


## Многолетние изменения основных составляющих приходной части водного баланса крупнейших водохранилищ азиатской территории России

А.В. Измайлова  , Т.В. Фуксова, К.А. Дубровская

 ianna64@mail.ru

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Необходимость оценки водного баланса крупнейших водохранилищ России и его многолетней изменчивости определяется ключевой ролью, которую эти водные объекты играют в социально-экономическом развитии страны. Выполнена оценка многолетних изменений составляющих приходной части водного баланса восьми крупнейших водохранилищ азиатской территории России на основе анализа многолетних рядов их годовых и месячных значений за период с момента заполнения до 2020 г. **Методы.** Исследование основывается на анализе режимных данных (годовых и месячных) о водных балансах, подготовленных управлениями Росгидромета и опубликованных в изданиях государственного водного кадастра. Несмотря на наличие невязок водного баланса, превышающих в отдельные периоды допустимую погрешность расчета водного баланса, ряды основных приходных составляющих баланса характеризуются допустимой точностью для анализа динамики их годовых и месячных значений. **Результаты.** Выявлено связанное с климатическим фактором изменение внутригодового распределения объемов естественных составляющих водного баланса, наиболее выраженное в последние десятилетия. В холодный период года наблюдается приращение доли бокового притока ко всем рассмотренным водохранилищам, для большинства из них фиксируется прохождение половодья в более ранние сроки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водохранилище, водный баланс, многолетние и внутригодовые изменения притока и осадков.


**Финансирование:** Работа выполнена в рамках НИТР Росгидромета по теме 2.2.2 «Разработка методов оценки и прогнозирования состояния водных объектов по количественным характеристикам, подготовка новых видов гидрологической информационной продукции».

**Для цитирования:** Измайлова А.В., Фуксова Т.В., Дубровская К.А. Многолетние изменения основных составляющих приходной части водного баланса крупнейших водохранилищ азиатской территории России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 3. С. 36-48. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_3\_3.

Дата поступления 15.03.2023.

### LONG-TERM CHANGES IN THE MAIN COMPONENTS OF THE INCOMING PART OF THE WATER BALANCE OF THE LARGEST RESERVOIRS IN THE ASIAN TERRITORY OF RUSSIA

Anna V. Izmailova  , Tatiana V. Fuksova, Kristina A. Dubrovskaya

 ianna64@mail.ru

State Hydrological Institute, St.-Petersburg, Russia

© Измайлова А.В., Фуксова Т.В., Дубровская К.А., 2023

**ABSTRACT**

**Relevance.** The long-term variability of the incoming part of the components of the water balance of the 8 largest reservoirs in the Asian territory of Russia on the basis of regime data (annual and monthly) published from the moment they were filled to the 2020 has been assessed.

**Methods.** The work is based on analysis of the regime data (annual and monthly) provided by Rosgidromet and published in editions of the State Water Cadaster. In spite of some discrepancies in water balance, sometimes exceeding permissible error in the water balance calculations, the series of the main input components of the balance possess the necessary precision to analyze their annual and monthly values' dynamics. **Results.** A climate-related change in the intra-annual distribution of the volumes of natural components of the water balance, the most pronounced in recent decades, has been revealed. In the cold period of the year, an increase in the share of lateral inflow to all the considered reservoirs is observed, for most of them the passage of floods is recorded at an earlier date.

**Keywords:** reservoirs, water balance, long-term and intra-annual changes in runoff and precipitation values.

**Financing:** The work has been carried out within the Rosgidromet NITR according theme 2.2.2 "Development of methods for assessment and forecasting of water bodies state in terms of their quantitative characteristics, as well as preparation of new types of hydro/ecological information output".

**For citation:** Izmailova A.V., Fuksova T.V., Dubrovskaya K.A. Long-term changes in the main components of the incoming part of the water balance of the largest reservoirs in the Asian territory of Russia. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 3. P. 36-48. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_3\_3.

Received 15.03.2023.

**ВВЕДЕНИЕ**

Актуальность оценок водного баланса крупнейших водохранилищ России и многолетней изменчивости его отдельных элементов определяется той ключевой ролью, которую данные водные объекты играют в водохозяйственном и энергетическом комплексе страны. Накопленные к настоящему времени материалы по режимным (годовым и месячным) водным балансам позволяют провести анализ изменений их естественных составляющих.

В настоящее время в России насчитывается 328 водохранилищ объемом свыше 10 млн м<sup>3</sup>, из которых 49 расположено в азиатской части страны<sup>1</sup>. С начала эксплуатации наиболее значимых водохранилищ территориальными управлениями Росгидромета составляются и публикуются годовые и месячные (режимные) водные балансы. Однако последнее масштабное обобщение данных по водным ресурсам водохранилищ и их многолетней изменчивости было проведено В.С. Вуглинским в монографии «Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР», подготовленной на материалах наблюдений до 1980 г. [1]. Накопленные за прошедший с тех пор сорокалетний период данные позволяют не только проанализировать точность оценок основных составляющих водного баланса крупнейших водохранилищ, но и провести ретроспективную оценку их многолетней динамики с анализом флуктуаций, происходящих на фоне изменений климата.

<sup>1</sup> Справочник водохранилищ СССР. Ч. 1. Водоохранилища объемом 10 млн. м<sup>3</sup> и более. М.: Союзводпроект, 1988. 316 с.

В рамках исследования, результаты которого представлены в статье, были проанализированы водные балансы восьми крупнейших водохранилищ азиатской территории России за период с момента их заполнения до 2020 г., т. е. за временной период, характеризующийся разной степенью климатических изменений.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на основе анализа режимных данных (годовых и месячных) о водных балансах, подготовленных и опубликованных управлениями Росгидромета в изданиях государственного водного кадастра<sup>2,3</sup>. Рассмотрены водные балансы восьми крупнейших водохранилищ азиатской территории России, в т. ч. пяти водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада (Иркутское, Братское, Усть-Илимское, Саяно-Шушенское и Красноярское), характеризующихся рядами наблюдений длительностью от 40 до 65 лет, а также Новосибирского водохранилища на р. Оби (наблюдения ведутся более 60 лет), Зейского и Вилюйского водохранилищ (с рядами, превышающими 40-летний период).

Иркутское водохранилище создано плотиной Иркутской ГЭС, возведение которой было начато в 1950-е годы, и включает речную часть на р. Ангаре и озеро Байкал, уровень которого в результате строительства плотины был поднят на 1,4 м. Полезный объем речной и озерной частей – 0,07 км<sup>3</sup> и 23 615,4 км<sup>3</sup> соответственно (табл. 1). Начало составления водного баланса – 1956 г. Следующее в каскаде – Братское водохранилище – является самым крупным по объему воды в России и вторым в мире. Плотина Братской ГЭС построена в 1961 г., заполнение водохранилища закончилось в 1967 г., водный баланс составляется с 1968 г. Расположенное ниже Усть-Илимское водохранилище заполнялось с 1974 по 1977 гг., данные по водному балансу публикуются с 1975 г. В каскаде Енисейских водохранилищ верхним является Саяно-Шушенское, образованное в 1980–1987 гг., начало публикации данных по его водному балансу – 1981 г. Расположенное ниже Красноярское водохранилище создано раньше – в 1967–1970 гг., начало публикации данных по водному балансу – 1972 г.

Самым крупным водохранилищем Западной Сибири является Новосибирское, созданное на р. Оби в 1957–1959 гг., начало публикации данных по водному балансу – 1959 г. Зейское водохранилище образовано на р. Зее в Амурской обл. в 1974–1977 гг., водный баланс ведется с 1978 г. Вилюйское водохранили-

<sup>2</sup> Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып.10. Ч. 2. Новосибирск: Западно-Сибирское УГМС, 1978–2020; Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып.12. Ч. 2. Красноярск: Средне-Сибирское УГМС, 1978–2020; Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып.13. Ч. 2. Иркутск: Иркутское УГМС, 1978–2020; Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып.16. Ч. 2. Якутск: Якутское УГМС, 1978–2020; Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып.19. Ч. 2. Хабаровск: Дальневосточное УГМС, 1978–2020.

<sup>3</sup> Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах. Т. 6, Вып. 0-3. Новосибирск: Западно-Сибирское УГМС, 1960–1977; Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах. Т. 7. Вып. 0-1, 2-4, 5-8. Иркутск: Иркутское УГМС, 1962–1977; Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах. Т. 8. Вып. 0-7. Якутск: Якутское УГМС, 1974–1977.

ще создавалось в 1965–1972 гг. на р. Вилюй на территории Якутии, на границе с Иркутской обл., данные по водному балансу публикуются с 1974 г.

**Таблица 1.** Основные морфометрические характеристики водохранилищ  
Table 1. Main morphometric characteristics of the reservoirs

Водохранилище	НПУ, м БС	УМО, м БС	Полный объем при НПУ, км <sup>3</sup>
Иркутское	456	455	23 615
Братское	402	392	169,3
Усть-Илимское	296	294,5	58,9
Саяно-Шушенское	540	500	31,34
Красноярское	243	225	63
Новосибирское	113,5	108,5	8,8
Зейское	315	299	68,42
Вилюйское	244	234	35,88

Публикуемые месячные и годовые водные балансы водохранилищ характеризуются значительными невязками за отдельные периоды, поэтому была проведена предварительная проверка рядов составляющих баланса, согласно которой для дальнейшего анализа наиболее корректными признаны данные по притоку и осадкам на поверхность водохранилищ. Установлено, что даже при наличии невязок водного баланса, превышающих за отдельные периоды допустимую погрешность расчета водного баланса, они обладают достаточной точностью для анализа динамики годовых и месячных значений. Наименее достоверными и требующими дополнительной проверки (в т. ч. сравнения с данными испарительной сети) являются ряды испарения с водной поверхности, которые для большинства перечисленных водохранилищ характеризуются нестационарностью и наличием значительных выбросов отдельных значений как на месячном, так и на годовом уровне. В связи с этим в рамках данной статьи рассматривается многолетняя динамика основных составляющих лишь приходной части водного баланса – бокового и основного притоков, а также осадков на водное зеркало.

Принято считать, что глобальные изменения климата отражаются на естественных составляющих водного баланса уже с начала 1980-х годов<sup>4</sup> [2–4]. Однако многие крупнейшие азиатские водохранилища были построены в 1970-е годы. В связи с этим для выявления изменений, произошедших с элементами водного баланса водохранилищ, сопоставление их характеристик проведено как с учетом осреднения их значений по десятилетним интервалам, так и за два сопоставимых подпериода, разделенные 1990 г. При этом предполагалось, что для азиатской части России в 1980-е годы выраженность изменений раз-

<sup>4</sup> Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. М.: Росгидромет, 2008. 207 с.; Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 30 с.; Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: «Наукоемкие технологии», 2022. 124 с.

личных составляющих водного баланса, связанных с глобальными изменениями климата, могла быть еще достаточно слабой.

В рамках исследования для восьми рассмотренных водохранилищ проведены:

- определение доли различных составляющих в приходной части водного баланса;
- проверка на однородность многолетних рядов составляющих водного баланса;
- анализ межгодовой и сезонной изменчивости притока и осадков.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водный баланс рассмотренных азиатских водохранилищ характеризуется доминантной долей притока и оттока (96–99 %), отличающихся высокой межгодовой и сезонной изменчивостью. Лишь в водном балансе Иркутского водохранилища, включающего акваторию оз. Байкал, доля осадков составляет 15,8 % от приходной, а испарения – 20 % от расходной части баланса. Коэффициенты вариации годовых объемов основного (0,14–0,17) и бокового (0,14–0,25) притоков к водохранилищам Ангаро-Енисейского каскада и Оби (табл. 2) сопоставимы с коэффициентами вариации годовых значений осадков на их поверхность (0,15–0,24). При этом меньшей вариативностью (0,15–0,18 %) отличаются осадки, выпадающие на поверхность водохранилищ Ангарского каскада. Коэффициенты вариации годовых объемов притока к Вилюйскому и Зейскому водохранилищам (основного – 0,24, 0,50; бокового – 0,31, 0,34 соответственно) превышают коэффициенты вариации осадков на их поверхность (0,23 и 0,28).

**Таблица 2.** Средние за рассматриваемый период (числитель) годовые значения (млн м<sup>3</sup>) и коэффициенты вариации (знаменатель) основных составляющих приходной части водного баланса водохранилищ  
Table 2. Average for the period under review (numerator) annual values (million m<sup>3</sup>) and coefficients of variation (denominator) of the main components of the input part of the water balance of reservoirs

Элемент водного баланса	Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Саяно-Шушенское	Красноярское	Новосибирское	Зейское	Вилюйское
Приток по основной реке		<u>56737</u> 0,17	<u>89968</u> 0,13	<u>32563</u> 0,16	<u>46077</u> 0,15	<u>52217</u> 0,17	<u>5060</u> 0,5	<u>14838</u> 0,24
Боковой приток	<u>61936</u> 0,17	<u>33164</u> 0,17	<u>7001</u> 0,23	<u>15390</u> 0,14	<u>47033</u> 0,15	<u>1985</u> 0,25	<u>20046</u> 0,34	<u>7659</u> 0,31
Осадки	<u>11482</u> 0,18	<u>1622</u> 0,17	<u>742</u> 0,15	<u>153</u> 0,24	<u>684</u> 0,22	<u>377</u> 0,22	<u>1110</u> 0,28	<u>704</u> 0,23

Наибольшей вариативностью годовых значений характеризуются элементы водного баланса Зейского и Вилюйского водохранилищ, наименьшей – ангарских.

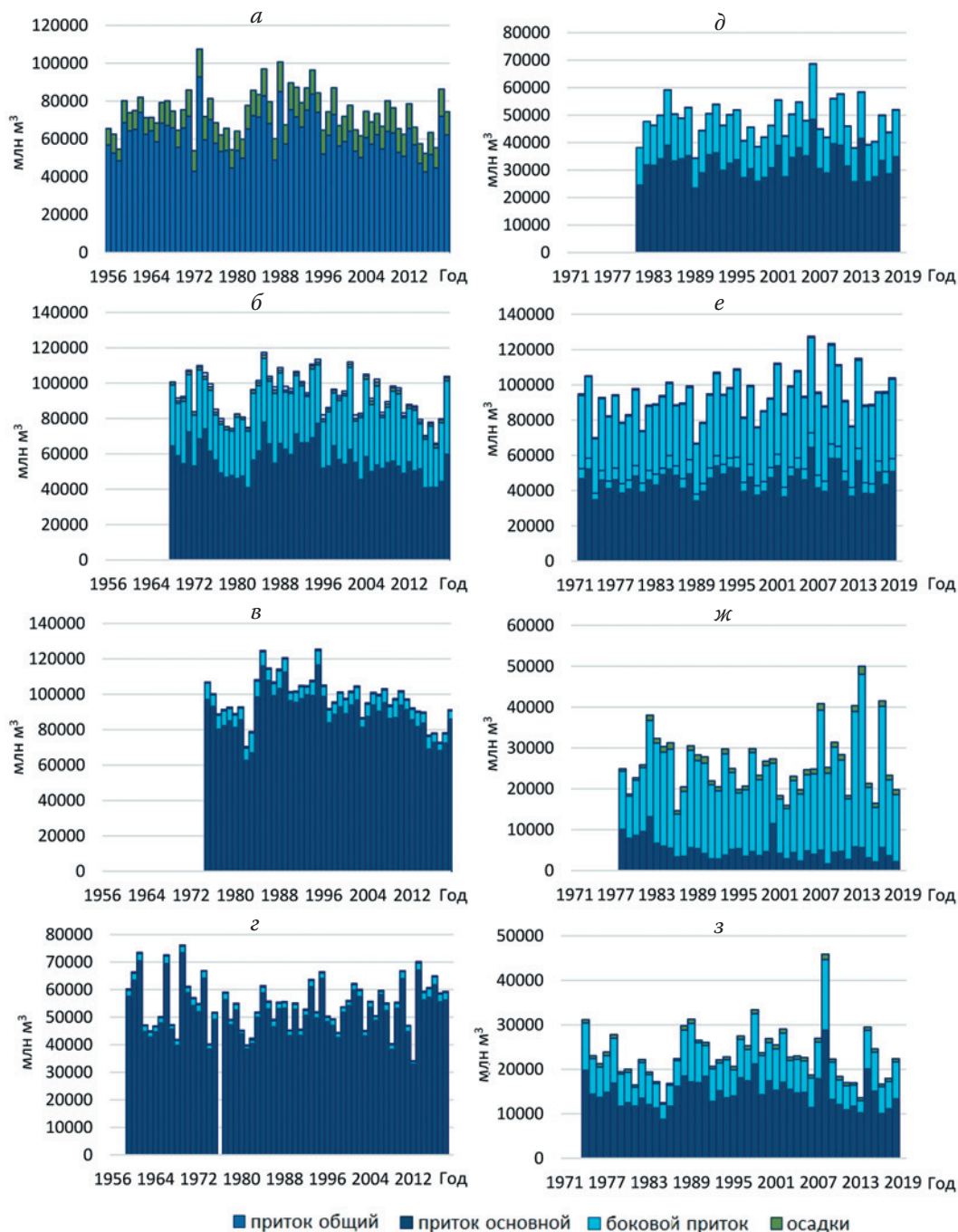
Годовые величины притока к большинству азиатских водохранилищ за анализируемый период не претерпели сильных изменений. Анализ рядов суммарного годового притока показал их однородность для большинства водохранилищ, за исключением Красноярского (выявлена неоднородность по критерию Стьюдента) и Зейского (по критерию Фишера). Обнаружены значимые тренды для годового притока к Красноярскому (восходящий) и Усть-Илимскому (нисходящий) водохранилищам.

На основной приток к Братскому водохранилищу приходится 61 % от приходной части водного баланса, а к Усть-Илимскому – 92 % (рис. 1). Приток к Иркутскому водохранилищу рассматривается как суммарный приток непосредственно в его ангарскую часть (менее 1 %), а также в оз. Байкал, входящее в Иркутское водохранилище. Анализ многолетней изменчивости бокового и основного притоков к водохранилищам свидетельствует, что в рассматриваемый период в бассейне Ангары маловодье наблюдалось с 1974 по 1980 и с 2010 по 2017 гг., многоводье – в 1980-е годы и в первой половине 1990-х годов, переход к многоводной фазе наметился с 2018 г. Коэффициенты корреляции годовых значений суммарного притока к Иркутскому и Братскому, а также Братскому и Усть-Илимскому водохранилищам высокие (0,74 и 0,72 соответственно). При этом коэффициенты корреляции годовых значений бокового притока к Братскому и Усть-Илимскому водохранилищам низкие и составляют 0,33.

На основной приток к Саяно-Шушенскому водохранилищу приходится 68 % от приходной части водного баланса, а к Красноярскому – 50 %. Анализ многолетней изменчивости бокового и основного притоков к водохранилищам свидетельствует, что за рассматриваемый период в бассейне Енисея смена лет низкой и высокой водности происходила достаточно быстро. Коэффициент корреляции рядов суммарного годового притока к двум енисейским водохранилищам очень высокий и составляет 0,9, бокового – 0,55.

В приходной части водного баланса Новосибирского водохранилища основную долю составляет приток по р. Оби (в среднем – 96 %), доля бокового притока – 3,6 %. В приходной части Вилюйского водохранилища приток по р. Вилюй почти в два раза превышает боковой (~33 %). Боковой приток к Зейскому водохранилищу, напротив, почти в четыре раза превосходит приток по р. Зее (~20 %). Анализ многолетней изменчивости бокового и основного притоков к Новосибирскому, Вилюйскому и Зейскому водохранилищам показывает, что для них характерна относительно быстрая смена фаз высокой и низкой водности. Выявлена четкая тенденция к снижению притока по основной реке к Зейскому водохранилищу, компенсируемая ростом бокового притока.

Анализ годовых сумм осадков на водное зеркало выявил их однородность для всех водохранилищ. В то же время установлены значимые восходящие тренды годовых осадков на поверхность Саяно-Шушенского, Красноярского, Зейского и Вилюйского водохранилищ.



**Рис. 1.** Составляющие приходной части водного баланса (млн м³/год) Иркутского (*а*), Братского (*б*), Усть-Илимского (*в*), Новосибирского (*г*), Саяно-Шушенского (*д*), Красноярского (*е*), Зейского (*ж*) и Вилюйского (*з*) водохранилищ.  
 Fig. 1. Components of the incoming part of the water balance (million m³/year) of Irkutsk (*a*), Bratsk (*б*), Ust-Ilimsk (*в*), Novosibirsk (*г*), Sayano-Shushensk (*д*), Krasnoyarsk (*е*), Zeya (*ж*) and Vilyuisky (*з*) reservoirs.

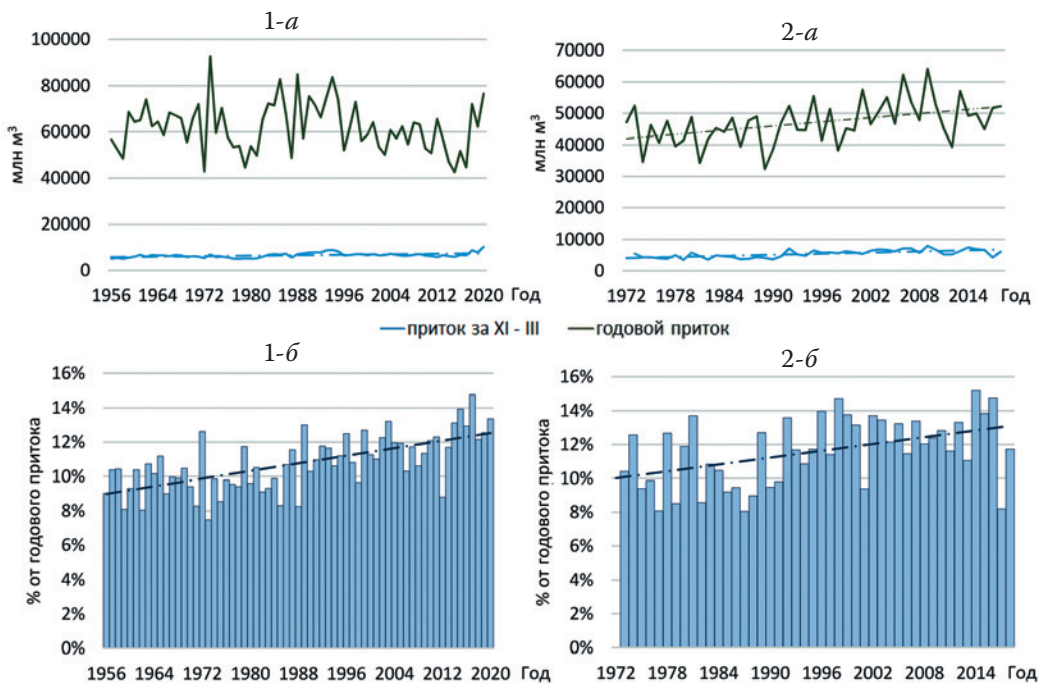
За прошедший с начала эксплуатации водохранилищ период на фоне небольших изменений годовых значений основных приходных составляющих водного баланса произошло их значимое внутригодовое перераспределение. Отметим, что изменения во внутригодовом перераспределении объемов речного стока и, как следствие, объемов притока в водохранилища характерны для всех регионов России [5, 6]. Для водохранилищ азиатской территории в холодный период года выявлено приращение доли бокового притока. К ангарским водохранилищам доля бокового притока в период с ноября по март выросла в среднем на 1,5 %: в 1960–1980-е годы суммарный приток к Иркутскому и Братскому водохранилищам составлял в эти месяцы чуть более 9 % годового, после 1990 г. его доля приблизилась к 11 %, а в Иркутском водохранилище это значение было превышено (рис. 2-1).

На внутригодовое перераспределение стока воды из оз. Байкал указывается и в работах [7–10]. Причинами происходящего внутригодового перераспределения определены происходящие климатические аномалии в Арктическом и Азиатско-Тихоокеанском регионах [11, 12]. Выявлены значимые восходящие тренды месячных значений притока к Иркутскому водохранилищу за все месяцы холодного периода. В то же время абсолютные значения месячного притока к Усть-Илимскому водохранилищу снизились на фоне общего снижения годового притока, приращение касается лишь доли зимнего притока в процентах от годового.

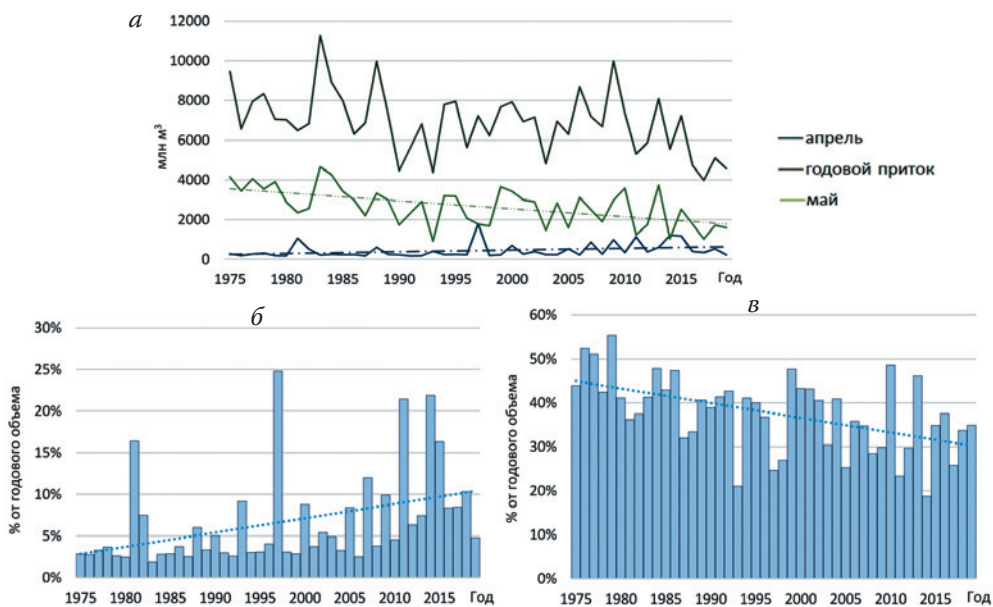
Вырос зимний приток к енисейским водохранилищам, но в абсолютных значениях изменения менее выражены, чем в относительных (рис. 2-2). Восходящий тренд объемов суммарного притока к Красноярскому водохранилищу также выявлен для всех месяцев холодного периода. Произошел рост как абсолютных значений, так и доли в годовом объеме (на 3 %) суммарного притока за ноябрь–март к Новосибирскому водохранилищу. Значимый восходящий тренд отмечен за все указанные месяцы. Установлено повышение абсолютных значений и доли притока в холодные месяцы по р. Зее к Зейскому водохранилищу с 1 до 2 %. Произошел небольшой рост доли притока в холодную часть года к Вилюйскому водохранилищу, прежде всего, в начале зимы.

Для большинства азиатских водохранилищ отмечается прохождение половодья в более ранние сроки. Доля притока в апреле к Иркутскому водохранилищу увеличилась на 1 %, бокового притока к Братскому – на 0,5 %, к Усть-Илимскому – на 4 % (особенно заметно в последнее десятилетие), при этом к Усть-Илимскому водохранилищу (рис. 3) существенно снизился приток в мае (около 5 %). В апреле отмечается повышение бокового притока к Красноярскому водохранилищу (приблизительно на 3 %). Выявлен восходящий тренд месячных значений суммарного притока к Красноярскому водохранилищу за апрель и нисходящий тренд в июне и июле. По Новосибирскому водохранилищу установлен рост основного притока в апреле, тенденция к снижению доли бокового притока весной (в мае) и к повышению летом. В Вилюйском водохранилище наблюдается значимый восходящий тренд притока за май, а половодье стало чаще начинаться в апреле.



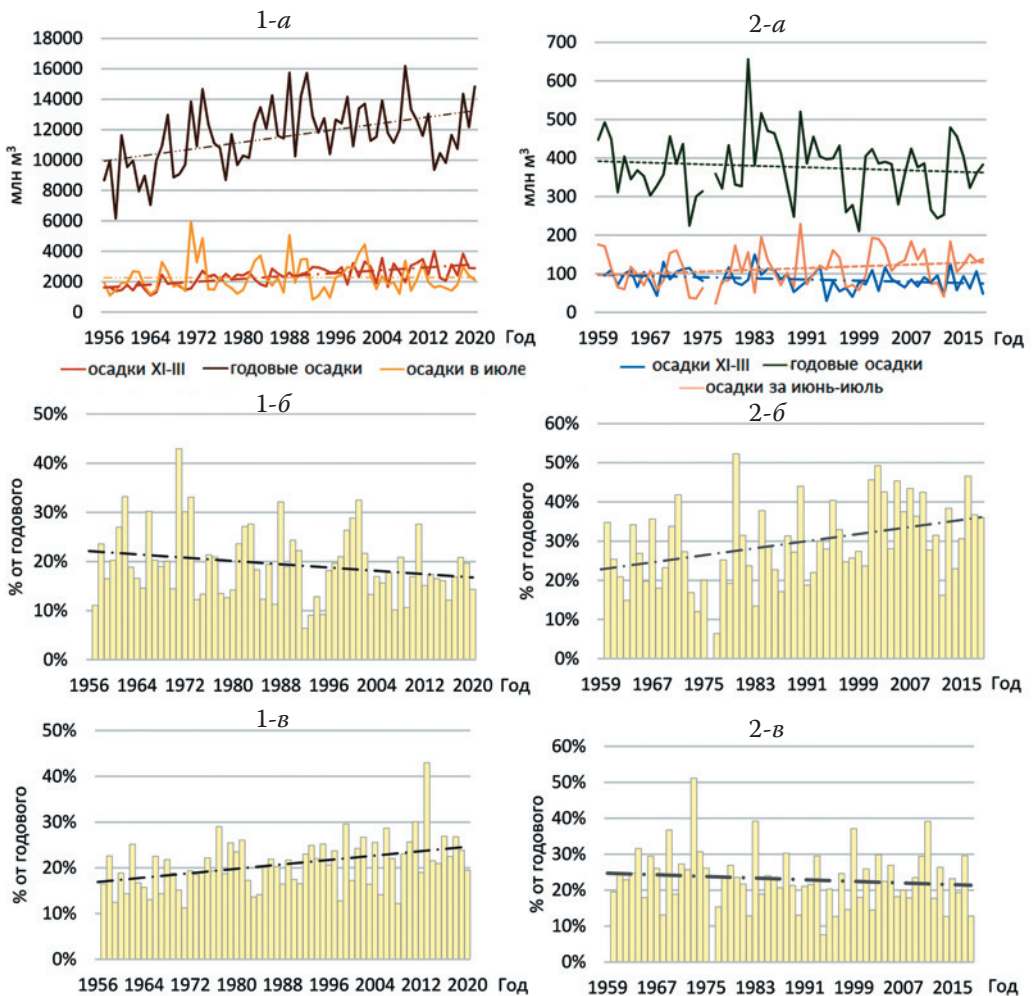


**Рис. 2.** Изменения бокового притока к Иркутскому (1) и Красноярскому (2) водохранилищам в течение года и с ноября по март (а); доля зимнего притока в % (б).  
 Fig. 2. Changes in lateral inflow to the Irkutsk (1) and Krasnoyarsk (2) reservoirs during the year and from November to March (a); share of winter inflow in % (b).



**Рис. 3.** Изменения бокового притока к Усть-Илимскому водохранилищу в апреле и мае (а) и их доля в процентах от годового объема (б – апрель, в – май).  
 Fig. 3. Changes in the lateral inflow to the Ust-Ilimsk reservoir in April and May (a) and their share as a percentage of the annual (б – April, в – May).

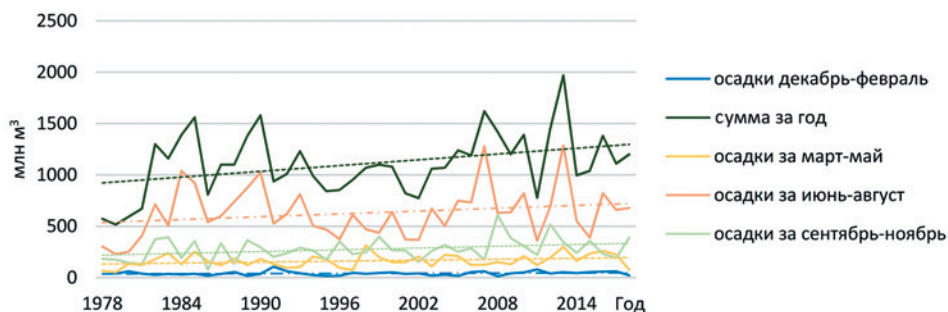
В отличие от внутригодового перераспределения притока, перераспределение внутри года осадков, выпадающих на поверхность рассмотренных водохранилищ, носит различный характер. Для водохранилищ Ангарского каскада отмечается тенденция роста осадков в холодное время года (доля осадков с ноября по март выросла на 2–3 %) и снижения в середине лета (рис. 4), т. е. происходящие изменения приводят к большей равномерности выпадения осадков на поверхность ангарских водохранилищ в течение года. Коэффициент вариации месячных значений осадков на зеркало Иркутского водохранилища за две части рассматриваемого периода (разделенные 1990 г.) в среднем снизился с 0,87 до 0,80, Братского – с 0,87 до 0,84, Усть-Илимского с 1,38 до 1,11.



**Рис. 4.** Изменение осадков, выпадающих на зеркало Иркутского (1) и Новосибирского (2) водохранилищ в холодные и теплые месяцы (а); доля осадков в % от годового за июль (1-б), июнь-июль (2-б) и ноябрь-март (в).  
**Fig. 4.** Changes in precipitation falling on the mirror of the Irkutsk (1) and Novosibirsk (2) reservoirs in cold and warm months (a); share of precipitation in % of annual for July (1-б), June-July (2-б) and November-March (v) months.

Для енисейских водохранилищ на фоне общего повышения осадков отмечен их наиболее выраженный рост в осенний период. Схожая картина отмечается на Вилюйском водохранилище. Выявлен значимый нисходящий тренд месячных сумм осадков за январь и август, выпадающих на поверхность Новосибирского водохранилища, при этом в начале лета отмечен их рост.

Наблюдается рост осадков на зеркало Зейского водохранилища, отмечающийся практически во все месяцы (исключение – апрель), который совпадает с трендом увеличения бокового притока. Наиболее выражен рост летних и осенних сумм осадков (рис. 5). Значимый восходящий тренд выявлен для годовых сумм осадков, а также осадков за май и октябрь.



**Рис. 5.** Изменение осадков, выпадающих на зеркало Зейского водохранилища в разное время года.

**Fig. 5.** Changes in precipitation falling on the surface of the Zeya reservoir at different times of the year

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ режимных водных балансов восьми крупнейших азиатских водохранилищ России свидетельствует, что среди составляющих приходной части водного баланса наибольшие изменения отмечаются для характеристик притока, которые, прежде всего, выражаются в перераспределении его объемов внутри года.

В холодный период выявлено приращение доли бокового притока ко всем водохранилищам. Доля притока к ангарским и енисейским водохранилищам за ноябрь–март выросла на 1,5–2 %: в 1960–1980-е годы суммарный приток в водохранилища составлял в эти месяцы чуть более 9 % от годового, а после 1990 г. приблизился к 11 %. Доля зимнего притока к Новосибирскому водохранилищу выросла с 10 до 13 %, к Зейскому – с 1 до 2 %.

Для большинства азиатских водохранилищ фиксируется прохождение половодья в более ранние сроки. Увеличилась доля притока в апреле к Иркутскому и бокового притока к Братскому и Усть-Илимскому водохранилищам (на 1 %, 0,5 %, 4 %), при этом к Усть-Илимскому водохранилищу существенно снизился приток в мае. В апреле отмечено значимое повышение бокового притока к Красноярскому водохранилищу и его небольшое снижение в летние месяцы.

Анализ режимных водных балансов крупнейших водохранилищ азиатской территории России свидетельствует также о наличии существенных ошибок в определении его составляющих в отдельные периоды. Наибольшие невязки

выявлены при составлении водных балансов Новосибирского и Красноярского водохранилищ, что требует уточнения методик расчета на основе проведения комплекса гидрометрических и метеорологических работ на основных притоках.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометиздат, 1991. 224 с.
2. Kjellström E., Nikulin G., Hansson U., Strandberg G., Ullerstig A. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus* 63 (1). 2011. P. 24–40.
3. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ed. by C. B. Field, V. R. Barros, C. Field, V. Barros, M. Mastrandrea, K. Mach, Abdrabo, W. Adger, Y. A. Anokhin, O. Anisimov, D. Arent, J. Barnett, V. Burkett, R. Cai, M. Chatterjee, S. J. Cohen, W. Cramer, P. Dasgupta, D. Davidson, F. Denton, P. Doll, K. Dow, Y. Hijioka, and O. Hoegh-Guldberg. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 1130 p.
4. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2021*, Ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. 2021, 2390 p.
5. Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации: Научно-прикладной справочник / под ред. Георгиевского В.Ю. СПб.: РИАН, 2021. 190 с.
6. Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ: Научно-прикладной справочник / под ред. Георгиевского В.Ю. М.: РПЦ Офорт, 2017. 132 с.
7. Синокович В.Н., Чернышов М.С. Гидрометеорологический мониторинг и достоверность расчетов элементов водного баланса оз. Байкал // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. Иркутск, 21–23 марта 2018 г. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2018. С. 329–334.
8. Чернявская И.А., Синокович В.Н., Чернышов М.С. Водный режим оз. Байкал в XXI столетии // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: мат-лы II Всеросс. научно-практической конф., приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ / Иркутск, 5–7 июля 2019 г. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2019. С. 286–292.
9. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Осипчук Е.Н. Ангаро-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата // Энергетика и климат. 2017. Вып. 62 (4). С. 62–70.
10. Никитин В.М., Абасов Н.В., Осипчук Е.Н., Бережных Т.В., Георгиевский В.Ю., Измайлова А.В., Молчанова Т.Г., Фуксова Т.В. Уровненный режим озера Байкал // География и природные ресурсы. 2022. № 5. С. 36–44.
11. Shkorba S., Ponomarev P., Dmitrieva E. Linkages of climatic anomalies in Arctic, Asian Pacific and Indo-Pacific regions // *Proceedings of Joint Science and Education Conference: Arctic Dialogue in the Global World*. Ulan-Ude: Buryat State University Published Department, 2015 P. 122–125.
12. Бережных Т.В., Марченко О.Ю., Абасов Н.В., Мордвинов В.И. Изменение летней циркуляции атмосферы над Восточной Азией и формирование длительных маловодных периодов в бассейне реки Селенги // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 61–68.

### REFERENCES

1. Vuglinsky V.S. Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR. Leningrad: *Gidrometeoizdat*. 1991. 224 p. (In Russ.).
2. Kjellström E., Nikulin G., Hansson U., Strandberg G., Ullerstig A. (2011). 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus* 63 (1). 2011. P. 24–40.
3. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change, Ed. by C. B. Field, V. R. Barros, C. Field, V. Barros, M. Mastrandrea, K. Mach, Abdrabo, W. Adger, Y. A. Anokhin, O. Anisimov, D. Arent, J. Barnett, V. Burkett, R. Cai, M. Chatterjee, S. J. Cohen, W. Cramer, P. Dasgupta, D. Davidson, F. Denton, P. Doll, K. Dow, Y. Hijioka, and O. Hoegh-Guldberg. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 1130 p.
4. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2021, Ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2021. 2390 p.
  5. Long-term fluctuations and variability of water resources and the main characteristics of the flow of rivers in the Russian Federation: Scientific and Applied Handbook. Ed. Georgievsky V. Yu. St. Petersburg: LLC RIAL, 2021. 190 p. (In Russ.).
  6. Long-term characteristics of water inflow into the largest reservoirs of the Russian Federation Scientific and Applied Handbook. Ed. Georgievsky V.Y. Moscow: LLC "ROC Etching", 2017. 132 p. (In Russ.).
  7. Sinyukovich V.N., Chernyshov M.S. Hydro/meteorological monitoring and reliability of calculations of the elements of the water balance of the Lake Baikal. *Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia: mat-ly Vseross. nauchno.-prakt. konf. [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Irkutsk, March 21–23, 2018]*. Irkutsk: Irkutsk State University, 2018. P. 329–334 (In Russ.).
  8. Chernyavskaya I.A., Sinyukovich V.N., Chernyshov M.S. The water regime of the lake. Baikal in the 21st century. *Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia: materialy II Vseross. nauchno.-prakticheskoy konferentsiyi, priurochennoy k 55letiyu kafedry gidrologiyi i prirodopolzovaniya IGU [Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Department of Hydrology and Environmental Management of ISU]*, Irkutsk, July 05–07, 2019. Irkutsk: Irkutsk State University, 2019. P. 286–292 (In Russ.).
  9. Nikitin V.M., Abasov N.V., Bereznyh T.V., Osipchuk E.N. Angara-Yenisei cascade of HPPs in a changing climate. *Energia i klimat [Energy and climate]*. 62 (4). 2017. (In Russ.).
  10. Nikitin V.M., Abasov N.V., Osipchuk E.N. Bereznyh T.V., Georgievskij V.Yu., Izmailva A.V., Molchanova T.G., Fuksova T.V. Level regime of Lake Baikal. *Geografia i prirodnie resursy [Geography and natural resources]*. 2022. No 5. P. 36–44 (In Russ.).
  11. Shkorba S., Ponomarev P., Dmitrieva E. Linkages of climatic anomalies in Arctic, Asian Pacific and Indo-Pacific regions. *Proceedings of Joint Science and Education Conference: Arctic Dialogue in the Global World*. Ulan-Ude: Buryat State University Published Department, 2015. P. 122–125.
  12. Bereznyh T.V., Marchenko O.Yu., Abasov N.V., Mordvinov V.I. Changes in the summer circulation of the atmosphere over East Asia and the formation of long dry periods in the Selenga river basin. *Geografia i prirodnie resursy [Geography and natural resources]*. 2012. No 3. P. 61–68 (In Russ.).

#### Сведения об авторах:

**Измайлова Анна Владиленовна**, д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией озер и водохранилищ, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199004, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23. ORCID: 0000-0003-1705-6863; e-mail: ianna64@mail.ru

**Фуксова Татьяна Викторовна**, старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199004, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23; e-mail: fuksova.spb@mail.ru

**Дубровская Кристина Анатольевна**, младший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199004, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23; e-mail: krisya\_dubok@mail.ru

#### About the author:

**Anna V. Izmailova**, Dr., Head of the Laboratory, Leading Researcher, State Hydrological Institute, Russia, 199004, St.-Petersburg, 2nd lin. V. O., 23. ORCID: 0000-0003-1705-6863; e-mail: ianna64@mail.ru

**Tatiana V. Fuksova**, Senior Researcher, State Hydrological Institute, Russia, 199004, St.-Petersburg, 2nd lin. V. O., 23. e-mail: fuksova.spb@mail.ru

**Kristina A. Dubrovskaya**, Junior Researcher, State Hydrological Institute, Russia, 199004, St.-Petersburg, 2nd lin. V. O., 23. e-mail: krisya\_dubok@mail.ru