки Забайкальского филиала географического общества СССР. Вып. 31. Чита: Издательство Забайкальского филиала географического общества СССР, 1969. С. 3–15.

Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1986, vol. 287, iss. 2, pp. 396–400. (In Russian).

Lehner B., Grill G. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 2013, vol. 27, iss. 15, pp. 2171–2186. DOI: [10.1002/hyp.9740](https://doi.org/10.1002/hyp.9740).

Linke S., Lehner B., Dallaire C.O., Ariwi J., Grill G., Anand M., Beames P., Burchard-Levine V., Maxwell S., Moidu H., Tan F., Thieme M. Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. *Scientific Data*, 2019, vol. 6, art. number: 283. DOI: [10.1038/s41597-019-0300-6](https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6).

Magidovich I.P., Magidovich V.I. *Ocherki po istorii geograficheskikh otkrytii v 5-ti t. Tom 3. Geograficheskie otkrytiya i issledovaniya novogo vremeni (seredina XVII–XVIII v). [Essays on the history of geographical discoveries in 5 volumes. Volume 3. Geographical discoveries and research of modern times (mid-17th–18th centuries)]*. Moscow, Publ. Education, 1984. 319 p. (In Russian).

Nekipelov N.V. Klimat Yugo-Vostochnogo Zabaikal'ya i istoricheskii obzor chumnykh epizootii na fone klimaticeskikh izmenenii [Climate of Southeastern Transbaikalia and a historical review of plague epizootics against the background of climatic changes]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo protivochumnogo instituta Sibiri i Dal'nego Vostoka [Reports of the Irkutsk state anti-plague institut of Siberia and Far East]*, 1957, vol. XV, pp. 19–56. (In Russian).

Obyazov V.A. Svyaz' kolebanii vodnosti ozer stepnoi zony Zabaikal'ya s mnogoletnimi gidrometeorologicheskimi izmeneniyami na primere Toreiskikh ozer [On connection between lakes water masses fluctuation in Transcaikalia steppe zone and long-term hydrometeorological changes of Toreiskije lakes]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [The Russian Geographical Society Herald]*, 1994, vol. 126, iss. 5, pp. 48–54. (In Russian).

- Ткаченко Е.Э., Обызов В.А. Изменения уровня Торейских озер и гнездящиеся континентальные околоводные птицы // Наземные позвоночные Даурии / Сборник научных трудов государственного природного биосферного заповедника «Даурский». Вып. 3. Чита: Поиск, 2003. С. 44–59.
- Фриш В.А. Торейский «эксперимент» // Природа. 1972. № 2. С. 60–66.
- Чечель А.П. Динамика уровня режима озер // Содовые озера Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1991. С. 12–15.
- Шамсутдинов В.Х. История геологического развития района Торейских озер в антропогене (Юго-Восточное Забайкалье): Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Чита, 1971. 23 с.
- Шамсутдинов В.Х. Особенности водного режима Торейских озер // Природа Цасучейско-Торейского заказника. Чита: Забайкальский филиал РГО СССР, 1983. С. 7–11.
- D'Anville J.B. Atlas général de la Chine, de la Tartarie chinoise, et du Tibet: pour servir aux différentes descriptions et histoires de cet empire. La Haye: H. Scheurleer, 1737.
- Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlinear Processes in Geophysics. 2004. V. 11. Iss. 5–6. Pp. 561–566. DOI: [10.5194/npg-11-561-2004](https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004).
- Kirilyuk V.E., Obyazov V.A., Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. Influence of climate change on vegetation and wildlife in the Daurian eco-region // Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World. Plant and Vegetation, vol 6. / Eds. Werger M.J.A., van Staalduin M.A. Dordrecht: Springer, 2012. Pp. 397–424. DOI: [10.1007/978-94-007-3886-7_15](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3886-7_15).
- Lehner B., Grill G. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. Iss. 15. Pp. 2171–2186. DOI: [10.1002/hyp.9740](https://doi.org/10.1002/hyp.9740).
- Linke S., Lehner B., Dallaire C.O., Ariwi J., Grill G., Anand M., Beames P., Burchard-Levine V., Maxwell S., Moidu H., Tan F., Thieme M. Global Obyazov V.A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' atmosferykh osadkov v Yugo-Vostochnom Zabaikal'e [Spatio-temporal changeability of precipitation in South-East Transbaikalia]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [The Russian Geographical Society Herald]*, 1996a, vol. 128, iss. 2, pp. 73–80. (In Russian).
- Obyazov V.A. Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozdukh v Yugo-Vostochnom Zabaikal'e [Long-term air temperature changes in the South-East Zabaikalie]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [The Russian Geographical Society Herald]*, 1996b, vol. 128, iss. 3, pp. 66–73. (In Russian).
- Obyazov V.A. Mnogoletnie kolebaniya stoka rek Yugo-Vostochnogo Zabaikal'ya [Long-term variations of rivers flow in south-east Zabaikalye]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [The Russian Geographical Society Herald]*, 1998, vol. 130, iss. 3, pp. 72–78. (In Russian).
- Obyazov V.A. Variations in the Humidity of the Upper Amur River Basin in the 20th Century. *Doklady Earth Sciences*, 1999, vol. 366, iss. 4, pp. 596–597. (Russ. ed.: *Izmenenie uvlazhnennosti basseina verkhnego Amura v XX veke. Doklady akademii nauk*, 1999a, no. 4, vol. 366, pp. 547–548).
- Obyazov V.A. Secular trends of climate changes in the southeastern Transbaikal region and in the adjacent areas of China and Mongolia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 1999b, iss. 10, pp. 23–28. (Russ. ed.: *Obyazov V.A. Vekovye tendentsii izmenenii klimata na yugo-vostoke Zabaikal'ya i v sopredel'nykh raionakh Kitaya i Mongolii. Meteorologiya i gidrologiya*, 1999b, iss. 10, pp. 33–40).
- Obyazov V.A. Izmeneniya klimata v mezhdurech'e Arguni i Onona v kontekste global'nogo potepeniya [Climate changes between the rivers Argun and Onon in the context of global warming]. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta [Chita state university journal]*, 2011, vol. 7 (74), pp. 78–85. (In Russian; abstract in English).
- Obyazov V.A. Izmenenie klimata i gidrologicheskogo rezhima rek i ozer v Daurskom ekoregione [Climate change and hydrological

hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution // Scientific Data. 2019. Vol. 6. Art. number: 283. DOI: [10.1038/s41597-019-0300-6](https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6).

regime of rivers and lakes in the Dauria ecoregion]. *Problemy adaptatsii k izmeneniyu klimata v basseine rek Daurii: ekologicheskie i vodokhozyaistvennye aspekty. Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika «Daurskii». Vyp. 5. [Adaptation to climate change in the river basins of Dauria: ecology and water management. Collection of scientific papers of Daursky Biosphere Reserve. Vol. 5].* Chita, Express Publ., 2012, pp. 24–45. (In Russian).

Obyazov V.A. Dinamika uvlazhnennosti basseina Verkhnego Amura vo vtoroi polovine XX – nachale XXI vekov [Moisture dynamics of the Upper Amur basin in the second half of the XX – early XXI centuries]. *Materialy XV soveshchaniya geografov Sibiri i Dal'nego Vostoka (g. Ulan-Ude, 10–13 sentyabrya 2015 g.) [Proceedings of the 15-th Scientific Meeting of Geographers of Siberia and the Far East (Ulan-Ude, 10–13 September, 2015)].* Irkutsk, Publishing house of the Institute of Geography named after V.B. Sochavy SB RAS, 2015, pp. 127–130. (In Russian).

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Mnogoletnii rezhim stoka rek Zabaikal'ya: analiz i fonovyi prognoz [The TransBaikalia Rivers' Many-yr Runoff Regime: Analysis and Background Forecast]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water sector of Russia: problems, technologies, management]*, 2012, iss. 1, pp. 63–72. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.35567/1999-4508-2012-1-5](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2012-1-5).

Pallas P.S. *Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs in den Jahren 1768–1773 [Journey through various provinces of the Russian Empire in the years 1768–1773]*. St. Petersburg, Gedruckt bey der Kaiserlichen Academie der Wissenschaften, 1771–1776. (Russ. ed.: Pallas P.S. *Puteshestvie po raznym provintsiyam Rossiiskogo gosudarstva v 3 ch. Ch. 3 v 2 pol. Polovina pervaya. 1772 i 1773 gody.* St. Petersburg, Publ. of Imperial Academy of Sciences, 1788. 655 p.)

Potanin G.N. *Puteshestviya po Mongolii [Travels in Mongolia]*. Moscow, Publ. OGIz, 1948. 484 p. (In Russian).

Prasolov L.I. *Yuzhnoe Zabaikal'e. Pochvenno-geograficheskii ocherk [Southern Transbaikalia. Soil-geographical sketch]*. Leningrad, Publ. of the Academy of Sciences of the USSR, 1927. 422 p. (In Russian).

Radde G.I. Dauro-Mongol'skaya granitsa Zabaikal'ya [Dauria-Mongolian border of the Transbaikalia]. *Vestnik Imperatorskogo russkogo geograficheskogo obshchestva [The Imperial Russian Geographical Society Herald]*, 1858, part 22, pp. 117–142. (In Russian).

Shamsutdinov V.Kh. *Istoriya geologicheskogo razvitiya raiona Toreiskikh ozer v antropogene (Yugo-Vostochnoe Zabaikal'e). Avtoref. diss. kand. geol.-min. nauk. [The history of the geological development of the Torey Lakes region in the anthropogen (the South-Eastern Transbaikalia)]. Ph. D. (geological and mineralogical) Thesis*. Chita, 1971. 23 p. (In Russian).

Shamsutdinov V.Kh. Osobennosti vodnogo rezhima Toreiskikh ozer [Features of the water regime of the Torey lakes]. *Priroda Tsasucheisko-Toreiskogo zakaznika [Nature of the Tsasucheysko-Torey Nature Refuge]*. Chita, 1983, pp. 7–11. (In Russian).

Simonov Yu.G. Ozernyi morfolitogenez v usloviyakh Zabaikal'ya [Lacustrine morpholithogenesis in the conditions of the Transbaikalia]. *Voprosy ozernogo morfolitogeneza. Zapiski Zabaikal'skogo filiala geograficheskogo obshchestva SSSR. Vypusk 31. [Issues of lacustrine morpholithogenesis. Notes of the Transbaikal branch of the USSR Geographical Society. Iss. 31]*. Chita, Publishing House of the Trans-Baikal Branch of the Geographical Society of the USSR, 1969, pp. 3–15. (In Russian).

Tkachenko E.E., Obyazov V.A. Izmeneniya urovnya Toreiskikh ozer i gnezdyashchiesya kontinental'nye okolovodnye ptitsy [Changes in the level of the Torey lakes and nesting continental semi-aquatic birds]. *Nazemnye pozvonochnye Daurii. Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika «Dauriskii». Vyp. 3. [Terrestrial vertebrates of Dauria. Collection of scientific papers Daurian Biosphere Reserve. Vol. 3]*. Chita, Publ. Poisk, 2003, pp. 44–59. (In Russian).

Vakhnina I.L., Obyazov V.A., Zamana L.V. Dinamika uvlazhneniya v stepnoi zone yugovostochnogo Zabaikal'ya s nachala XIX stoletiya po kernam sosny obyknovennoi [Dynamics of humidification in the steppe zone of southeastern Transbaikalia since the beginning of the 19th century evidenced by the cores of Scots pine]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2018, iss. 2, p. 28–33. (In Russian; abstract in English).

Vityazev V.V. *Veivlet-analiz vremennykh ryadov* [Wavelet analysis of time series]. St. Petersburg, Publ. of St. Petersburg State University, 2001. 58 p. (In Russian).