

УДК 551.524.3

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В СТОКЕ РЕК И ДРЕВЕСНО-КОЛЫЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЯХ

© 2024 г. И. Л. Вахнина^{a, *}, Е. В. Носкова^{a, **}, В. А. Обязов^{b, ***},
К. А. Курганович^{c, ****}, В. С. Мыглан^{d, *****}

^aИнститут природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

^bООО НПО Гидротехпроект, Валдай, Россия

^cЗабайкальский государственный университет, Чита, Россия

^dСибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

*E-mail: vahnina_il@mail.ru

**E-mail: elena-noskova-2011@mail.ru

***E-mail: obviaf@mail.ru

****E-mail: naptheodor@mail.ru

*****E-mail: v.myglan@gmail.com

Поступила в редакцию 22.03.2024 г.

После доработки 20.07.2024 г.

Принята к публикации 20.08.2024 г.

По данным 7 метеорологических станций рассмотрены основные параметры (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, индексы засушливости и увлажнения), характеризующие климатические тенденции за 1950–2021 гг. на территории Селенгинского среднегорья (Республика Бурятия), и их влияние на речной сток и радиальный прирост сосны обыкновенной. Показано существенное повышение температуры приземного воздуха, происходящее с высокой степенью согласованности на разных метеостанциях. Значение линейного тренда в среднем по территории за общий период составило 2.1°C. Наиболее интенсивный рост температуры и увеличение частоты положительных аномалий наблюдаются в последние 11 лет (2011–2021 гг.). В режиме выпадения атмосферных осадков за исследуемый период выявлено два полных цикла увлажнения (1961–1981 и 1982–2018 гг.) продолжительностью 21 и 37 лет. В настоящее время отмечается гумидная фаза, начавшаяся с 2019 г. Рост температуры приводит к усилению засушливости региона, что особенно заметно проявляется в аридные фазы. Цикличность, характерная для режима атмосферных осадков, проявляется и в многолетних изменениях стока рек. Наибольшую зависимость от атмосферных осадков имеют расходы воды р. Селенги. Однако не на всем протяжении временного ряда соблюдается синхронность их изменений. В режиме осадков фаза пониженной увлажненности в начале XXI века не столь однозначно выражена, в отличие от режима стока. Такие же различия выявлены в режиме стока разных рек, что обусловлено расположением их водосборов. Водосборы только двух рек — Джиды и Оронгоя — находятся полностью в Селенгинском среднегорье. Большая часть водосборов рек Селенга и Чикой расположены за пределами исследуемой территории. Это обстоятельство определяет в большей степени хорошую согласованность многолетних изменений расходов воды этих рек и отличия от режима стока р. Оронгоя и особенно р. Джиды. Динамика ширины годичных колец деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на территории Селенгинского среднегорья, отражает изменение ее гидротермического режима за текущий и предшествующий периоды вегетации. Выражено

влияние атмосферных осадков, так сумма осадков за май-июнь объясняет около 40% прироста для остаточной (без автокорреляционной составляющей) древесно-кольцевой хронологии.

Ключевые слова: климат, гидрология, дендрохронология, водосборная территория р. Селенги, Байкальский регион, Юго-Западное Забайкалье

DOI: 10.31857/S0869607124020014, **EDN:** MРНРВС

ВВЕДЕНИЕ

Климат Селенгинского среднегорья резкоконтинентальный, с большими суточными и годовыми перепадами температур воздуха, продолжительной суровой зимой, жарким коротким летом и неравномерным внутригодовым выпадением атмосферных осадков [16, 31]. Особенностью рельефа территории является чередование низких и средневысотных хребтов (1000–1500 м над ур. м.) и межгорных впадин, ориентированных в северо-восточном направлении [19], которые вносят существенные коррективы в гидротермический фон, перераспределяя количество тепла и влаги по формам и элементам рельефа, а соответственно, и распределение растительного покрова, представленного здесь степными и лесостепными ландшафтами [4]. В административном отношении исследуемая территория относится к Республике Бурятия.

Анализ климатических характеристик, выполненный для рассматриваемой территории ранее, показал достоверное увеличение температуры приземного воздуха с разной скоростью потепления в отдельные периоды, а также наличие значимого тренда в уменьшении количества атмосферных осадков и присущую режиму увлажнения территории цикличность продолжительностью около 30 лет [8, 9, 18, 20, 24, 32, 33]. Но перечисленные работы посвящены не непосредственно изучению климата Селенгинского среднегорья, а выполнены либо в рамках исследований в смежных областях (гидрология, дендрохронология, экология и т.п.), либо содержат данные о динамике климатических параметров, обобщенные для более обширных физико-географических территорий. Таким образом, работы, посвященные изучению климата Селенгинского среднегорья, практически отсутствуют.

Селенгинское среднегорье хорошо изучено в гидрологическом отношении, что в значительной мере обусловлено тем, что его территория представляет собой российскую часть водосборного бассейна р. Селенги, от которой напрямую зависит водность оз. Байкал [11]. Разносторонним исследованиям гидрологического аспекта климатических изменений Байкальского региона, в том числе в бассейне р. Селенги, за последние 10–15 лет посвящены публикации Е. Ж. Гармаева с соавторами [7, 9, 11 и др.]. Отдельно можно выделить пласт работ, посвященных анализу отклика древесно-кольцевых хронологий на гидрометеорологические параметры, свидетельствующий о том, что динамика радиального прироста достоверно отражает изменения гидротермического режима на территории Селенгинского среднегорья и позволяет получить ретроспективные сведения об изменении климата и стока рек за период более продолжительный, чем ряды инструментальных наблюдений [2, 12, 14, 15 и др.].

Масштабная закладка дендроклиматических станций на территории Западного Забайкалья была начата с конца XX века [1]. На сегодняшний день они представляют собой плотную сеть, пригодную для выполнения гидрологических и климатических реконструкций региона [3, 8, 11, 28, 29].

Анализ динамики метеорологических факторов в условиях современных климатических тенденций приобретает все бóльшую актуальность. Учитывая недостаток такой информации для рассматриваемой территории и необходимость ее регулярного обновления, а также значимость Селенгинского среднегорья для Байкальского региона в целом и озера Байкал в частности, исследования, посвященные изменению климата региона и его влиянию на гидрологический режим и древесную растительность, представляют значительный научный и практический интерес.

Цель работы: анализ современных климатических условий на территории Селенгинского среднегорья и их влияние на речной сток и радиальный прирост сосны обыкновенной.

В задачи исследования входили:

1. Характеристика гидротермических параметров на территории исследования (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, индексы засушливости и увлажнения).
2. Анализ согласованности многолетних изменений стока рек бассейна р. Селенги и их связь с режимом атмосферных осадков.
3. Оценка климатического и гидрологического откликов ширины годовичных колец сосны обыкновенной.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для описания гидроклиматических условий использованы данные наблюдений Федерального государственного бюджетного учреждения «Забайкальское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ЗабУГМС) 7 метеорологических станций (Бичура, Кяхта, Мухоршибирь, Новоселенгинск, Санага, Улан-Удэ, Цакир) за 72-летний период (1950–2021 гг.) и 4 гидрологических постов: р. Селенга — рзд. Мостовой (1934–2021 гг.), р. Чикой — с. Поворот (1936–2021 гг.), р. Оронгой — Оронгойский мост (1951–2014 гг.), р. Джида — с. Джида (1952–2021 гг.) (рис. 1).

Оценка влияния климатических параметров на радиальный прирост и его согласованность со стоком рек выполнена по длительной древесно-кольцевой хронологии (ДКХ) Виг (425 лет, 1595–2019 гг.), построенной по ширине годовичных колец сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на 9 участках, заложенных в лесостепной зоне Селенгинского среднегорья [30].

Анализ приземной температуры воздуха и количества атмосферных осадков выполнен с использованием рядов наблюдений за их среднемесячными и годовыми значениями. Суммы средних суточных температур воздуха выше 10°C и параметры, характеризующие режим увлажнения (гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), индекс засушливости А.Д. Педея (Si), коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (КУ)) были рассчитаны с использованием среднесуточных и среднемесячных данных о температуре воздуха, количестве атмосферных осадков, относительной влажности воздуха и дефиците насыщения [6].

Аномалии климатических параметров рассчитаны как отклонения от среднего за базовый период, рекомендованный ВМО, с 1991 по 2020 гг. [21].

Классификация годовых и сезонных данных температуры воздуха и атмосферных осадков выполнена с использованием метода Варда, в качестве меры расстояния выбрана евклидова метрика.

Для определения параметров линейных трендов многолетних изменений применялся метод наименьших квадратов. Анализ их достоверности выполнен с использованием t -критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

С целью удаления высокочастотных колебаний и сглаживания временных рядов производилось скользящее осреднение.

Климатический отклик радиального прироста рассчитан за период с 1950 по 2019 гг. с использованием месячных и годовых значений климатических параметров, рассматриваемых в работе метеорологических станций, за текущий и предшествующий годы с помощью вычисления коэффициентов корреляции Пирсона со стандартной (Bvg_std) и остаточной (Bvg_res) ДКХ. Остаточная хронология получена с помощью авторегрессионного выбеливания стандартной хронологии, содержащей зависимость прироста текущего года от условий предыдущих лет (автокорреляция).

Оценка согласованности стандартной и остаточной ДКХ Bvg с годовым стоком рек Селенгинского среднегорья выполнена за используемые в работе периоды гидрологических наблюдений.

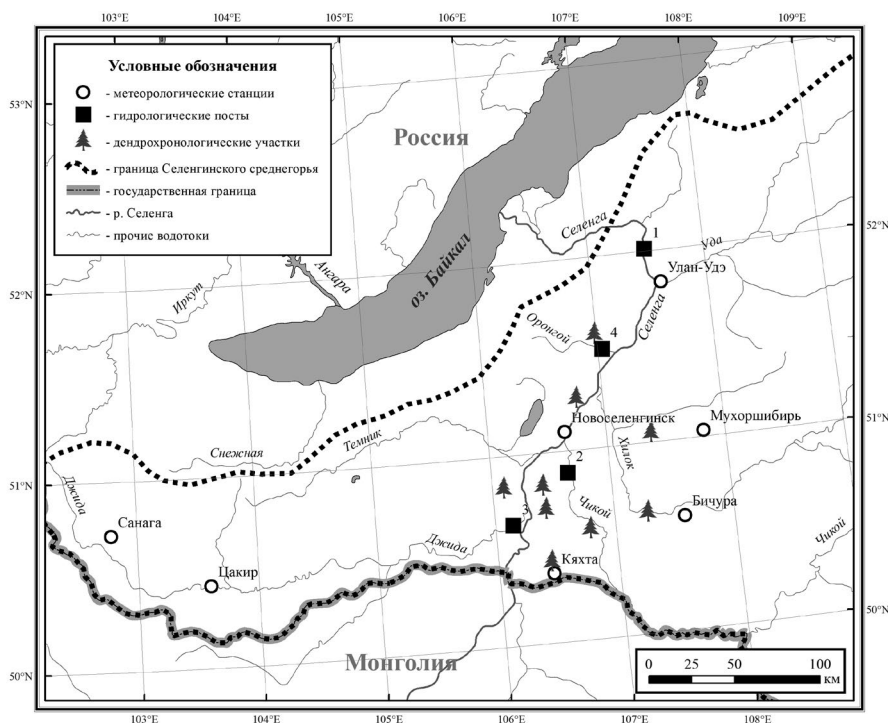


Рис. 1. Территория исследования и расположение на ней метеорологических станций, гидрологических постов (1 — р. Селенга—рзд. Мостовой; 2 — р.Чикой—с. Поворот; 3 — р. Джиды—с. Джиды; 4 — р. Оронгой—Оронгойский мост) и дендрохронологических участков.

Fig. 1. The study area and the location of meteorological stations and hydrological posts on it (1 — Selenga river—Mostovoy station; 2 — Chikoy river—Povorot village; 3 — Dzhida river—Dzhida village; 4 — Orongoy river—Orongoi Bridge) and dendrochronological sites.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Межгодовые изменения температуры воздуха на исследуемых метеостанциях Селенгинского среднегорья за период с 1950 по 2021 гг. происходят с высокой степенью согласованности. Коэффициент корреляции между рядами значений среднегодовой температуры воздуха изменяется от 0.81 (между Улан-Удэ и Санагой) до 0.96 (между Кяхтой и Мухоршибирью). Коэффициенты корреляции между рядами значений среднесезонной температуры воздуха зимой варьируют от 0.63 до 0.94, весной — от 0.90 до 0.98, летом — от 0.88 до 0.98, осенью — от 0.76 до 0.96. По результатам кластерного анализа среднегодовой температуры воздуха выделяется две группы, в одну из которых входят станции Санага и Цакир, в другую — остальные 5 станций. Аналогичная закономерность характерна для летних и осенних температур. Зимой в отдельный кластер выделяются Улан-Удэ и Мухоршибирь, а по изменению значений температур в весенний период все 7 метеостанций достоверно входят в один кластер.

За 1950–2021 гг. среднегодовая температура приземного воздуха на отдельных метеостанциях изменялась от -4.5°C в Санаге до 0.4°C в Кяхте (табл. 1), достигая в среднем по территории -0.6°C . В Санаге минимальные значения температуры характерны также для всех сезонов года. Из рассматриваемых метеостанций наиболее теплые зимы, весны и осени наблюдаются в Кяхте, лета — в Новоселенгинске. Внутригодовое распределение температуры Селенгинского среднегорья соответствуют умеренным и высоким широтам планеты. Средняя температура воздуха самого холодного месяца (январь) на метеостанциях не опускается ниже -30.0°C и в среднем по территории составляет -24.5°C , а самого теплого (июль) колеблется около $15.0\text{--}20.0^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1. Средние значения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и их линейные тренды ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) на метеорологических станциях Селенгинского среднегорья за 1950–2021 гг.

Table 1. Average air temperature values ($^{\circ}\text{C}$) and their linear trends ($^{\circ}\text{C}/10$ years) at meteorological stations of the Selenga midlands for 1950–2021

Метеостанция	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Бичура	$-1.3/0.31$	$-22.6/2.32$	$1.2/0.44$	$17.1/0.22$	$-0.9/0.22$
Кяхта	$0.4/0.28$	$-18.2/1.96$	$2.1/0.42$	$17.5/0.19$	$0.3/0.22$
Мухоршибирь	$-1.3/0.36$	$-21.2/2.77$	$0.6/0.44$	$16.6/0.24$	$-1.3/0.35$
Новоселенгинск	$-0.6/0.25$	$-22.4/1.77$	$1.7/0.39$	$18.4/0.20$	$-0.3/0.14$
Санага	$-4.5/0.29$	$-25.6/1.96$	$-1.2/0.43$	$13.4/0.20$	$-4.4/0.23$
Улан-Удэ	$-0.4/0.35$	$-20.8/2.35$	$1.4/0.48$	$17.9/0.28$	$-0.4/0.26$
Цакир	$-2.8/0.25$	$-22.9/1.41$	$0.2/0.37$	$14.5/0.21$	$-3.1/0.20$

Сумма суточных температур воздуха выше 10°C на территории Селенгинского среднегорья в среднем за рассматриваемый период составляет 1800°C и колеблется от 2137°C в Новоселенгинске до 1489°C в Санаге.

За 1950–2021 гг. в среднем по территории Селенгинского среднегорья самым холодным, когда температура воздуха существенно отличалась от ее среднегодовое значения, был 1957 г. (-3.0°C), а в 2007 г. на всех станциях среднегодовая температура была существенно выше среднего (более $+2\sigma$ — на $2.0\text{--}2.3^{\circ}\text{C}$).

Если рассматривать сезонные отклонения, то самые холодные, когда температура воздуха опускалась существенно ниже многолетнего среднего в среднем по территории, были зимы в 1957 (-25.8°C) и 1969 гг. (-26.8°C) и осень 1961 г. (-3.8°C). Температура воздуха существенно выше среднего отмечалась зимой 2002 г. и 2007 г. (-18.5°C в каждом году), весной 1997 и 2020 гг. (4.2 и 4.0°C соответственно) и летом 2002 и 2015 гг. (18.8 и 18.9°C соответственно).

Сумма активных температур воздуха за период исследования существенно ниже среднего в среднем по территории фиксировалась в 1957 г. (1478°C), а в 2000 (2184°C), 2002 (2178°C), 2007 (2161°C) и 2015 гг. (2177°C) это значение было существенно выше среднего.

Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха показывает, что на исследуемой территории появление положительных аномалий, рассчитанных как отклонения от среднего за базовый период 1991–2020 гг., наблюдается только начиная с 1990 г. (рис. 2). Если до 1989 г. все температурные аномалии были отрицательными, то за последние 32 года (с 1990 по 2021 гг.) отрицательные аномалии составляют менее 50%, а с 2014 г. на протяжении последних 8 лет фиксируются только положительные аномалии.

Анализ изменений температуры приземного воздуха показывает, что за 1950–2021 гг. среднегодовая температура воздуха по данным 7 рассматриваемых метеостанций в среднем увеличилась на $0.30^{\circ}\text{C}/10$ лет или на 2.1°C за 72-летний период (см. табл. 1). Скорость роста среднегодовой температуры на отдельных станциях колебалась от 0.25 в Цакире и Новоселенгинске до $0.36^{\circ}\text{C}/10$ лет в Мухоршибири. Если рассматривать динамику по сезонам года, то наибольшие значения линейного тренда как для всех станций, так и для территории исследования в целом за 1950–2021 гг. характерны для зимы ($2.13^{\circ}\text{C}/10$ лет в среднем по территории исследования),

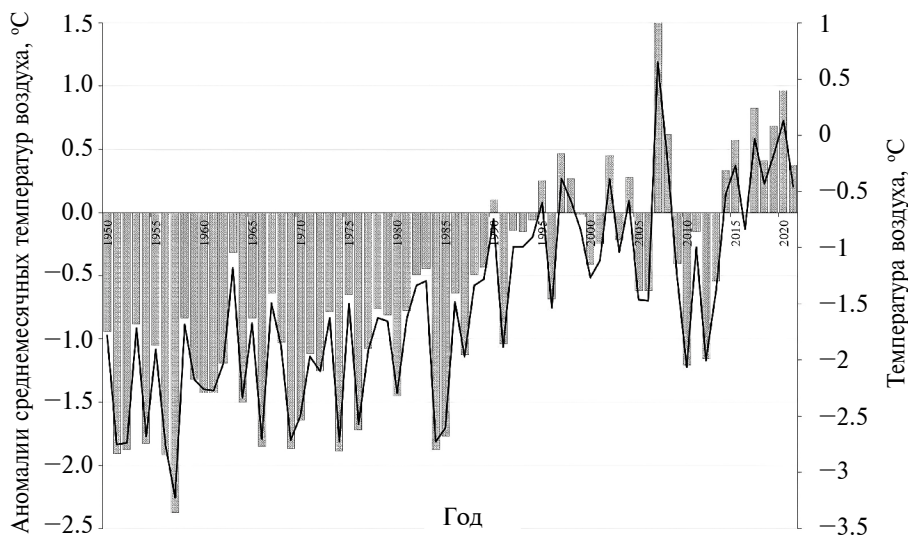


Рис. 2. Среднегодовые аномалии среднемесячных значений температуры воздуха (гистограммы) и среднегодовая температура воздуха (линия) на территории Селенгинского среднегорья за 1950–2021 гг.

Fig. 2. Average annual anomalies of average monthly air temperature values (histograms) and average annual air temperature (line) in the Selenga midlands for 1950–2021.

наименьшие — для лета ($0.21^{\circ}\text{C}/10$ лет), за исключением Новоселенгинска и Цакира, где температура меньше всего выросла осенью. Все линейные тренды статистически достоверны при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

За 72-летний период исследования в среднем по Селенгинскому среднегорью потепление происходило неравномерно. С помощью анализа разности между средними значениями среднегодовой температуры воздуха по пятилетиям было выделено несколько временных интервалов, отличающихся темпами роста температуры воздуха (см. рис. 2). Первое десятилетие XXI века характеризовалось снижением среднегодовой температуры воздуха, а за 2011–2021 гг. скорость ее роста составила $1.39^{\circ}\text{C}/10$ лет, что более чем в 1.8 раза превышает значение тренда за 1976–1995 гг. ($0.77^{\circ}\text{C}/10$ лет). До 1975 г. температура воздуха повышалась незначительно ($0.15^{\circ}\text{C}/10$ лет). Статистически достоверные при уровне значимости $\alpha=5\%$ линейные тренды отмечаются только в 1976–1995 и 2011–2021 гг.

Межгодовые изменения количества атмосферных осадков на отдельных метеостанциях происходят менее согласованно, чем температуры воздуха. Коэффициент корреляции между рядами значений среднегодовой суммы осадков воздуха составляет от 0.25 (между Кяхтой и Цакиром) до 0.83 (между Мухоршибирью и Бичурой). Коэффициенты корреляции между рядами значений сумм атмосферных осадков зимой варьируют от -0.03 до 0.82, весной — от 0.16 до 0.80, летом — от 0.28 до 0.83, осенью — от 0.16 до 0.68.

Результаты кластерного анализа свидетельствуют о том, что рассматриваемые метеостанции достоверно можно объединить в одну группу как по среднегодовым их значениям, так и по сезонным (весна, лето, осень), исключение составляют лишь зимние осадки, по которым выделяется два кластера (в отдельную группу входят метеостанции Улан-Удэ и Мухоршибирь).

Среднегодовое количество атмосферных осадков за 1950–2021 гг. на метеостанциях Селенгинского среднегорья составляло от 223 мм в Новоселенгинске до 416 мм в Цакире (табл. 2), достигая в среднем по территории 374 мм. При этом, если сравнивать сезонные суммы осадков, то их максимальные значения наблюдаются зимой в Улан-Удэ, весной — в Кяхте, летом — в Цакире, осенью — в Мухоршибири. Минимальное количество атмосферных осадков зимой отмечается в Санаге, весной,

Таблица 2. Средние значения атмосферных осадков на метеорологических станциях Селенгинского среднегорья за 1950–2021 гг., мм

Table 2. Average values of atmospheric precipitation at meteorological stations of the Selenga midlands for 1950–2021, mm

Метеостанция	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Бичура	328	4.0	11.8	73.8	19.8
Кяхта	341	4.1	15.5	73.4	20.5
Мухоршибирь	355	6.2	13.6	75.9	22.5
Новоселенгинск	223	2.8	6.0	54.0	11.5
Санага	394	2.7	13.4	96.4	18.9
Улан-Удэ	256	6.6	8.1	55.8	14.8
Цакир	416	3.0	14.1	101.0	20.4

летом и осенью — в Новоселенгинске. В годовом распределении осадков на май—сентябрь приходится 77% годовой суммы атмосферных осадков, а на июль—август — 46%. В зимний период на исследуемой территории выпадает всего 3% осадков.

Анализ отклонений атмосферных осадков от многолетнего среднего за 1950—2021 гг. показывает, что в среднем по территории существенно меньше среднего осадков выпадало в 1980 г. (223 мм), а самый влажный в среднем по территории был 1959 г., когда средняя сумма годовых осадков составила 441 мм (рис. 3).

Как было показано ранее [5, 24], основной вклад в межгодовую изменчивость годовых сумм атмосферных осадков на исследуемой территории вносит цикличность, при этом наибольшую значимость имеют ритмы продолжительностью около 30 лет. В связи с этим при анализе динамики осадков некорректно выявлять трендовую составляющую, знак которой будет зависеть от того, какая фаза цикла будет последней.

Анализ аномальных значений атмосферных осадков, рассчитанных как отклонения от среднего за 1991—2020 гг. для Селенгинского среднегорья, подтверждает наличие чередования гумидных и аридных фаз в режиме увлажнения (см. рис. 3). За период с 1950 по 2021 гг. с помощью анализа лет с аномальными значениями и интегральной разностной кривой можно выделить два полных цикла, влажные фазы которых приходятся на 1961—1973 (13 лет) и 1982—2001 гг. (20 лет), сухие — на 1974—1981 (8 лет) и 2002—2018 гг. (17 лет). Учитывая длительность фаз, продолжительность циклов составила 21 и 37 лет. В настоящее время отмечается влажный период.

Коэффициенты засушливости и увлажнения являются интегральной характеристикой температуры воздуха и атмосферных осадков. В соответствии с грациями

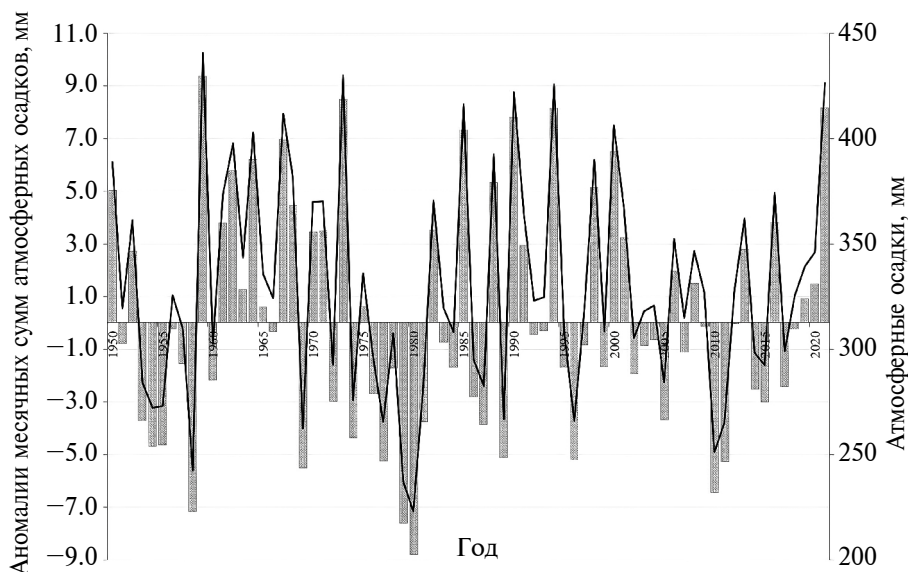


Рис. 3. Годовые аномалии месячных значений суммы атмосферных осадков (гистограммы) и многолетние изменения годовой суммы атмосферных осадков (сплошная линия) на территории Селенгинского среднегорья за 1950—2021 гг.

Fig. 3. Annual anomalies of monthly values of the amount of atmospheric precipitation (histograms) and long-term changes in the annual amount of atmospheric precipitation (solid line) in the territory of the Selenga midlands for 1950—2021.

гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова за 1950–2021 гг. в среднем по 7 используемым в работе метеорологическим станциям территория Селенгинского среднегорья характеризуется достаточной (оптимальной) влагообеспеченностью ($ГТК = 1.31$). Если рассматривать по отдельным метеостанциям, аналогичные со средним по территории значения влагообеспеченности характерны для Бичуры и Мухоршибири. В Кяхте, Новоселенгинске и Улан-Удэ влагообеспеченность недостаточная, в Цакире — повышенная, а в Санаге отмечается переувлажнение.

По значениям индекса засушливости А.Д. Педя как в среднем по территории, так и для отдельных метеостанций за общий период отмечаются нормальные условия увлажнения ($Si = 0.00$), а по коэффициенту увлажнения Высоцкого-Иванова — полувлажные (семигумидные) ($KU = 0.59$). В Новоселенгинске в соответствии со значением KU условия сухие, в Бичуре, Кяхте и Улан-Удэ — полусухие, в Мухоршибири, Санаге и Цакире — полувлажные.

Существенно ниже среднего значения $ГТК$ были в 1958 г. ($ГТК = 0.72$, слабая засуха), Si в 1985 г. ($Si = -1.44$, влажные условия). Существенно выше среднего были значения $ГТК$ в 1959 г. ($ГТК = 1.90$, избыточная влагообеспеченность), 1973 г. ($ГТК = 1.90$, избыточная влагообеспеченность), Si в 2002 ($Si = 1.68$, слабая засуха) и 2015 гг. ($Si = 1.44$, слабая засуха), KU в 1959 г. ($KU = 0.84$, полувлажные условия), в 1973 ($KU = 0.83$, полувлажные условия), 1985 и 2021 ($KU = 0.82$ за каждый год).

Анализ многолетних изменений годового стока рек бассейна р. Селенги свидетельствует о том, что на территории Селенгинского среднегорья наибольшая согласованность отмечается между реками Селенга и Чикой, характеризующаяся коэффициентом корреляции 0.83 (табл. 3). Теснота связи изменений стока р. Селенги со стоком других рек и стока других рек между собой существенно ниже. Статистическая достоверность коэффициента корреляции между рядами стока рек Чикоя и Джиды не подтверждается при 5%-ном уровне значимости.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между рядами годового стока рек

Table 3. Correlation coefficients between series of annual river flow

Гидрологические посты	р. Селенга— рзд. Мостовой	р. Чикой— с. Поворот	р. Оронгой— Оронгойский мост	р. Джиды— с. Джиды
р. Селенга—рзд. Мостовой	1			
р. Чикой—с. Поворот	0.83	1		
р. Оронгой—Оронгойский мост	0.58	0.53	1	
р. Джиды—с. Джиды	0.42	0.18	0.41	1

Режим стока рассматриваемых рек в отдельные временные интервалы существенно отличается. Если расходы воды р. Селенги и р. Чикоя на всем протяжении совместных наблюдений изменяются практически синхронно (рис. 4а), то рек Джиды и Оронгой проявляют согласованность со стоком р. Селенги только в 1970–1990-е годы (рис. 4б и 4в).

По типу питания рассматриваемые реки относятся преимущественно к рекам с резко выраженным преобладанием дождевого стока [27]. Доля дождевого стока рек Джиды и Чикой превышает 70%. В питании р. Оронгой дождевые и талые воды принимают примерно равное участие.

Зависимость стока рассматриваемых рек от режима атмосферных осадков, осредненных по территории Селенгинского среднегорья, характеризуется коэффициентами корреляции от 0.53 для р. Джиды до 0.70 до р. Селенги (табл. 4).

Однако высокая степень зависимости стока р. Селенги от годовых сумм осадков отмечалась лишь до 1996 г. (рис. 5). В последние 25 лет она существенно снизилась. В период с 1950 по 1996 гг. коэффициент корреляции между рядами стока р. Селенги и атмосферных осадков составил 0.80, а в последующие годы — 0.67.

Предварительный расчет климатического отклика древесно-кольцевой хронологии ДКХ Виг, выполненный с данными используемых в работе 7 метеостанций, показал, что наиболее низкие и в большинстве случаев незначимые коэффициенты корреляции были получены для удаленных на 200–300 км от участков отбора образцов станций Санага и Цакир, расположенных в Джидинской котловине, где отбор образцов не осуществлялся. В связи с этим в дальнейшем анализе были использованы климатические данные, усредненные по 5 ближайшим (в пределах 7–120 км) к участкам взятия дендрохронологических образцов станциям: Бичура, Кяхта, Мухоршибирь, Новоселенгинск, Санагу и Улан-Удэ.

Результаты корреляционного анализа показали: ширина годичных колец имеет слабую обратную зависимость от температуры воздуха предшествующего и текущего сезонов вегетации. Для стандартной хронологии наиболее высокие значения коэффициентов корреляции ($r = -0.34$) получены со средними температурами за июнь–июль предшествующего года, для остаточных — со средними температурами воздуха за май–сентябрь текущего года ($r = -0.29$).

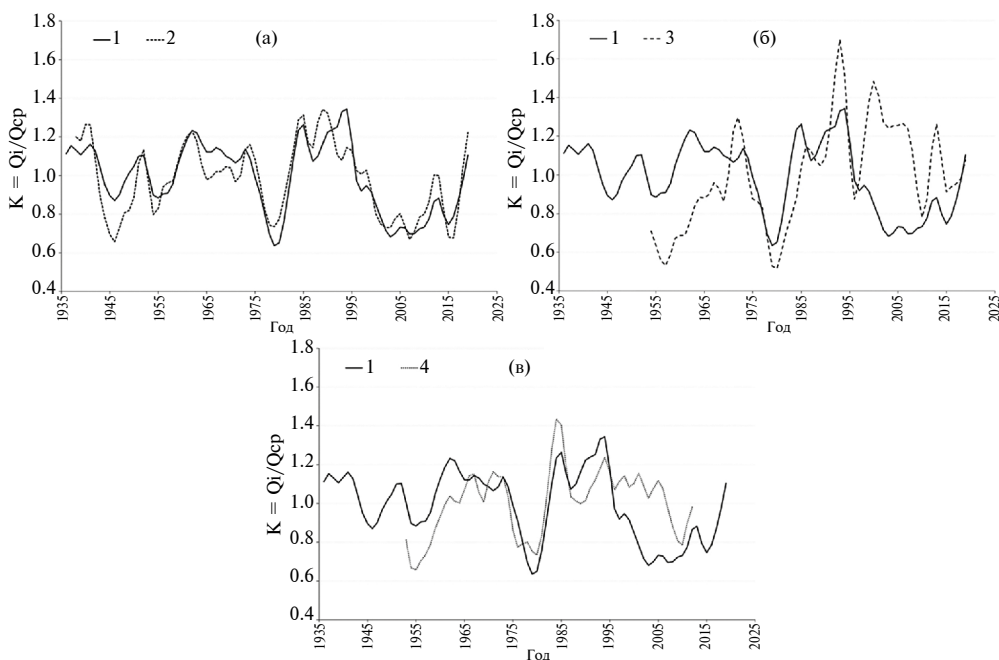


Рис. 4. Сравнение многолетних изменений годового стока р. Селенги со стоком р. Чикой (а), р. Джиды (б) и р. Оронгой (в), сглаженных с помощью пятилетнего скользящего осреднения (1 — р. Селенга—рзд. Мостовой; 2 — р.Чикой—с. Поворот; 3 — р. Джиды—с. Джиды; 4 — р. Оронгой—Оронгойский мост).

Fig. 4. Comparison of long-term changes in annual river flow of Selenga with river flow of Chikoya (a), Jida (b) and Orongoy (c) smoothed using five-year moving averaging (1 — Selenga river—Mostovoy s.; 2 — Chikoy river—Povorot village; 3 — Dzhida river—Dzhida village; 4 — Orongoy river—Orongoi bridge).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между рядами годового стока рек и годовых сумм атмосферных осадков по данным метеорологических станций Селенгинского среднегорья

Table 4. Correlation coefficients between series of annual river runoff and annual amounts of atmospheric precipitation according to data from meteorological stations of the Selenga midlands

Гидрологические посты	Метеорологические станции							
	Бичура	Кяхта	Мухоршибирь	Новоселенгинск	Улан-Удэ	Санага	Цакир	Средняя
р. Селенга—рзд. Мостовой	0.62	0.52	0.65	0.53	0.58	0.35	0.30	0.70
р. Чикой—с. Поворот	0.59	0.49	0.61	0.41	0.52	0.20	0.10	0.57
р. Оронгой—Оронгойский мост	0.55	0.47	0.55	0.62	0.59	0.33	0.25	0.63
р. Джида—с. Джида	0.28	0.34	0.37	0.24	0.27	0.70	0.59	0.53

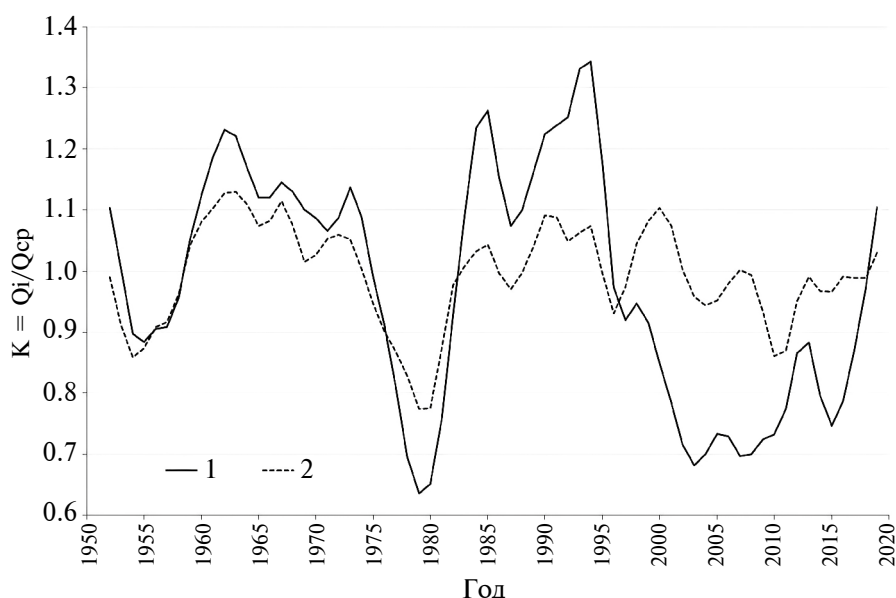


Рис. 5. Многолетние изменения годового стока р. Селенги у рзд. Мостового (1) и годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Селенгинского среднегорья (2), сглаженных с помощью пятилетнего скользящего осреднения.

Fig. 5. Long-term changes in the annual river flow of Selengi near the rzd. Mostovoy (1) and annual amounts of atmospheric precipitation averaged over the territory of the Selenga midlands (2), smoothed using five-year moving averaging.

Отклик ДКХ Bur на изменение атмосферных осадков более выражен. Связь с осадками текущего года лучше прослеживается для остаточной ДКХ. Значимые коэффициенты корреляции получены между Bur_res и суммой осадков в мае ($r = 0.30$) и июне ($r = 0.52$), а также с суммами осадков за разные месяцы с мая по сентябрь с наиболее высокими значениями коэффициентов с их суммами за май–июнь ($r = 0.60$), май–июль ($r = 0.55$) и май–август ($r = 0.52$). Для ДКХ Bur_std также проявляется связь с осадками, выпавшими в текущем году, но она слабее: например, для июня она составила 0.47. Наиболее высокие коэффициенты корреляции получены между стандартной хронологией и суммой осадков за июнь–сентябрь ($r = 0.56$) и июль–сентябрь ($r = 0.56$) предшествующего года.

В связи с тем, что на ширину годичных колец деревьев, произрастающих в лесостепной зоне Селенгинского среднегорья, оказывают влияние и температура приземного воздуха, и атмосферные осадки, в качестве их интегральных характеристик был проанализирован отклик ДКХ Bur на индексы засушливости и увлажнения. Наибольшие значения коэффициентов корреляции Пирсона для ГТК составили 0.45 между ДКХ Bur_res и ГТК за май–июнь, 0.47 — между ДКХ Bur_std и ГТК за июль–сентябрь предыдущего года; для Si: -0.50 — между ДКХ Bur_res и Si за май–июль, -0.52 — между ДКХ Bur_std и Si за июль–сентябрь предыдущего года. Для КУ и сумм активных температур коэффициенты корреляции с ДКХ Bur достигали 0.55 – 0.57 (между Bur_std и $\Sigma T > 10$ в текущем году и между Bur_std и КУ в текущем и предшествующем году соответственно).

При использовании в анализе климатического отклика рядов, сглаженных 5-летним скользящим осреднением, теснота связи значительно возрастает, достигая для рассматриваемых климатических параметров от -0.52 между ДКХ Bur_res и температурой в июне текущего года до 0.90 как между ДКХ Bur_res и КУ, так и между ДКХ Bur_std и КУ предшествующего года.

Корреляционный анализ, выполненный между шириной годичных колец ДКХ Bur и стоком рек за периоды используемых в работе гидрологических данных, продолжительность которых от 64 до 85 лет, свидетельствует о различной степени их согласованности (табл. 6). Наибольшее значение коэффициентов корреляции ДКХ Bur имеет с рядом годового стока р. Оронгой, наименьшее — р. Джиды. Незначимый коэффициент корреляции отмечен только между Bur_res и стоком р. Джиды.

ОБСУЖДЕНИЕ

В период с 1950 по 2021 гг. на территории Селенгинского среднегорья произошли существенные климатические изменения, характеризующиеся ростом приземной температуры воздуха, линейный тренд которой составил 2.1°C ($0.30^{\circ}\text{C}/10$ лет) и был обеспечен преимущественно температурами зимних месяцев. При этом потепление не происходило равномерно. За 72 рассматриваемых года можно выделить несколько периодов с разной интенсивностью увеличения среднегодовой температуры воздуха, среди которых в первое десятилетие XXI века скорость ее роста даже имела тенденцию к снижению. Это проявлялось не только для Байкальского, но и для других регионов Сибири [17, 34, 35]. В последние 11 лет (2011–2021 гг.) наблюдался максимальный с середины прошлого века положительный линейный тренд в динамике среднегодовых температур. Изменения температуры в XXI веке характеризуются значительным увеличением частоты возникновения положительных аномалий и появлением наиболее существенных, выходящих за два среднеквадратических

Таблица 6. Коэффициенты корреляции между древесно-кольцевой хронологией Bur (Bur_std/Bur_res) и рядами годового стока рек**Table 6.** Correlation coefficients between the tree-ring chronology Bur (Bur_std/Bur_res) and annual river flow series

Гидрологические посты			
р. Селенга— рзд. Мостовой	р. Чикой— с. Поворот	р. Оронгой— Оронгойский мост	р. Джиды—с. Джиды
0.64/0.57	0.49/0.53	0.65/0.70	0.33/0.23

отклонения положительных аномалий, которые не отмечались ранее. Если самые низкие среднегодовые температуры воздуха и суммы температур выше 10°C на территории Селенгинского среднегорья пришлись на 1957 г., то наиболее высокие значения среднегодовой температуры воздуха фиксировались в 2007 г., а суммы температур выше 10°C — в 2000, 2002, 2007 и 2015 гг. Подобная временная закономерность прослеживается и в распределении аномалий среднесезонных температур, когда все отрицательные аномалии приходятся на XX век, а положительные — на XXI.

Для режима выпадения атмосферных осадков на территории Селенгинского среднегорья характерна показанная рядом авторов цикличность [3, 24, 33]. В их колебаниях со второй половины XX века в настоящем исследовании было выявлено два полных внутривековых цикла: с 1961 по 1981 гг. и с 1982 по 2018 гг. длительностью 21 и 37 лет соответственно. С 2019 г. на территории исследования наблюдается влажная фаза цикла. В современный период можно отметить тенденцию к удлинению фаз увлажнения, но делать выводы об этом пока еще рано.

Ввиду того, что при расчете коэффициентов засушливости и увлажнения одной из основных составляющих являются атмосферные осадки, то в многолетнем ходе этих параметров также прослеживается цикличность, свойственная в целом режиму увлажнения на территории исследования.

Рост температуры приводит к повышению испаряемости, что вызывает значительное снижение увлажненности территории в засушливые периоды. В последнюю засушливую фазу цикла 2002–2018 гг. это хорошо прослеживается по динамике индекса засушливости Д.А. Педя. С начала 2000-х годов в среднем по территории выделяется ряд лет (2000, 2002, 2007, 2010, 2015, 2017 гг.) с засушливыми условиями (слабая засуха), что не отмечалось в предыдущую аридную фазу 1974–1981 гг., когда значения S_i не выходили за пределы нормальных условий увлажнения. Усиление аридизации на территории Забайкалья также было выявлено ранее по более длительным наблюдениям с привлечением косвенных источников информации [5, 26].

В целом пространственные изменения рассматриваемых метеорологических параметров на исследуемых станциях происходят достаточно согласованно, что подтверждает результаты климатического районирования, выполненного ранее [22], когда территория исследования была выделена в Юго-Западный район Забайкалья.

В то же время в распределении гидротермических характеристик по территории Селенгинского среднегорья отмечается их пространственная неоднородность, обусловленная особенностями рельефа (ориентация горных хребтов с юго-запада на северо-восток, котловинный рельеф) [18], определяющими перенос воздушных масс. Так, для Санаги и Цакира, расположенных на западной окраине Селенгинского среднегорья, среднегодовая температура воздуха ниже на 3°C , а осадков за год

выпадает больше на 35% по сравнению с их значениями на других метеостанциях, используемых в работе.

Из принятых к исследованию рек только водосборы двух из них — Джиды и Оронгоя — находятся полностью в Селенгинском среднегорье. Большая часть водосборов рек Селенга и Чикой расположены за пределами исследуемой территории. Это обстоятельство определяет в большей степени полученную в результате корреляционного анализа (табл. 3) хорошую согласованность многолетних изменений расходов воды этих рек и отличия от режима стока р. Оронгоя и особенно р. Джиды. Кроме того, как показано в [11], долина р. Джиды, огороженная высокими хребтами, является обособленной территорией, что обуславливает формирование отличного от соседних водосборов режима увлажнения и, соответственно, речного стока. На сток р. Чикоя, по мнению Е.Ж. Гармаева с соавторами [11], существенное влияние оказывают тихоокеанские воздушные массы, проникающие в верховья ее водосбора. На асинхронность стока правобережных и левобережных притоков р. Селенги указано также в [32].

Тем не менее, как показано на рис. 4, на отдельных отрезках временного ряда изменения годового стока рек Селенги, Джиды и Оронгоя происходят синхронно. Наибольшие отличия отмечаются в маловодную фазу с середины 1990-х до второй половины 2020-х гг. Маловодье выражено на реках Селенге и Чикое и на других правобережных притоках р. Селенги, и в бассейне Верхнего Амура [9–11, 25, 32]. В то же время на левобережных притоках маловодный период выражен слабее, а на р. Джиде сток даже увеличился после 1995 г. [32].

Для многолетних изменений стока рек Забайкалья, в том числе бассейна р. Селенги, характерна цикличность [9, 23, 25, 32], обусловленная режимом атмосферных осадков. Годовой сток р. Селенги достаточно хорошо коррелирует с годовыми суммами осадков, осредненными по территории Селенгинского среднегорья (табл. 4). Однако, как и в случае с оценкой согласованности стока рек, не на всем протяжении временного ряда соблюдается синхронность их изменений (рис. 5). В режиме осадков фаза пониженной увлажненности в начале XXI века не столь однозначно выражена в отличие от режима стока.

Результаты климатического отклика древесно-кольцевой хронологии Виг свидетельствуют о влиянии гидротермического режима на ширину годовичных колец сосны обыкновенной, произрастающей в лесостепной зоне Селенгинского среднегорья. Прослеживается следующая закономерность: ширина годовичных колец текущего года определяется преимущественно климатическими условиями первой половины сезона вегетации, а условия второй половины сезона вегетации значимо влияют на формирование годовичного кольца в следующем году. Данный вывод согласуется с результатами, полученными ранее для исследуемой территории А.В. Деминой с соавторами [13–15]. Значения коэффициентов корреляции между ДКХ и индексами засухливости и увлажнения свидетельствуют о том, что, хотя температуры и оказывают некоторое влияние на размеры радиального прироста, большее значение имеют именно осадки, выпавшие за период вегетации. Величиной суммы осадков за май–июнь текущего года объясняется около 40% изменчивости прироста.

Поскольку древесно-кольцевая хронология Виг отражает увлажненность на территории Селенгинского среднегорья, а сток рек Селенги и Чикоя — в верхних частях их водосборов, этим можно объяснить относительно слабую связь их многолетних изменений (табл. 6). Наиболее вероятной причиной еще более слабой связи колебаний стока р. Джиды с шириной годовичных колец деревьев является отмечаемая обо-

собленность ее бассейна при отсутствии на нем дендрохронологических участков. Хорошую связь с ДКХ Виг, характеризующуюся коэффициентами корреляции 0.65 и 0.70 для стандартной и остаточной хронологий соответственно, имеет сток только р. Оронгой, в многолетних изменениях которого слабо выражен последний мало-водный период. Ее водосбор находится на территории, хорошо освещенной дендрохронологическими данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные климатические условия Селенгинского среднегорья характеризуются значимым увеличением температуры приземного воздуха и частоты возникновения ее положительных аномалий. Цикличность продолжительностью около 30 лет в режиме выпадения осадков, характерная для территории, обуславливает режим ее увлажнения, а потепление приводит к тому, что в засушливые периоды возрастает риск возникновения засух. Хотя пространственный анализ происходящих изменений свидетельствует об их согласованности на рассматриваемой территории, в тоже время климатические условия на западной окраине Селенгинского среднегорья (Джидинская котловина) отличаются от центральной части. Изменение гидротермических условий находит отклик в многолетних колебаниях стока рек бассейна р. Селенги и динамике радиального прироста. Радиальный прирост может быть использован для реконструкции гидроклиматических условий исследуемой территории. Результаты исследований могут быть полезны при проведении исследований в смежных областях.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания по теме «Механизмы обеспечения экономической устойчивости и экологической безопасности в новой модели развития регионов Востока РФ в условиях трансграничных отношений и глобальных вызовов XXI в.» (№ гос. регистрации 121032200126-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С. Г. Изменчивость режима увлажнения степной зоны Западного Забайкалья по геоэкологическим данным (пространственно-временной анализ): автореф. дис. ... канд. географ. наук. Улан-Удэ, 2001. 23 с.
2. Андреев С. Г., Ваганов Е. А., Наурзбаев М. М., Тулохонов А. К. Регистрация годичными кольцами сосны многолетних колебаний атмосферных осадков, стока реки Селенги и уровня озера Байкал // Доклады Академии наук. 1999. Т. 368. № 3. С. 400–403.
3. Андреев С. Г., Гармаев Е. Ж., Аюржанаев А. А. и др. Реконструкция водности рек и исторические хроники экстремальных природных явлений Байкальской Азии // Научное обозрение. 2016. № 5. С. 35–38.
4. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). Москва: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1967. 176 с.
5. 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.
6. Галимова Р. Г., Переведенцев Ю. П., Яманаев Г. А. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 3. С. 29–39.
7. Гармаев Е. Ж., Евстигнеев В. М., Христофоров А. В., Шайбонов Б. Б. Сток рек Бурятии. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского государственного университета, 2000. 189 с.
8. Гармаев Е. Ж., Пьянков С. В., Шихов А. Н. и др. Картографирование современных изменений климата в бассейне реки Селенга // Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 62–74. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-2-62-74>

9. Гармаев Е. Ж., Христофоров А. В., Цыдыпов Б. З. и др. Влияние глобального изменения климата на водный сток трансграничной реки Селенги и общие принципы использования ее водных ресурсов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 2. С. 80–94. https://doi.org/10.35567/19994508_2022_2_7
10. Гармаев Е. Ж., Цыдыпов Б. З. Уровенный режим оз. Байкал: состояние и перспективы в новых условиях регламентации // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2019. № 1. С. 37–44. <https://doi.org/10.18101/2587-7143-2019-1-37-44>
11. Гармаев Е. Ж., Цыдыпов Б. З., Дабаева Д. Б. и др. Уровенный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 2. С. 4–18.
12. Глызин А. В., Размахнина Т. Б., Корсунов В. М. Дендрохронологические исследования в контактной зоне «лес-степь» как источник информации о ее динамике // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 79–83.
13. Демина А. В. Особенности эколого-климатического отклика радиального прироста сосны обыкновенной в двух дефицитных по увлажнению регионах Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2022. 23 с.
14. Демина А. В., Белокопытова Л. В., Андреев С. Г. и др. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 5. С. 553–566.
15. Демина А. В., Жирнова Д. Ф., Белокопытова Л. В. и др. Детализация климатического отклика анатомических параметров древесины и фенологии ксилогенеза сосны обыкновенной в лесостепях Юга Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15. № 2. С. 183–201.
16. Жуков В. М. Климат // Предбайкалье и Забайкалье. М.: Наука, 1965. С. 91–126.
17. Ипполитов И. И., Логинов С. В., Харюткина Е. В., Морару Е. И. Изменчивость климата Азиатской территории России в 1975–2012 гг. // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 13–21.
18. Максютובה Е. В., Кичигина Н. В., Воропай Н. Н. и др. Тенденции гидроклиматических изменений на байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 72–80.
19. Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. 359 с.
20. Носкова Е. В., Обязов В. А., Вахнина И. Л. Изменения приземной температуры воздуха на Юге Сибири и их взаимосвязь с крупномасштабными циркуляционными процессами в атмосфере // Географический вестник. 2021. № 2(57). С. 75–84. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-75-84>
21. О переходе на новые климатические нормы: официальный сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [2022]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/28963/> (дата обращения: 09.01.2024).
22. Обязов В. А. Изменения современного климата и оценка их последствий для природных и природно-антропогенных систем Забайкалья: автореф. дис. ... доктора географ. наук. Казань, 2014. 38 с.
23. Обязов В. А. Тенденции многолетних изменений речного стока в Забайкалье в многоводные и маловодные периоды // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 6. С. 713–716. <https://doi.org/10.7868/S08869565213180205>
24. Обязов В. А. Региональный отклик приземной температуры воздуха на глобальные изменения (на примере Забайкалья) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 461. № 4. С. 459–462.
25. 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.
26. Птицын А. Б., Решетова С. А., Бабич В. В. и др. Хронология палеоклимата и тенденции аридизации в Забайкалье за последние 1900 лет // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 85–89.
27. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 3. Бассейн оз. Байкал (Забайкалье). Л.: Гидрометеиздат, 1973. 400 с.
28. Свидетельство о регистрации базы данных 2020621902 Российская Федерация. Реконструкция водного стока рек бассейна оз. Байкал по дендроклиматическим данным: № 2020621768: заявл. 09.10.2020: опубли. 16.10.2020 / Андреев С. Г., Аюржанаев А. А., Гармаев Е. Ж.

29. Свидетельство о регистрации базы данных 2020621864 Российская Федерация. Реконструкция индекса суровости засухи Палмера PDSI в бассейне оз. Байкал на основе дендрохронологических данных: № 2020621770: заявл. 09.10.2020: опубл. 16.10.2020 / Аюржанаев А. А., Андреев С. Г., Гармаев Е. Ж.
30. Свидетельство о регистрации базы данных 2022621012 Российская Федерация. Длительная древесно-кольцевая хронология по сосне обыкновенной для проведения судебно-ботанических (дендрохронологических) экспертиз и датировки архитектурных построек в южных и центральных районах Республики Бурятия: № 2022620855: заявл. 20.04.2022: опубл. 05.05.2022 / Вахнина И. Л., Мыглан В. С., Жарников З. Ю., Тайник А. В., Баринов В. В.
31. *Фадеева Н. В.* Селенгинское среднегорье (природные условия и районирование). Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1963. 169 с.
32. *Фролова Н. Л., Белякова П. А., Григорьев В. Ю.* и др. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 243–255.
<https://doi.org/10.7868/S0321059617030105>
33. *Цыдыпов Б. З., Гармаев Е. Ж., Гомбоев Б. О.* и др. Влияние изменения климата на экосистемные услуги лесных земель юга Восточной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 82–97. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010125>.
34. *Чередыко Н. Н., Журавлев Г. Г., Кусков А. И.* Оценка современных климатических тенденций и синхронности их проявления в Алтайском регионе // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 379. С. 200–208.
35. *Черенкова Е. А.* Региональные особенности изменения летней температуры в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI века // Известия Российской академии наук. Серия: Географическая. 2016. № 4. С. 52–61. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-4-52-61>

Modern Climate Changes in the Selenga Mid-mountain Region and their Reflection in Rivers Runnow and Tree Ring Chronologies

I. L. Vakhnina^{a, *}, E. V. Noskova^{a, **}, V. A. Obyazov^{b, ***},
K. A. Kurganovich^{c, ****}, V. S. Myglan^{d, *****}

^a*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia*

^b*LLC NPO Gidrotekhproekt, Valdai, Russia*

^c*Transbaikal State University, Chita, Russia*

^d*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

*E-mail: vahnina_il@mail.ru

**E-mail: elena-noskova-2011@mail.ru

***E-mail: obviaf@mail.ru

****E-mail: naptheodor@mail.ru

*****E-mail: v.myglan@gmail.com

Abstract – Based on data from 7 meteorological stations, the main parameters (surface air temperature, precipitation, aridity and humidification indices) characterizing climate trends for 1950–2021 were considered on the territory of the Selenga midlands (The Republic of Buryatia), and their influence on river flow and radial growth of Scots pine. A significant increase in surface air temperature is shown, occurring with a high degree of consistency at different weather stations. The average value of the linear trend for the territory for the general period was 2.1°C. The most intense increase in temperature and increase in the frequency of above-zero anomalies has been observed in the last 11 years (2011–2021). In the precipitation regime during the study period, two complete moistening cycles were identified (1961–1981 and 1982–2018) lasting 21 and 37 years. Currently, there is a humid phase, which began in 2019. An increase in temperature leads to increased aridity of the region, which is especially noticeable during the arid phases. The cyclicity characteristic of the precipitation regime is also mani-

fested in long-term changes in river flow. The river's water flows are most dependent on precipitation. Selenga. However, the synchronicity of their changes is not observed throughout the entire time series. In the precipitation regime, the phase of reduced moisture at the beginning of the 21st century is not as clearly expressed as in the runoff regime. The same differences were revealed in the flow regime of different rivers, which is due to the location of their catchment areas. The watersheds of only two rivers — Dzhida and Orongoy — are located entirely in the Selenga midlands. Most of the catchments of the Selenga and Chikoy rivers are located outside the study area. This circumstance determines to a large extent the good consistency of long-term changes in the water flows of these rivers and the differences from the river flow regime. Orongoya and especially r. Jids. The dynamics of the width of the annual rings of Scots pine trees growing in the Selenga midlands reflects changes in its hydrothermal regime during the current and previous growing seasons. The influence of atmospheric precipitation is pronounced, so the amount of precipitation for May–June explains about 40% of the increase for the residual (without autocorrelation component) tree-ring chronology.

Keywords: climate, hydrology, dendrochronology, river catchment area. Selenga, Baikal region, Southwestern Transbaikalia

REFERENCES

1. Andreyev S. G. *Izmenchivost' rezhima uvlazhneniya stepnoy zony Zapadnogo Zabaykal'ya po geokologicheskim dannym (prostranstvenno-vremennoy analiz): avtoref. dis. ... kand. geograf. nauk.* Ulan-Ude, 2001. 23 s.
2. Andreyev S. G., Vaganov Ye. A., Naurzbayev M. M., Tulokhonov A. K. Registratsiya godichnymi kol'tsami sosny mnogoletnikh kolebaniy atmosferynykh osadkov, stoka reki Selengi i urovnya ozera Baykal // *Doklady Akademii nauk.* 1999. T. 368. № 3. S. 400–403.
3. Andreyev S. G., Garmayev Ye. Zh., Ayurzhanayev A. A. i dr. Rekonstruktsiya vodnosti rek i istoricheskiye khroniki ekstremal'nykh prirodnykh yavleniy Baykal'skoy Azii // *Nauchnoye obozreniye.* 2016. № 5. S. 35–38.
4. Atlas Zabaykal'ya (Buryatskaya ASSR i Chitinskaya oblast'). Moskva: Glavnoye upravleniye geodezii i kartografii pri sovete ministrov SSSR, 1967. 176 s.
5. Vakhnina I. L., Obyazov V. A., Zamana L. V. Dinamika uvlazhneniya v stepnoy zone Yugo-Vostochnogo Zabaykal'ya s nachala XIX stoletiya po kernam sosny obyknovennoy // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya.* 2018. № 2. S. 28–33.
6. Galimova R. G., Perevedentsev Yu. P., Yamanayev G. A. Agroklimaticheskiye resursy Respubliki Bashkortostan // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya.* 2019. № 3. S. 29–39.
7. Garmayev Ye. Zh., Yevstigneyev V. M., Khristoforov A. V., Shaybonov B. B. Stok rek Buryatii. Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. 189 s.
8. Garmayev Ye. Zh., P'yankov S. V., Shikhov A. N. i dr. Kartografirovaniye sovremennykh izmeneniy klimata v bassejne reki Selenga // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2022. № 2. S. 62–74. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-2-62-74>
9. Garmayev Ye. Zh., Khristoforov A. Mv., Tsydypov B. Z. i dr. Vliyaniye global'nogo izmeneniya klimata na vodnyy stok transgranichnoy reki Selengi i obshchiye printsipy ispol'zovaniya yeye vodnykh resursov // *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye.* 2022. № 2. S. 80–94. https://doi.org/10.35567/19994508_2022_2_7
10. Garmayev Ye. Zh., Tsydypov B. Z. Urovennyy rezhim oz. Baykal: sostoyaniye i perspektivy v novykh usloviyakh reglamentatsii // *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, geografiya.* 2019. № 1. S. 37–44. <https://doi.org/10.18101/2587-7143-2019-1-37-44>
11. Garmayev Ye. Zh., Tsydypov B. Z., Dabayeva D. B. i dr. Urovennyy rezhim ozera Baykal: retrospektiva i sovremennoye sostoyaniye // *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye.* 2017. № 2. S. 4–18.
12. Glyzin A. V., Razmakhnina T. B., Korsunov V. M. Dendrokronologicheskiye issledovaniya v kontaktnoy zone «les-step» kak istochnik informatsii o yeye dinamike // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal.* 2005. № 1. S. 79–83.

13. Demina A.V. Osobennosti ekologo-klimaticheskogo otklika radial'nogo prirosta sosny obyknovennoy v dvukh defitsitnykh po uvlazhneniyu regionakh Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Voronezh, 2022. 23 s.
14. Demina A.V., Belokopytova L.V., Andreyev S.G. i dr. Dinamika radial'nogo prirosta sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) kak indikator gidrotermicheskogo rezhima lesostepi Zapadnogo Zabaykal'ya // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2017. T. 24. № 5. S. 553–566.
15. Demina A.V., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V. i dr. Detalizatsiya klimaticheskogo otklika anatomicheskikh parametrov drevesiny i fenologii ksilogeneza sosny obyknovennoy v lesostepyakh Yuga Sibiri // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2022. T. 15. № 2. S. 183–201.
16. Zhukov V.M. *Klimat // Predbaykal'ye i Zabaykal'ye*. M.: Nauka, 1965. S. 91–126.
17. Ippolitov I.I., Loginov S.V., Kharyutkina Ye.V., Moraru Ye. *Izmenchivost' klimata Aziatskoy territorii Rossii v 1975–2012 gg.* // *Geografiya i prirodnyye resursy*. 2014. № 4. S. 13–21.
18. Maksyutova Ye.V., Kichigina N.V., Voropay N.N. i dr. Tendentsii gidroklimaticheskikh izmeneniy na baykal'skoy prirodnoy territorii // *Geografiya i prirodnyye resursy*. 2012. № 4. S. 72–80.
19. Nagor'ya Pribaykal'ya i Zabaykal'ya. M.: Nauka, 1974. 359 s.
20. Noskova Ye.V., Obyazov V.A., Vakhnina I.L. *Izmeneniya prizemnoy temperatury vozdukha na Yuge Sibiri i ikh vzaimosvyaz' s krupnomasshtabnymi tsirkulyatsionnymi protsessami v atmosfere* // *Geograficheskiy vestnik*. 2021. № 2(57). S. 75–84. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-75-84>
21. O perekhode na novyye klimaticheskiye normy: ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy. [2022]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/28963/> (data obrashcheniya: 09.01.2024).
22. Obyazov V.A. *Izmeneniya sovremennogo klimata i otsenka ikh posledstviy dlya prirodnykh i prirodno-antropogennykh sistem Zabaykal'ya*: avtoref. dis. ... doktora geograf. Nauk. Kazan', 2014. 38 s.
23. Obyazov V.A. Tendentsii mnogoletnikh izmeneniy rechnogo stoka v Zabaykal'ye v mnogovodnyye i malovodnyye periody // *Doklady Akademii nauk*. 2013. T. 450. № 6. S. 713–716. <https://doi.org/10.7868/S0869565213180205>
24. Obyazov V.A. Regional'nyy otklik prizemnoy temperatury vozdukha na global'nyye izmeneniya (na primere Zabaykal'ya) // *Doklady Akademii nauk*. 2015. T. 461. № 4. S. 459–462.
25. Obyazov V.A., Smakhtin V.K. *Mногоletniy rezhim stoka rek Zabaykal'ya: analiz i fonovyy prognoz* // *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*. 2012. № 1. S. 63–72.
26. Ptitsyn A.B., Reshetova S.A., Babich V.V. i dr. *Khronologiya paleoklimata i tendentsii aridizatsii v Zabaykal'ye za posledniye 1900 let* // *Geografiya i prirodnyye resursy*. 2010. № 2. S. 85–89.
27. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Tom 16. Angaro-Yeniseyskiy rayon*. Vyp. 3. Basseyn oz. Baykal (Zabaykal'ye). L.: Gidrometeoizdat, 1973. 400 s.
28. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh 2020621902 Rossiyskaya Federatsiya. Rekonstruktsiya vodnogo stoka rek basseyna oz. Baykal po dendroklimaticheskim dannym: № 2020621768: zayavl. 09.10.2020: opubl. 16.10.2020 / Andreyev S.G., Ayurzhanyayev A.A., Garmayev Ye. Zh.
29. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh 2020621864 Rossiyskaya Federatsiya. Rekonstruktsiya indeksa surovosti zasukhi Palmera PDSI v basseyne oz. Baykal na osnove dendrokhronologicheskikh dannykh: № 2020621770: zayavl. 09.10.2020: opubl. 16.10.2020 / Ayurzhanyayev A.A., Andreyev S.G., Garmayev Ye. Zh.
30. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh 2022621012 Rossiyskaya Federatsiya. Dlitel'naya drevesno-kol'tsevaya khronologiya po sosne obyknovennoy dlya provedeniya sudebno-botanicheskikh (dendrokhronologicheskikh) ekspertiz i datirovki arkhitekturnykh postroyek v yuzhnykh i tsentral'nykh rayonakh Respubliki Buryatiya: № 2022620855: zayavl. 20.04.2022: opubl. 05.05.2022 / Vakhnina I.L., Myglan V.S., Zharnikov Z. Yu., Taynik A.V., Barinov V.V.
31. Fadeyeva N.V. *Selenginskoye srednegor'ye (prirodnyye usloviya i rayonirovaniye)*. Ulan-Ude: Buryatskoye knizhnoye izd-vo, 1963. 169 s.
32. Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigor'yev V.Yu. i dr. *Mногоletniye kolebaniya stoka rek v basseyne Selengi* // *Vodnyye resursy*. 2017. T. 44. № 3. S. 243–255. <https://doi.org/10.7868/S0321059617030105>
33. Tsydyupov B.Z., Garmayev Ye. Zh., Gomboyev B.O. i dr. *Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemnyye uslugi lesnykh zemel' yuga Vostochnoy Sibiri* // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2022. T. 86. № 1. S. 82–97. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010125>

34. Chered'ko N.N., Zhuravlev G.G., Kuskov A.I. Otsenka sovremennykh klimaticheskikh tendentsiy i sinkhronnosti ikh proyavleniya v Altayskom regione // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 379. S. 200–208.

35. Cherenkova Ye.A. Regional'nyye osobennosti izmeneniya letney temperatury v Zapadnoy Sibiri vo vtoroy polovine XX – nachale XXI veka // Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya: Geograficheskaya. 2016. № 4. S. 52–61. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-4-52-61>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вахнина Ирина Леонидовна, кандидат биологических наук, с.н.с. лаборатории географии и регионального природопользования Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук.
vahnina_il@mail.ru

Vahnina Irina Leonidovna, PhD in Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Geography and Regional Nature Management of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. vahnina_il@mail.ru

Носкова Елена Викторовна, кандидат географических наук, н.с. лаборатории географии и регионального природопользования ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН». elena-noskova-2011@mail.ru

Noskova Elena Viktorovna, PhD in Geographical Sciences, Researcher of the Laboratory of Geography and Regional Nature Management of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. elena-noskova-2011@mail.ru

Обязов Виктор Афанасьевич, доктор географических наук, технический директор ООО НПО Гидротехпроект, obviaf@mail.ru

Obyazov Viktor Afanasyevich, Doctor of Geographic Sciences, Technical Director NPO Gidrotekhproekt LLC, obviaf@mail.ru

Курганович Константин Анатольевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности Забайкальского государственного университета. naptheodor@mail.ru

Kurganovich Konstantin Anatolyevich, PhD in Technical Sciences, Head of the Department of Water Management, Environmental and Industrial Safety of the Transbaikal State University. naptheodor@mail.ru

Мыглан Владимир Станиславович, доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского федерального университета. v.myglan@gmail.com

Myglan Vladimir Stanislavovich, Doctor of historical sciences, leading Researcher of the Siberian Federal University. v.myglan@gmail.com