

ПЯТЫЕ
ВИНОГРАДОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ

Доклады международной научной
конференции памяти
выдающегося русского ученого
Юрия Борисовича Виноградова

ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

СБОРНИК



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Санкт-Петербург
2023



Санкт-Петербургский государственный
университет

Сборник докладов международной научной
конференции памяти выдающегося русского
ученого Юрия Борисовича Виноградова

ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

Санкт-Петербург, 5–14 октября 2023 г.

Под редакцией О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной

Санкт-Петербург
2023

УДК 556
ББК 26.22
С28

- С23 Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 2023 год / под ред. О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2023. — 689 с.

ISBN 978-5-9651-0730-8

Международная научная конференция «Пятые Виноградовские Чтения. Гидрология в эпоху перемен» памяти выдающегося русского ученого-гидролога Юрия Борисовича Виноградова проводится в Санкт-Петербургском государственном университете в 2023 году в пятый раз (2013, 2015, 2018, 2020). Она стала регулярной научной платформой для свободной дискуссии по проблемам развития гидрологии и поискам путей их преодоления, синтеза современных подходов в области изучения гидрологических процессов и их применения для решения фундаментальных и практических задач.

УДК 556
ББК 26.22

Book of proceedings of the international scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Vinogradov “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” [Electronic resource]; St. Petersburg, 2023 / ed. O. M. Makarieva, P. A. Nikitina. — St. Petersburg: VVM Publishing House, 2023. — 689 p.

International scientific conference “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” in memory of the outstanding Russian scientist-hydrologist Yuri Borisovich Vinogradov is held at St. Petersburg State University in 2023 for the fifth time (2013, 2015, 2018, 2020). It has become a regular scientific platform for free discussion on the problems of the development of hydrology and the search for ways to overcome them, synthesis of modern approaches in the field of studying hydrological processes and their application to solve fundamental and practical problems.

ISBN 978-5-9651-0730-8

© Макарьева О. М., Никитина П. А., 2023

Saint Petersburg State
University

Proceedings of international scientific conference in
memory of outstanding Russian
scientist Yury Vinogradov

V VINOGRADOV CONFERENCE
HYDROLOGY IN THE ERA OF CHANGE

Saint Petersburg, 5-14 October 2023

Edited by Olga Makarieva and Polina Nikitina

Saint-Petersburg
2023

**Международная конференция памяти выдающегося русского
ученого Юрия Борисовича Виноградова
ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ
«ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН»**

Организаторы	Кафедра гидрологии суши	
	Институт наук о Земле	
	Санкт-Петербургский	государственный университет
Председатель Программного комитета	научная Группа модели Гидрограф	
	д.т.н., профессор М.В. Болгов, Институт водных проблем РАН	
Председатель Организационного комитета	к.т.н. О. М. Макарьева, Санкт-Петербургский	
	государственный университет,	Северо-Восточный государственный университет
	Санкт-Петербургский	государственный университет
Спонсоры	научная Группа модели Гидрограф	
	ФГБУ	Государственный гидрологический институт
	ООО «Русловые процессы»	
	ООО НПО «Гидротехпроект»	
	Правительство	Магаданской области
	Администрация	Тенькинского муниципального округа Магаданской области
	ООО «Плането Инфо»	
	АО «Полюс Магадан»	

**International conference in memory of outstanding
Russian hydrologist Yury Vinogradov
V VINOGRADOV CONFERENCE
HYDROLOGY IN THE ERA OF CHANGE**

Organized by	Department of Land Hydrology
	Institute of Earth Sciences
	St. Petersburg State University
	Hydrograph Model Research Group
Chair of Scientific Committee	Mikhail Bolgov, Water Problems Institute RAS
Chair of Organizing Committee	Olga Makarieva, St. Petersburg State University, North-Eastern State University
	Saint Petersburg State University
	Hydrograph Model Research Group
	Federal State Budgetary Institution State Hydrological Institute
	Channel Processes LLC
	NPO Gidrotekhproekt LLC
Partners	Administration of the Tenka municipal district of the Magadan Region
	Government of the Magadan Region
	Planeta Info LLC
	Polyus Magadan JSC

Динамика подземного стока рек бассейна Северной Двины

А.А. Сазонов^{1,2*}, В.Ю. Григорьев^{1,2}, О.М. Пахомова¹, Н.Л. Фролова¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

²Институт водных проблем РАН, г. Москва

sazonov.lesha@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена изучению динамики подземного стока рек бассейна Северной Двины – бассейна, находящегося в условиях избыточного увлажнения, с относительно ненарушенными условиями формирования речного стока. На основе статистического анализа временных рядов минимального месячного стока за зимний и летний периоды и результатов автоматизированного расчленения гидрографа методом GrWat, являющегося аналогом расчленения гидрографа по методу Б.И. Куделина в автоматическом режиме получены представления о современной динамике подземного стока рек бассейна Северной Двины. Выявлены основные факторы формирования минимального месячного зимнего и летне-осеннего стока. Среди них температура воздуха и осадки за различные месяцы, отражающие особенности формирования подземного стока в разные периоды года.

Ключевые слова: Северная Двина, минимальный сток, GrWat, изменение климата.

Dynamics of groundwater flow in the rivers of the Northern Dvina basin

A.A. Sazonov^{1,2*}, V.Yu. Grigoriev^{1,2}, O.M. Pakhomova¹, N.L. Frolova¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences

sazonov.lesha@gmail.com

Abstract. This work is devoted to the study of groundwater flow dynamics in the Northern Dvina basin, a basin with relatively undisturbed conditions of river runoff formation under conditions of excessive moisture. On the basis of statistical analysis of time series of minimum monthly runoff for winter and summer periods and the results of automated dissection of the hydrograph by the GrWat method, which is an analog of the hydrograph dissection by the method of B.I.Kudelin in automatic mode, we obtained ideas about the current dynamics of groundwater flow in the rivers of the Northern Dvina basin. The main factors of formation of the minimum monthly winter and summer-autumn runoff were revealed. Among them are air temperature and precipitation for different months, reflecting the peculiarities of groundwater flow formation in different periods of the year.

Keywords: Northern Dvina, minimal runoff, GrWat, climate change.

Введение

Изучение речного стока и его динамики невозможно без детального анализа одной из его важнейших составляющих – подземной. Актуальность изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод увеличивается в связи с наблюдающимися климатическими изменениями, по-разному проявляющимися в различных регионах нашей страны. Сложность мониторинга подземных вод приводит к необходимости поиска косвенных характеристик на

основе данных о речном стоке для оценки изменчивости подземной составляющей. В работе проведено сравнение величины подземного стока, полученного с помощью расчленения гидрографа методом Б.И. Куделина на основе алгоритма GrWat [1] и значениями среднего меженного (зимнего и летнего) и минимального зимнего и летне-осеннего стока.

Лучшее соответствие характерно для средних рек для меженного и минимального зимнего стока, коэффициенты корреляции равны 0,8-0,82. Для всего бассейна Северной Двины эти значения соответственно уменьшаются до 0,67 и 0,66. Плохая связь с минимальными месячными расходами за летне-осеннюю межень может быть объяснена за счет повышенной доли дождевого питания.

Целью данной работы является изучение динамики подземного стока рек бассейна Северной Двины – бассейна, находящегося в условиях избыточного увлажнения, с относительно ненарушенными условиями формирования речного стока. Для достижения цели был поставлен ряд задач: 1) генетическое расчленение гидрографов стока для выделения подземной составляющей; 2) анализ различных характеристик минимального и меженного стока; 2) статистический анализ временных рядов; 3) оценка влияния климатических факторов на подземный сток путем построения регрессионных зависимостей для различных периодов времени.

Материалы и методы исследования

Для удобства анализа результатов помимо всего бассейна реки Северная Двина были рассмотрены его составные части – бассейны 15 основных притоков реки Северная Двина. Данные притоки включают в себя как малые реки, с площадью водосбора до 2 тыс. км² (р. Иосер), так и средние реки, площадь водосбора которых приближается к 50 тыс. км² (рр. Пинега, Вага и Сухона).

Всего для дальнейшего анализа было выбрано 22 гидрологических поста, расположенных в пределах бассейна р. Северная Двина. Архивные ряды наблюдений за минимальными расходами были продлены до 2020 г. с помощью портала АИС ГМВО. Основное требование при выборе данных станций наблюдений – минимальное количество пропусков и продолжительный период наблюдений.

Помимо гидрологической информации была собрана метеорологическая информация, включающая в себя данные о сумме осадков за день и за месяц, температуру воздуха. Используемые в данной работе данные были получены с помощью портала Мирового центра данных (ВНИИГМИ МЦД). Для определения даты нарушения стационарности рядов нами был использован целый ряд подходов: непараметрический Pettitt's test [2], широко используемый для решения этой задачи в гидрологических исследованиях и основанный на сравнении рангов членов ряда до и после некоторого года. Оценка года перелома основывалась в том числе и на анализе временных графиков - суммарных (интегральных) кривых связи от времени или разностно-интегральных кривых (РИК). Для бассейна р. Северная Двина в качестве переломного года был выбран 1978 г., однако дата перелома варьирует в пределах 5-6 лет. Это говорит о том, что при наблюдающейся в целом синхронности многолетних колебаний имеет место определенный разброс дат, связанный как с особенностями самих водосборов, так и с не полной синхронностью климатических изменений. В соответствии с выбранным годом перелома, был проведен анализ однородности рядов по величине среднего (m) и среднеквадратического отклонения (σ). Для проверки однородности по среднему использовался параметрический t -критерий Стьюдента и непараметрический U -критерий Манна-Уитни. При этом t - критерий предполагает сравнение средних, а U -критерий сумм рангов. Для оценки однородности рядов по величине σ был рассмотрен F -критерий Фишера, наиболее широко используемый в отечественной гидрологии. Оценка значимости тренда за

1946–2019 гг. производилась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла [3], а расчет параметров линейной регрессии - с помощью метода наименьших квадратов.

Комплексный анализ основных характеристик годового, сезонного и экстремального стока проводился на основе автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа – GrWat, являющегося аналогом расчленения гидрографа по методу Б.И. Куделина в автоматическом режиме [1]. Данная программа позволяет на основе значений суточных расходов воды, температуры воздуха и осадков проводить графоаналитическое расчленение гидрографа.

Визуализация полученных результатов была выполнена с помощью языка Python и программного комплекса ArcGis.

Результаты и выводы

Увеличение среднего меженного стока (за XI-III, VII-X), в значительной степени отражающего динамику подземного стока, по сравнению с базовым периодом (1946-1977 гг.) характерно практически для всех анализируемых створов и составляет в среднем 13%, а для некоторых водосборов эта величина равна 20% (рр. Сухона, Юг, Кодима), 33 (р. Пушма) и 44% (р. Луза). Изменение дисперсии носит разнонаправленный характер.

Минимальный месячный зимний сток в среднем увеличился для рек бассейна Северной Двины на 21% и только для 4 постов изменения статистически не значимы. Изменения минимального месячного зимнего стока по сравнению с базовым периодом (1946-1977 гг.) достигают 35-45% и более для верховьев Северной Двины (бассейн Сухоны и Юга), оставаясь весьма существенными и для остальной части бассейна. Исключение составляет р. Вымь, где эта тенденция не проявилась совсем. В распределении изменения минимального зимнего стока прослеживается пространственная закономерность: весь бассейн можно разделить на три области: юго-западную часть, где изменения наиболее значительны, юго-восточную и северную часть бассейна, где увеличение стока в основном не превышает 20%.

В область значительного изменения стока попали такие реки, как Сухона, Вага, верховье реки Юг, на них увеличение минимального зимнего стока достигает до 42%. Тест Манна-Кендалла показывает значимость возрастающих трендов зимних расходов воды практически на всех реках, а сам рост составляет в среднем до 4%, а для отдельных рек 5-10%.

Увеличение минимального летне-осеннего стока рек бассейна Северной Двины выражено не столь ярко. Только для 8% постов возрастание стока статистически значимо (при уровне значимости 5%) и составляет в среднем около 12%. Наибольшие изменения характерны для рек Луза (29%), Кодима (50%), Вага (36%) и в целом для замыкающего створа р. Северная Двина – с. Усть-Пинега (19%). Как и ранее, оценка производилась по сравнению с базовым периодом 1946-1977 гг. Для ряда постов отмечено небольшое статистически незначимое уменьшение минимального стока в период летне-осенней межени. Какой-либо закономерности в распределении этих постов не наблюдается.

Влияние осадков на величину минимального стока. Согласно современным представлениям о формировании зимнего меженного стока он определяется стоком грунтовых вод за предшествующий осенний период, которые в свою очередь определяются суммой выпавших осадков. Для установления связи между суммой осадков и величиной минимального зимнего стока были рассмотрены различные варианты обобщения суммы осадков:

- жидкие осадки за теплый период;
- суммарные осадки за сентябрь и октябрь;
- суммарные осадки за октябрь и ноябрь;
- суммарные осадки за сентябрь, октябрь и ноябрь;
- среднемесячные суммы осадков

Жидкие осадки за теплый период. В качестве первого варианта предиктора в зависимости минимального зимнего стока от суммы осадков была выбрана сумма жидких

осадков за теплый период, то есть с апреля по октябрь. Анализ данных показал, что в целом подобные связи в пределах бассейна чрезвычайно слабые, коэффициент корреляции которых не превышает 0,5. Исключение составляют посты на р. Сухона (д. Рабаньга и д. Каликино), на р. Кичьменга (д. Захарово), на р. Вычегда (д. Малая Кужба) и на р. Иосер (д. Иосер). Согласно полученным результатам, можно отметить, что корреляционная связь существует только со стоком за период до переломного года.

Суммарные осадки за сентябрь и октябрь. Выбор предиктора в виде суммы осадков за сентябрь и октябрь особого результата не дал. По рассматриваемым гидрологическим постам коэффициент корреляции составил менее 0,5. Исключением оказалась р. Вишера (д. Лунь) и р. Вага (д. Филиевская), значение коэффициента корреляции составил 0,63 и 0,58 соответственно.

Суммарные осадки за октябрь и ноябрь. Как и в предыдущем случае, суммирование осадков за октябрь и ноябрь не дало положительного результата. Исключением из общей картины оказался единственный пост – поселок Подосиновец на р. Юг. Коэффициент корреляции для него составил 0,6. Для остальных рассматриваемых постов связь практически отсутствует, коэффициент корреляции варьирует от 0,1 до 0,4.

Суммарные осадки за сентябрь, октябрь и ноябрь. Суммирование осадков за календарный осенний период также не дало результатов, однако, как и в случае суммы осадков за сентябрь и октябрь исключением стал пост, расположенные в д. Лунь на р. Вишера. Коэффициент корреляции составил 0,58. В качестве промежуточного вывода можно отметить, что рассмотрение суммарных осадков за несколько месяцев не дает положительного результата, так как наибольший вклад в корреляционную связь вносят осадки за отдельные месяцы. Это предположение подтверждается на примере р. Вишера (д. Лунь), где при рассмотрении суммарных осадков за сентябрь и октябрь коэффициент корреляции составил 0,63, но при добавлении суммы осадков за ноябрь он снизился до 0,58.

Среднемесячные суммы осадков. На первом этапе обработки данных среднесуточные данные об осадках были осреднены по месяцам. На основе полученных данных были посчитаны коэффициенты корреляции между среднемесячной суммой осадков и величиной минимального зимнего стока. Условным порогом отбора для дальнейшего анализа данных был выбран коэффициент корреляции равный 0,5.

На втором этапе отфильтрованные таким образом коэффициенты корреляции были распределены по отдельным водосборам, входящие в состав бассейна р. Северная Двина. Как и в предыдущих случаях связь между суммой осадков за отдельные месяцы и минимальным зимним стоком наблюдается только для первого расчетного периода (за исключением единичных случаев), то есть до момента переломного года. Однако, связи между осадками за отдельные месяцы и минимальным зимним стоком становятся более явными и на отдельных гидрологических постах коэффициент корреляции достигает 0,70-0,77.

Чтоб обобщить полученные результаты каждый бассейн был проанализирован на распределение коэффициентов корреляции по месяцам, в ходе анализа были выделены месяцы, во время которых связь суммы осадков и минимального стока проявляется наиболее явно. Результаты обобщения были визуализированы в виде карт (Рис. 1-2).

На Рис. 1 видно, что наиболее распространенным предиктором в создании связи с минимальным зимним стоком является сумма осадков за сентябрь. В пространственном распределении таких постов нет четкой закономерности, сумма осадков за сентябрь влияет на зимний сток как в западной части бассейна р. Северной Двины (бассейны рр. Сухона, Вага, Устья), так и в восточной части (рр. Пинега, Вычегда и Вишера). Коэффициент корреляции между минимальным зимним стоком и суммой осадков на отдельных метеостанциях достигает 0,77.

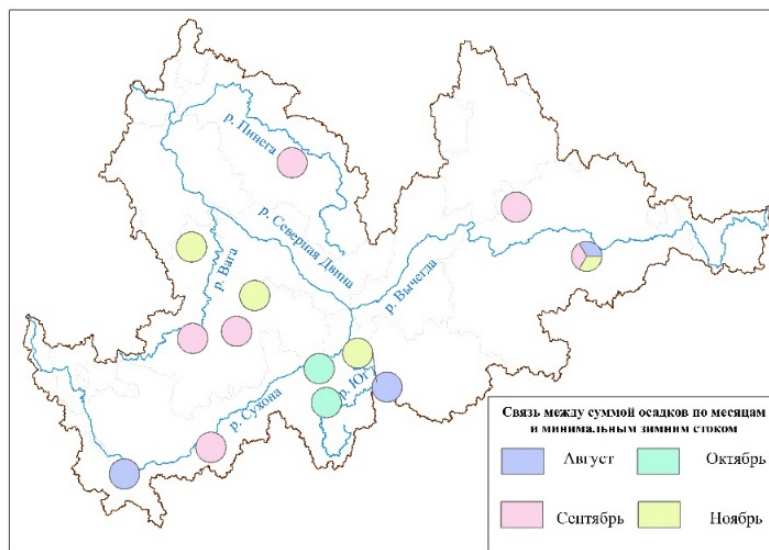


Рис. 1 Карта распределения гидрологических постов по месяцам, наиболее влияющим на формирование минимального зимнего расхода в зависимости от суммы осадков.

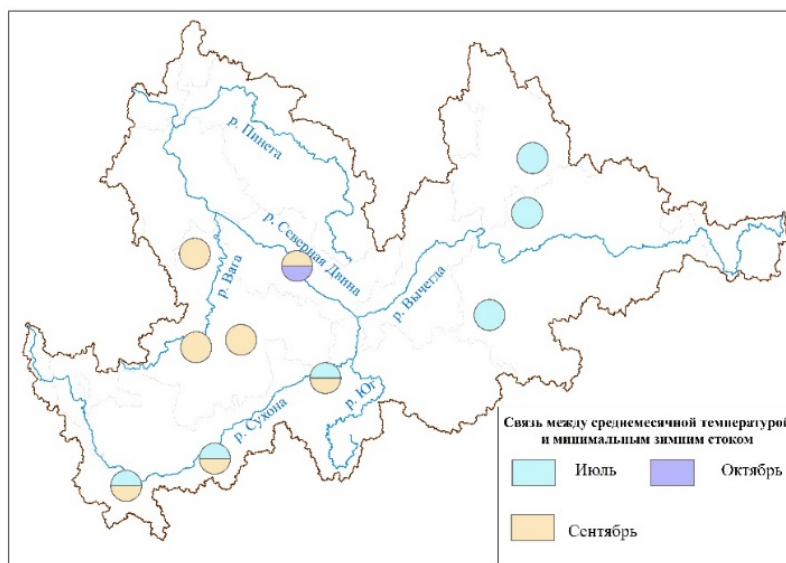


Рис. 2 Карта распределения гидрологических постов по месяцам, наиболее влияющим на формирование минимального зимнего расхода.

Влияние температуры на величину минимального стока. Температура относится к косвенному фактору, влияющему на образование зимнего стока. Она непосредственно не формирует его, но участвует в перераспределении грунтовых вод, которые в свою очередь в зимний период являются главным источником питания реки. Кроме того, температура воздуха влияет на величину испарения в теплый период года.

Для установления связи между температурой воздуха и минимальным зимним стоком были проанализированы следующие предикторы:

- Сумма отрицательных температур за холодный период
- Среднемесячные температуры воздуха.

Сумма отрицательных температур за холодный период. Для каждой метеостанции были рассчитаны суммы отрицательных температур, то есть за период с ноября по март. Как и в случае с осадками полученные корреляционные связи соответствовали периоду до точки

перелома. В целом можно отметить, что коэффициент корреляции в большинстве случаев не превышал 0,4 – 0,45. Наиболее тесная связь между суммой отрицательных температур и зимним стоком была обнаружена на р. Сухона (д. Каликино), для нее коэффициент корреляции составил -0,6.

Среднемесячные температуры воздуха. Руководствуясь общей логикой, были рассмотрены месяцы за период, предшествующий зимней межени. По результатам анализа была построена карта распределения гидрологических постов по месяцам наиболее влияющие на формирование минимального зимнего расхода в зависимости от температуры воздуха. В результате достаточно четко можно выделить два района: южный (верховья бассейна) и западный (бассейны рр. Вага и Сухона).

В качестве основного месяца, влияющего на величину зимнего стока на рр. Сухона, Вага и Устья является сентябрь. Коэффициент корреляционной связи для температуры воздуха за сентябрь и минимальным зимним стоком на данных реках составляет от -0,5 до -0,77. Для южной и юго-западной части, на рр. Сухона, Вишера, Сысола и Иосер наибольшее влияние на зимний сток оказывает температура за июль, самый жаркий месяц, когда испарение с почвы достигает наибольшего значения. Наибольшее значение коэффициента корреляции наблюдается на р. Сухона, он достигает значения 0,77, для рек юго-восточной части бассейна Северной Двины он не превышает 0,55.

Заключение

Обзор существующих методов определения подземной составляющей стока и расчеты по методике Б.И. Куделина для бассейна Северной Двины показали возможность использования минимальных месячных расходов за зимний период, наилучшим образом скоррелированных с величиной подземной составляющей.

На основе статистического анализа временных рядов минимального месячного стока за зимний и летний периоды получены представления о современной динамике подземного стока рек бассейна Северной Двины. Минимальный месячный зимний сток в среднем увеличился для рек бассейна Северной Двины на 21% и только для 4 постов изменения статистически не значимы. Изменения минимального месячного зимнего стока по сравнению с базовым периодом (1946-1977 гг.) достигают 35-45% и более для верховьев Северной Двины (бассейн Сухоны и Юга), оставаясь весьма существенными и для остальной части бассейна.

Выявлены основные факторы формирования минимального месячного зимнего и летне-осеннего стока. Среди них температура воздуха и осадки за различные месяцы, отражающие особенности формирования подземного стока в разные периоды года. Полученные результаты могут быть полезны для последующих сценарных расчетов.

Благодарность.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 21-47-00008.

Acknowledgments

The work was supported by the RSF grant No. 21-47-00008.

Список литературы

1. Рец Е.П., Киреева М.Б., Самсонов Т.Е., Езерова Н.Н., Горбаренко А.В., Фролова Н.Л. Алгоритм автоматизированного расчленения гидрографа по методу Б.И. Куделина GrWat: проблемы и перспективы // Водные ресурсы. 2022. том 49. № 1. С. 27-42 DOI
2. Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28 (2), 126–135.
3. Kendall, M.G Rank Correlation Methods. 1975. 4th edition, Charles Griffin, London.

Использование модели HBV для оценки максимальных расходов воды

В.С. Салпанова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
tinasalpanova@gmail.com*

Аннотация. Использование концептуальной гидрологической модели HBV может быть осуществлено в различных направлениях гидрологии, одним из которых является прогноз максимальных расходов воды. С использованием автоматической калибровки результаты получаются лучше, чем при использовании априорных параметров, основанных на физико-географических особенностях изучаемой территории. В данном исследовании анализируется бассейн реки Тобол. В результате полученных параметров есть возможность предсказать максимальные расходы в изучаемом регионе, однако необходимо делать поправки на завышение или наоборот занижение смоделированных расходов воды.

Ключевые слова: максимальный расход воды, концептуальная гидрологическая модель HBV, калибровка модели, априорные параметры.

Using the HBV model to estimate the maximum water discharges

V.S. Salpanova

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
tinasalpanova@gmail.com*

Abstract. The use of the conceptual hydrological model HBV can be carried out in various areas of hydrology, one of which is the forecast of maximum water discharges. The obtained with the use of automatic calibration results were better than with the use of a priori parameters based on the physical and geographical features of the studied territory. This research analyzes the Tobol River basin. As a result of the obtained parameters, it is possible to predict the maximum costs in the studied region, but it is necessary to make correction for overestimation or, conversely, underestimation of the simulated water discharge.

Keywords: maximum water discharge, conceptual hydrological model HBV, model calibration, a priori parameters.

Введение

Гидрологические прогнозы способствуют получению заблаговременной информации о возможных наводнениях, позволяя минимизировать риски и ущербы. Для прогнозов используют гидрологические модели, одной из которых является модель HBV, на основе анализа которой будет рассматриваться тема оценки максимальных расходов воды.

Главным преимуществом концептуальной модели HBV является ее простота и удобство в использовании без снижения точности прогноза.

Оценка максимальных расходов воды с помощью модели HBV может столкнуться с несколькими проблемами [2]:

Научное издание

**Сборник докладов
международной научной конференции
памяти выдающегося русского ученого
Юрия Борисовича Виноградова
ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН**

Санкт-Петербург, 2023 год

Электронное текстовое издание

Редакция: О.М. Макарьева, П.А. Никитина

Верстка: О.М. Макарьева, П.А. Никитина

Оформление: Л. Иванова-Ефимова, О.М. Макарьева, П.А. Никитина

Сборник разработан с помощью программного обеспечения

Microsoft Office Word, Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 15.12.2023

Усл. печ. л. 134,38. Заказ № 1191.

Издательство ВВМ.
198095, Санкт-Петербург, ул. Швецова, 41.