

Считается, что они обусловлены влиянием временных (космофизических) факторов, либо автоколебательными процессами в системе атмосфера-гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности [Логинов, Волчек, 2006]. В связи с этим, границы фаз водности, их длительность и амплитуда часто определяются неоднозначно. Более мелкие циклы «накладываются» на более крупные. Например, солнечная активность, которая, в свою очередь, должна определять циркуляцию атмосферы, изменяется с периодичностью, в среднем, 12 лет. Это, скорее всего, самый короткий цикл. Более длительные циклы имеют периоды более сотни лет: например, Малый ледниковый период, начавшийся в 13 веке и пока не закончившийся [Ладюри, 1971].

Для исследования гидрологического цикла и долгосрочных прогнозов водности используются, как правило, статистические методы. Ни одна статистическая прогностическая модель не может гарантировать абсолютно точного результата прогноза. В представленной статье выполнен анализ многолетних колебаний расходов воды р. Оби в районе г. Барнаула с 1922 по 2022 гг., на основании которого разработан долгосрочный прогноз водности. Использовались три модели, наиболее популярные в гидрологических исследованиях: разностные интегральные кривые, спектральный анализ Фурье и ARIMA (модель авторегрессионного интегрированного скользящего среднего Auto Regressive Integrated Moving Average).

Исходными данными для оценки многолетних колебаний водности р. Оби

послужили среднегодовые расходы по данным гидропоста в г. Барнауле за период 1922–2022 гг. Использование длинного ряда (порядка 100 лет) дало возможность выделить различные по длительности периоды колебаний и выявить наиболее существенные из них.

Результаты и обсуждение

Как следует из анализа условий формирования поверхностного стока рек юга Западной Сибири [Ресурсы..., 1984] основной объем стока (до 75% годового) формируется в период половодья (весенний период). Поэтому объем стока должен зависеть от величины снегонакопления, интенсивности снеготаяния и осадков на спаде половодья (рис. 1).

Анализ многолетних колебаний стока методом разностной интегральной кривой. Наиболее известным и распространенным способом выделения гидрологических циклов являются разностные интегральные кривые (РИК), которые представляют собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года. Анализ многолетних колебаний стока крупнейших сибирских рек, выполненный с использованием РИК [Георгиади, Кашутина, 2016], показал, что с начала XX века четко выделяются две долговременные фазы изменения стока. Фаза снижения началась в 1930–40-х гг. и закончилась с началом глобального потепления в 1970–80-х гг. Фаза повышения продолжается до сих пор. На реках бассейна Верхней Оби отчетливо выделяется начало новой многоводной фазы с 2012 года [Самойлова и др., 2024a].

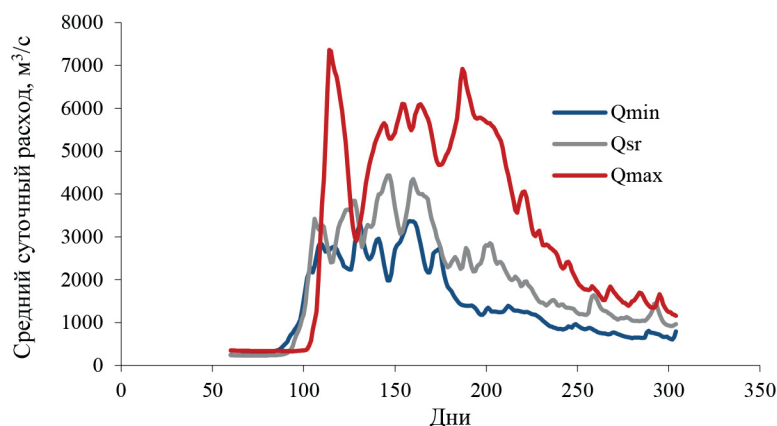


Рис.1. Хронологический ход стока реки Оби у города Барнаула в различные по водности годы: максимальный – 1952 г., средний – 1972 г., минимальный – 1968 г.

Fig. 1. Chronological variation of the Ob River flow near Barnaul in the years with different water content: maximum – 1952, average – 1972, minimum – 1968

По результатам анализа РИК, в верхнем течении р. Оби (рис. 2), выделяются длинные циклы, границы которых не противоречат полученным в работе [Георгиади, Кашутина, 2016]. Начало крупной многоводной фазы соответствует 1982 г. Внутри длинных циклов выделяются более короткие (табл. 1), длительностью примерно 12 лет (разброс от 8 до 14 лет).

Последний полный цикл водности (согласно таблице 1) наблюдался с 1998 по 2012 гг. Новый цикл начался в 2012 году. Его многоводная фаза продолжалась с 2012 до 2017 г., далее, до 2022 г. наблюдалось снижение водности.

Анализ многолетних колебаний стока и их прогноз с помощью спектрального анализа Фурье. Недостатком метода РИК считается тот факт, что при последовательном интегрировании данных влияние случайных составляющих не гасится, а, напротив, усиливается пропорционально $\sqrt{n}$, где n – порядковый номер члена в данном ряду. Накопление случайных погрешностей может перекрыть влияние реальных циклических колебаний и создать ложное впечатление о наличии длинных циклов, которых в действительности не существует. Здесь более эффективны другие методы, например, Фурье-анализ.

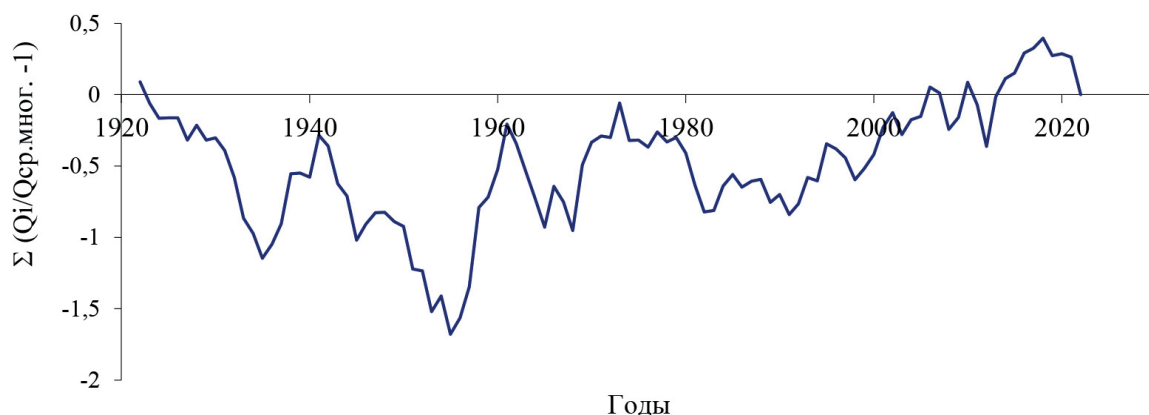


Рис. 2. Разностная интегральная кривая реки Оби у г. Барнаула

Fig. 2. The difference integral curve of the Ob River near Barnaul

Таблица 1

Продолжительность циклов водности реки Оби у г. Барнаула

Table 1

Duration of water content cycles of the Ob River near Barnaul

Период	Продолжительность
1927–1936	10
1936–1945	11
1945–1955	11
1955–1968	14
1968–1982	14
1982–1991	10
1991–1998	8
1998–2012	14
2012–2022	11

Методы взаимно дополняют друг друга и помогают избежать ошибок в выявлении ложных периодичностей [Бубин, Рассказова, 2013]. В работе [Бубин, Рассказова, 2013] отмечается, что «...Фурье-анализ устраняет неправильное представление или ложные теории о наличии тех или иных ритмически изменяющихся причин, их эффективности и взаимосвязи... Основное достоинство Фурье-анализа в том, что при его применении к исходным рядам наблюдений информация, содержащаяся в этих рядах, не теряется». В связи с этим метод успешно используется для долгосрочного прогнозирования речного стока [Добровольский, 2002; Исмайылова и др., 2022].

Для проведения спектрального анализа Фурье, в соответствии со стандартными рекомендациями, входной ряд среднегодовых расходов воды (1923–2022 гг., используется четное количество членов ряда) подвергнут предварительной обработке с исключением среднего значения и линейного тренда. По результатам спектрального анализа Фурье (10 наибольших членов

периодограммы, см. табл. 2 и рис. 3), выделены частоты, вносящие наибольший вклад в периодическое поведение всего ряда. В анализируемом временном интервале к этим частотам относятся гармоники с периодом 11.1 (9.0; 10.0; 14.29) лет, близкие к периодам солнечной активности, а также короткопериодные гармоники от 2 до 5 лет. Прогнозная кривая, рассчитанная по выбранным гармоникам, показана на рисунке 4.

На графике (рис. 4) результаты Фурье-анализа сопоставлены с данными по гидропосту (г/п) р. Обь – г. Барнаул за период 1923–2022 гг. Представленные графики на совпадающем временном интервале достаточно согласованы, что позволяет рассматривать экстраполяцию прогнозной кривой на будущее как один из возможных сценариев развития гидрологической ситуации. Увеличение водности по расчетам (см. рис. 4) ожидается, начиная с 2023 г., что отличается от данных таблицы 1 (последний цикл, выделенный по разностной интегральной кривой, наблюдался в 2012–2022 гг., 2022 год можно рассматривать как начало следующего цикла).

Таблица 2

Результаты спектрального анализа временного ряда среднегодовых расходов воды
(р. Обь – г. Барнаул)

Table 2

Results of spectral analysis of time series of average annual flow rates
(the Ob River – the city of Barnaul)

Частота (гармоники)	Период	Периодограмма	Спектральная плотность
0.09	11.1	738956.0	447973.3
0.1	10.0	394827.3	421835.2
0.25	4.0	388714.9	206666.3
0.27	3.7	360538.0	210981.7
0.07	14.29	305507.1	203851.8
0.35	2.86	290560.1	193401.7
0.11	9.09	272085.4	257647.0
0.49	2.04	234029.2	163307.8
0.39	2.56	215385.2	118809.6
0.19	5.26	191419.5	105264.8

Использование модели ARIMA для прогнозирования годовых расходов воды. Модель ARIMA (Модель авторегрессионного интегрированного скользящего среднего Auto Regressive Integrated Moving Average) для прогнозирования временных рядов, в том числе гидрологических, использует свойства автокорреляционных функций

[Хайндман, Атанасопулос, 2023]. Наличие внутрирядной связи годового стока отмечено в работах отечественных гидрологов, начиная с 30-х годов прошлого века [Рождественский, Чеботарев, 1974]. Однако, там же [Рождественский, Чеботарев, 1974] указывается, что автокорреляционные функции неустойчивы во времени, и их поведение существенно зависит от длины ряда.

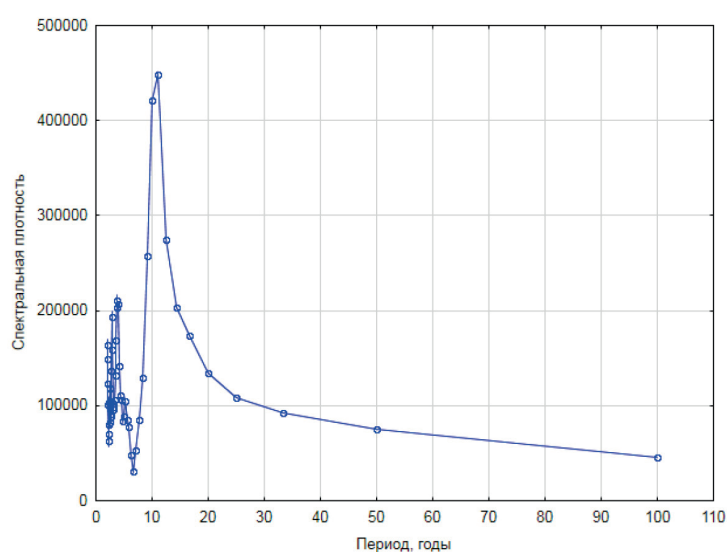


Рис. 3. Результаты спектрального анализа временного ряда среднегодовых расходов воды
(р. Обь – г. Барнаул)

Fig. 3. Results of spectral analysis of time series of average annual flow rates
(the Ob River – the city of Barnaul)

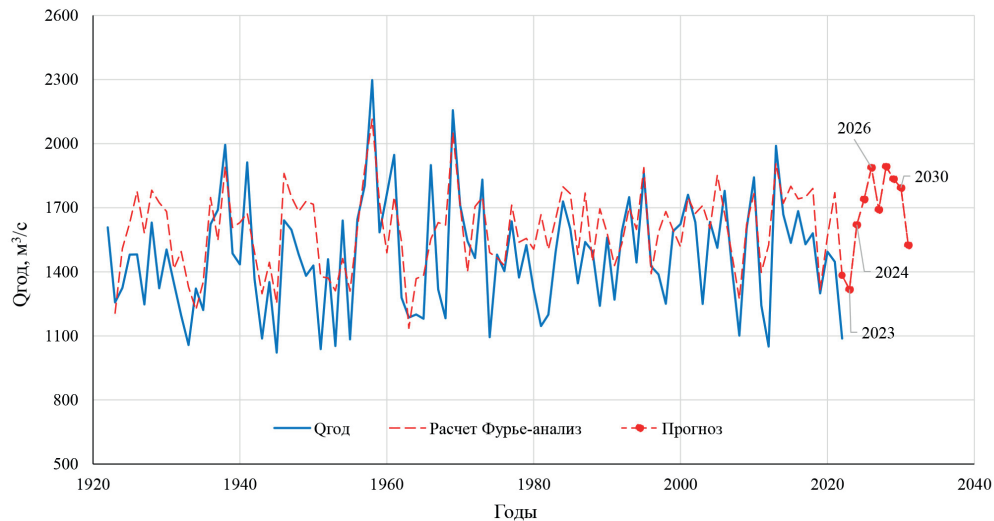


Рис. 4. Прогнозная кривая, рассчитанная по 10 выбранным гармоникам Фурье-анализа
(р. Обь – г. Барнаул)

Fig. 4. The forecast curve calculated from 10 selected harmonics (Fourier analysis)
(the Ob River – the city of Barnaul)

В современных исследованиях [Волчек и др., 2021] используется модель Бокса-Дженкинса [Бокс, Дженкинс, 1974], которая, наряду с авторегрессионными функциями, использует модель скользящего среднего и учитывает возможную нестационарность временного ряда.

Процесс авторегрессии полагает, что временной ряд содержит элементы, которые последовательно зависят от предшествующих членов ряда.

Такая зависимость может быть выражена уравнением (1):

$$y_t = \xi + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon, \quad (1)$$

где ξ – константа (свободный член), $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ – параметры авторегрессии, p – порядок авторегрессии, ε – случайная компонента.

В отличие от процесса авторегрессии, в процессе скользящего среднего каждый элемент ряда подвержен воздействию предыдущей ошибки. В общем виде это можно записать следующим образом (2):

$$y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (2)$$

где μ – константа, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ – пара-

метры модели скользящего среднего, q – порядок скользящего среднего.

Таким образом, каждое наблюдение ряда представляет собой сумму случайной компоненты в момент времени t и линейной комбинации случайных воздействий в предыдущие моменты времени.

В общем виде модель ARIMA включает три параметра (p, d, q), значения которых определяются на этапе идентификации порядка модели, где:

p – количество членов авторегрессии (порядок авторегрессии),

d – количество несезонных различий (параметр интегрирования или количество разностей, необходимых для того, чтобы временной ряд стал стационарным),

q – количество членов для скользящего среднего (порядок скользящего среднего).

Не существует формализованных алгоритмов, позволяющих однозначно определить количество параметров модели. Поэтому процесс идентификации порядка модели выполняется многократно в соответствии с требованиями эффективности

и экономности, где под эффективностью понимается наилучшее соответствие (по некоторому критерию) рассчитанных по модели и входных (исходных) данных. Экономность модели означает, что в ней имеется наименьшее число параметров и наибольшее число степеней свободы среди всех моделей, которые подгоняются к данным. В качестве критерия эффективности использовано значение RMSE (Root Mean Squared Error) – корень из среднеквадратической ошибки модели. Параметры модели, минимизирующие RMSE, определялись методом максимального правдоподобия.

В процессе рассмотрения различных вариантов p , d и q однозначно определены значения $d=1$ и $q=1$. Значения p задавались на интервале $[0, 10]$ и $[0, 20]$. На первом интервале минимальное значение $RMSE=245.6$ получено при $p=9$. На втором при $p=15$ критерий $RMSE=241.8$. Другие варианты p приводили к худшим результатам подгонки или к нестационарности вычислений. Для визуального контроля на рисунке 5 приведены прогнозные кривые для моделей $ARIMA(9, 1, 1)$ и $ARIMA(15, 1, 1)$.

Как следует из рисунка 5, графики, построенные по моделям $ARIMA(9, 1, 1)$ и $ARIMA(15, 1, 1)$, практически идентичны. В соответствии с требованием экономности возможно использование модели $ARIMA(9, 1, 1)$. Дальнейшее уменьшение параметра p приводит к неэффективным моделям, графики которых существенно отличаются от приведенных на рисунке 5. Прогнозные графики в большинстве временных периодов изменяются синхронно с хронологическим рядом среднегодовых расходов, построенном по данным г/п

р. Обь – г. Барнаул, но отличаются по амплитуде. Увеличение водности аналогично расчетам Фурье-анализа (см. рис. 4) ожидается, начиная с 2023 г. После 2025 г. возможны колебания относительно среднемноголетнего расхода.

Материалы наблюдений за уровнем воды в период половодья 2023 и 2024 года показали, что максимальные уровни воды были вызваны снеготаянием в горной части бассейна. Уровень воды в 2023 г. был близок критическому и составил 559 см (при критической отметке 560 см), а в 2024 году превысил его (573 см) [Самойлова и др., 2024б]. Очевидно, водность реки Оби в 2023 и 2024 годах должна быть выше среднемноголетней, что в целом соответствует прогнозу. По данным РИК, последний цикл начался в 2012 г. с многоводной фазы, а маловодная фаза этого цикла, очевидно, закончилась в 2022 г. Таким образом, продолжительность последнего цикла составила 11 лет, а с 2023 года началась многоводная фаза нового гидрологического цикла.

Выводы

Статистический анализ колебаний водности р. Обь у г. Барнаула с помощью разностных интегральных кривых выявил наиболее значимые периодические колебания водности с периодом 8–14 лет, в среднем – 12 лет. Последний полный цикл наблюдался в 2012–2022 г., его продолжительность составила 11 лет. Очевидно, с 2023 г. должен начаться новый цикл, и в ближайшие несколько лет (как минимум 4) сток должен быть близким к среднему многолетнему или, вероятней всего, превышать его.

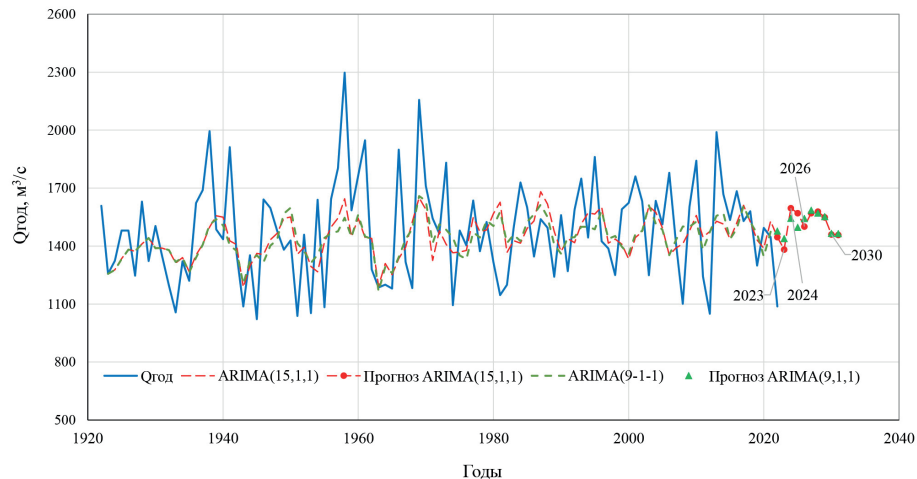


Рис. 5. Прогнозные кривые для моделей ARIMA(9, 1, 1) и ARIMA(15, 1, 1) (р. Обь – г. Барнаул)
 Fig. 5. Forecast curves for models ARIMA(9, 1, 1) and ARIMA(15, 1, 1) (the Ob River – the city of Barnaul)

По данным прогноза, выполненного с помощью спектрального анализа Фурье и модели авторегрессионного интегрированного скользящего среднего ARIMA, с 2023 г. должно наблюдаться увеличение водности. При этом, согласно Фурье-анализу, до 2030 г. включительно водность прогнозируется значительно выше среднегогодовой. По модели ARIMA после 2025 г. прогнозируются колебания годовых расходов около среднемноголетнего.

Материалы наблюдений показали, что водность реки Оби в 2023 и 2024 годах, вероятно, выше среднемноголетней, что полностью подтверждает выполненный прогноз.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект № 0306-2021-0002 «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

Список литературы

Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1. М.: Мир, 1974. Т. 1. 406 с.

Бубин М.Н., Рассказова Н.С. Ритмичность многолетних колебаний стока рек как интегральный показатель изменчивости климата (на примере Урала). Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 279 с.

Волчек А.А., Парфомук С.И., Сидак С.В. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы // Вестник БрГТУ. 2021. №1 (124). С. 69–76. doi: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-69-76

Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток

рек России: оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, №. 1. С. 36–79. doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-36-79

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70–81. doi: 10.15356/0373-2444-2016-5-70-81

Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «Гидросфера-Атмосфера». М.: ГЕОС, 2002. 232 с.

Исмайлова И.Г., Исмайлов Г.Х., Муращенкова Н.В., Перминов А.В. Анализ и прогноз речных вод в зоне формирования стока реки Волги методом тенденций // Природообустройство. 2022. № 5. С. 74–82. doi: 10.26897/1997-6011-2022-2-69-78

Ладюри Э.Ле Руа. История климата с 1000 года. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 296 с.

Логинов В. Ф., Волчек А. А. Колебания годового стока воды р. Неман у г. Гродно // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, №. 6. С. 655–663.

Ресурсы поверхностных вод. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1: РСФСР, Вып. 10: Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза / под ред. Ж.С. Попова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 542 с.

Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

Самойлова С.Ю., Ловцкая О.В., Голубева А.Б. Оценка стационарности годового и сезонного стока рек бассейна Верхней Оби // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024а. № 5. С. 21–38. doi: 10.35567/19994508-2024-5-21-38

Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В., Казанцева В.А. Среднесрочный прогноз максимальных уровней воды в реке Обь у г. Барнаула в 2024 г. // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024б. № 3 (74). С. 41–49.

Хайндман Р., Атанасопулос Д. Прогнозирование: Принципы и практика. М.: ДМК Пресс, 2023. 458 с.

References

Box J., Jenkins G. Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie [Time Series Analysis. Forecast and Management]. Issue 1. Moscow: Mir, 1974. Vol. 1. 406 p. (in Russian).

Bubin M.N., Rasskazova N.S. Ritmichnost' mnogoletnih kolebanij stoka rek kak integral'nyj pokazatel' izmenchivosti klimata (na primere Urala) [Rhythmicality of long-term fluctuations in river runoff as an integral indicator of climate variability (using the Urals as an example)]. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2013. 279 p. (in Russian).

Volchek A.A., Parfomuk S.I., Sidak S.V. Prognoznye ocenki maksimal'nyh raskhodov vody reki Dnepr v stvore goroda Rechicy [Forecast estimates of maximum water discharges of the Dnieper River at the Rechitsa city section] // Bulletin of BrSTU. 2021. No. 1 (124).

P. 69–76. doi: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-69-76 (in Russian).

Gelfan A.N., Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Grigoriev V.Yu., Motovilov Yu.G., Gusev E.M. Vliyanie izmeneniya klimata na godovoj i maksimal'nyj stok rek Rossii: oценка i prognoz [The Impact of Climate Change on the Annual and Maximum Runoff of Russian Rivers: Assessment and Forecast] // Fundamental and Applied Climatology. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 36–79. doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-36-79 (in Russian).

Georgiadi A.G., Kashutina E.A. Dolgovremennye izmeneniya stoka krupnejshih sibirskih rek [Long-term Changes in the Runoff of the Largest Siberian Rivers] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. 2016. No. 5. P. 70–81. doi: 10.15356/0373-2444-2016-5-70-81 (in Russian).

Dobrovolsky S.G. Klimaticheskie izmeneniya v sisteme «Gidrosfera-Atmosfera» [Climate Changes in the Hydrosphere-Atmosphere System]. Moscow: GEOS, 2002. 232 p. (in Russian).

Ismaylova I.G., Ismayilov G.Kh., Murashchenkova N.V., Perminov A.V. Analiz i prognoz rechnyh vod v zone formirovaniya stoka reki Volgi metodom tendencij [Analysis and Forecast of River Waters in the Volga River Runoff Formation Zone Using the Trends Method] // Nature Management. 2022. No. 5. P. 74–82. doi: 10.26897/1997-6011-2022-2-69-78 (in Russian).

Ladurie E. Le Roy. Istoriya klimata s 1000 goda. [History of climate since 1000]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 296 p. (in Russian).

Loginov V.F. Volchek A.A. Variations in Neman River annual runoff near Grodno Town // Water Resources. 2006. Vol. 33, no. 6. P. 608–615. doi: 10.1134/S0097807806060029.

Resursy poverhnostnyh vod. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Ch. 1: Reki i kanaly. T. 1: RSFSR, Vyp. 10: Bassejny Obi (bez bassejna Irtysha), Nady-ma, Pura, Taza [Surface water resources. Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land. Part 1: Rivers and canals. Vol. 1: RSFSR, Issue 10: Ob (excluding the Irtysh basin), Nadym, Pur, Taz basins] / Ed. Zh.S. Popov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 542 p. (in Russian).

Rozhdestvensky A.V., Chebotarev A.I. Statisticheskie metody v gidrologii [Statistical methods in hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 424 p. (in Russian).

Samoylova S.Yu., Lovtskaya O.V., Golubeva A.B. Ocenka stacionarnosti godovogo i sezonnogo stoka rek bassejna Verhnej Obi [Estimation of stationarity of annual and seasonal runoff of the rivers of the Upper Ob basin] // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2024a. No. 5. P. 21–38. doi: 10.35567/19994508-2024-5-21-38 (in Russian).

Samoylova S.Yu., Mardasova E.V., Kazantseva V.A. Srednesrochnyj prognoz maksimal'nyh urovnej vody v reke Ob' u g. Barnaula v 2024 g. [Medium-term forecast of maximum water levels in the Ob River near Barnaul in 2024] // Bulletin of the Russian Geographical Society. 2024b. No. 3 (74), P. 41–49. (in Russian).

Hindman R., Athanasopoulos D. Prognozirovanie: Principy i praktika [Forecasting: Principles and Practice]. M.: DMK Press, 2023. 458 p. (in Russian).

STATISTICAL ANALYSIS OF WATER CONTENT FLUCTUATIONS IN THE OB RIVER NEAR THE CITY OF BARNAUL FOR 1922–2022

V.P. Galakhov, O.V. Lovtskaya, S.Y. Samoilova, A.V. Kudishin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: galahov@iwep.ru, lov@iwep.ru, bastet@iwep.ru, avkudishin@yandex.ru

Cyclic fluctuations in water flow rates of the Ob River for 1922–2022 were analyzed using the classical statistical methods (difference integral curves, spectral Fourier transforms, and the Auto Regressive Integrated Moving Average Model ARIMA). The application of long series allowed to identify the fluctuation periods of different duration, including the most significant ones. A long-term forecast of the Ob water content near the city of Barnaul was made based on the established cycles. The flow was predicted to be close to the long-term average or higher for several years, starting from 2023. The forecast for 2023–2024 was justified.

Keywords: Ob River; flow rate; water content; hydrological cycle; difference integral curves; spectral Fourier transforms; ARIMA.

Received October 7, 2024. Accepted: November 17, 2024

Сведения об авторах

Галахов Владимир Прокопьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: galahov@iwep.ru.

Ловцкая Ольга Вольфовна – старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-3942-1350. E-mail: lov@iwep.ru.

Самойлова Светлана Юрьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Кудишин Алексей Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-5613-5778. E-mail: avkudishin@yandex.ru.

Information about authors

Galakhov Vladimir Prokop'evich – PhD in Geography, senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia. E-mail: galahov@iwep.ru.

Lovtskaya Olga Vol'fovna – senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3942-1350. E-mail: lov@iwep.ru.

Samoilova Svetlana Yur'evna – PhD in Geography, senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Kudishin Alexey Vasil'evich – PhD in Physics and Mathematics, senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038, Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-5613-5778. E-mail: avkudishin@yandex.ru.