

ПРОГНОЗЫ ГОДОВОГО СТОКА Р. ЖАЙЫК (УРАЛ) С УЧЕТОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЕГО МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЗА ОТДЕЛЬНЫЕ МЕСЯЦЫ

А.В. Бабкин¹ д.г.н., В.И. Бабкин¹ д.г.н., А.С. Мадибеков² PhD, А. Мусакулкызы^{2*} к.т.н.,
А.В. Чередниченко³ д.г.н.

¹Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

²Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

³НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: mus_ain@mail.ru

Исследование посвящено разработке и применению автокорреляционных и общих регрессионных моделей для долгосрочного прогнозирования стока реки Урал (Жайык) на основе анализа многолетних колебаний. Река Урал является важным водным ресурсом Российской Федерации и Республики Казахстан, демонстрируя значительную изменчивость годового стока, которая влияет на различные отрасли хозяйственной деятельности. В ходе исследования были оценены годовые и месячные ряды стока реки за период с 1943 по 2010 год с использованием метода автокорреляции Ю.М. Алехина. На основе этих данных были составлены прогнозы на период с 2011 по 2015 годы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что автокорреляционные модели обеспечивают более точные прогнозы по сравнению с моделями, основанными на средних значениях рядов. Общая регрессионная модель, интегрирующая месячные и годовые данные, показала наилучшие результаты, подтверждая эффективность комбинированного подхода в прогнозировании гидрологических характеристик. Научная значимость работы заключается в повышении точности и надежности прогнозов стока реки Урал, что способствует более эффективному управлению водными ресурсами в данном регионе.

Ключевые слова: ряды стока, автокорреляция, множественная регрессия, прогноз

Поступила: 08.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-16-25

ВВЕДЕНИЕ

Река Урал, протяженностью 2428 км, является третьей по протяженности рекой Европы, уступает только Волге и Дунаю. Формируется на территории Российской Федерации (РФ), берет начало на южном Урале, на хребте Уралтау, впадает в Каспийское море у г. Атырау. Длина реки в пределах Республики Казахстан (РК) составляет 1084 км, здесь она называется рекой Жайык. В верховьях Урал представляет собой горную реку, ниже г. Верхнеуральска – это равнинная река. Ниже г. Орск она поворачивает на запад и юго-запад, от г. Уральск протекает с севера на юг. Участок реки до г. Орск считается верхним течением, участок от г. Орска до г. Уральска – средним течением, а участок от г. Уральска до Каспийского моря – нижним течением. Река Жайык играет ключевую роль в обеспечении

водой населения и различные отрасли экономики Западного Казахстана. Чрезвычайно высоко значение водных ресурсов р. Жайык в динамике уровня режима и водно-солевом балансе крупного трансграничного Каспийского моря. Водные ресурсы в нижнем течении широко используются в бассейне для хозяйственных целей. Вместе с тем приток этих маломинерализованных вод в Каспийское море приводят к существенному опреснению мелководной зоны Казахстанского сектора моря, что создает благоприятные условия для воспроизводства запасов ценных промысловых рыб, в т.ч. осетровых видов.

По имеющимся многолетним данным (Гальперин, 2012), величина годового стока р. Жайык характеризуется значительной изменчивостью и некоторой тенденцией к понижению.

Наибольшее значение его годового ряда, отмечавшееся в 1948 г., составило 20,1 км³/год, самый маленький сток – 2,85 км³/год был в 2006 г. По сравнению средним многолетним равным 12,0 км³, уменьшилась, например, к 2016 г. в среднем до 7,47 км³ или на 37,8 %.

В бассейне р. Урал колебания стока влияют на коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение, рыболовство, судоходство, осуществляемое на ее отдельных участках, гидроэнергетику и другие отрасли современного производства. На территории Казахстана в связи с некоторыми особенностями: значительной ограниченностью местными водными ресурсами; зависимостью от государств-соседей, на территории которых формируется большая часть стока трансграничных рек; рекордной для континента межгодовой изменчивостью стока наших рек, что означает глубокую маловодность отдельных лет или даже их группировок; исключительной неравномерностью распределения стока равнинных рек внутри года, что предопределяет, с одной стороны, очень низкую межень (вплоть до полного прекращения стока), а с другой стороны – угрозу разрушительных половодий; наблюдающимся и продолжающимся ростом опустынивания территории в связи с глобальными климатическими изменениями, разработка методов долгосрочного прогнозирования стока этой реки является актуальной научной проблемой, важной для их развития.

Оценка водных ресурсов по уравнению водного баланса по данным прогнозных значений испарения, полученных кафедрой метеорологии КазНУ в 2010...2011 гг., приводит к завышению величины стока на 100...150%. Например, при ожидаемой величине к 2020 по сценарию климата В1 X = 243 мм и E = 152, - величина U=97 мм, что соответствует для Жайык-Каспийского бассейна Q = 822 м³/с. (W=27838 млн. м³), не оправдано (Гальперин, 2012). Поэтому поставленная задача решалась в рамках исследований (Шиварева, 2012) путем определения годового стока р. Жайык (Урал) на перспективу до 2035 г. Для этого были использованы сценарные прогнозы количества осадков, полученные по ансамблю из 9 моделей глобального климата с использованием

программного комплекса MAGICC/SCENGEN (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change / SCENarioGENerator, version 5.3.v2). Будущие изменения количества осадков были рассчитаны для временного периода 2006...2035 гг. относительно базового периода 1980...1999 гг. в соответствии с двумя сценариями выбросов парниковых газов SRES (“Special report on emission scenarios” – Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов): А2 и В1.

В данной работе использовалась практическая применимость динамико-статистического метода для прогнозов широкого круга процессов: океанологических, метеорологических и гидрологических. Последнее свидетельствует об универсальности данного метода, о его эффективности изложена в ряде работ (Алехин, 1961; Алехин, 1963; Алехин и др., 1968; Гвоздева, 1972) (в наиболее систематизированном виде в (Алехин и др., 1968; Гвоздева, 1972)). Динамико-статистический метод отличается от подавляющего большинства традиционных методов прогнозирования, особенно в гидрологии, за исключением способов экстраполяции, тем, что он не учитывает внешние факторы прогнозируемых элементов. Суть метода заключается в том, что он выражает зависимость элементов, образующих последовательность членов прогнозируемого временного ряда. Следовательно, прогноз каждого последующего члена ряда осуществляется только на основе предшествующих членов, исходя из предположения о существовании внутренней закономерности или обратной связи в самих макропроцессах, предполагая связь их предыдущих и будущих значений. Конкретным проявлением этой закономерности является, на наш взгляд, цикличность всех естественных процессов.

Выбор данной методики также обусловлен предыдущей работой (Мадибеков А.С. и др., 2018), где в результате сравнительного анализа расхождение между прогнозируемым и фактическим уровнем озера Маркаколь составило не более 10%.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сток рек Жайык-Каспийского района

широко используются в различных отраслях хозяйства. Для этой цели на многих реках построены крупные водохранилища и множество мелких прудов, что приводит к изменению характеристик гидрологического режима водных объектов.

В зоне деятельности Жайык-Каспийского района действует 34 водохранилища с общей полезной проектной емкостью 1020,15 млн. м³: в Западно-Казахстанской области - 25 водохранилищ с общей полезной проектной ёмкостью 506,45 млн. м³, в Актюбинской области – 9 водохранилищ с общей полезной проектной ёмкостью 513,7 млн. м³. На р. Жайык на территории РФ действует крупное Ириклинское водохранилище с полезной емкостью 2160 млн. м³. В Западно-Казахстанской области все крупные водохранилища в основном расположены на канале Кушум или на протоках р. Жайык, поэтому эти водохранилища на годовой сток р. Жайык прямого влияния не оказывают. Изменение годового стока в створе р. Жайык – с. Кушум происходит за счет забора в канал Кушум у с. Кушум, а также других водозаборных сооружений, расположенных по длине реки, и влияния Ириклинского водохранилища (Гальперин, 2012).

Прогнозы годового стока р. Жайык, основаны на данных по стоку Глобального центра GRDC (Глобальный центр данных по стоку) и частично дополнены мониторинговыми материалами РГП «Казгидромет», которые находятся в общем доступе (Водный кадастр, 2000-2016; Метеорологическая и гидрологическая базы данных). Для прогноза стока р. Жайык использовались фактические значения расхода воды, т. к. прогнозный ряд на перспективу осуществляется только по предшествующим членам, исходя из предпосылки о существовании внутрирядной закономерности или обратной связи в самих макропроцессах (подразумевая связь их предшествующих и будущих значений).

Оценки и прогнозы различных гидрологических характеристик проводятся в результате разработки математических моделей, количественно и качественно описывающих их колебания в прошлом, а также их современные изменения (Георгиевский, 2007; Корень, 1991). Их

часто получают с учетом различных приемов математической статистики и стохастического моделирования (Гельфан, 2007; Румянцев и др., 2008). При составлении моделей гидрологических характеристик учитывается корреляция между их значениями за год и за отдельные месяцы (Васильев и др., 2020).

В настоящем исследовании ряды многолетних колебаний стока р. Урал у поселка Махамбет соответственно за каждый отдельный месяц и его среднегодовых значений за 1943...2010 гг. моделировались автокорреляционным методом Ю.М. Алехина (Алехин, 1963), и прогнозировались на следующие пять лет. Полученные автокорреляционные ряды объединялись в общую регрессионную модель колебаний годовых значений стока. На основе этой регрессионной модели на интервале 2011...2015 гг. также рассчитаны поверочные прогнозы погодичных значений стока за годы. Оценка результатов всех прогнозов выполнена на независимом материале.

Метод Ю.М. Алехина основан на методе множественной регрессии, когда анализируемый ряд коррелируется с последовательно сдвигаемыми его же значениями. В настоящем исследовании при разработке автокорреляционных моделей каждый исходный ряд коррелировался с тремя рядами его же значений, последовательно сдвинутых на год. Составляется корреляционная матрица, из которой выделяются ее миноры.

По отношению определителей соответственно корреляционной матрицы и ее первого минора оценивается полный коэффициент корреляции регрессионной модели и ряда исходных данных (Бабкин, 1970; Романовский, 1938). Коэффициенты и свободный член уравнения регрессионной модели рассчитываются с учетом отношений определителей последующих миноров корреляционной матрицы к определителю ее первого минора.

Для всех рядов стока при прогнозировании на каждый год поверочного интервала строилась своя автокорреляционная модель. Рассчитанный по ней сток подставлялся в исходный ряд, удлиняя его на одно значение, после чего ряд анализировался, моделировался и прогнозировался тем же самым способом.

При этом, коэффициенты уравнения регрессии, его свободный член, а также значения автокорреляционной модели, менялись сравнительно мало.

Из-за сдвигания исходного ряда полученный автокорреляционный ряд оказывается короче его на три первых значения. Сопоставление исходного ряда и его автокорреляционной модели проводится без их учета.

Правильность составления всех автокорреляционных моделей и общей регрессионной модели во всех случаях подтверждалась равенством их полных коэффициентов корреляции, оцененных с учетом отношения определителей соответствующих матриц, соответственно со значениями их корреляции с исходными рядами, рассчитанными по стандартной формуле. При этом средние значения полученных и исходных рядов были равны.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты прогнозов на временном интервале оцениваются по числу верных прогнозов на нем за отдельные годы и по сумме относительных ошибок прогнозирования. Прогноз стока следует считать оправдавшимся, если его ошибка меньше 0,674 от среднего квадратического отклонения его ряда (Апол-

лов, 1974). На многолетнем интервале в целом результаты предсказания оцениваются по количеству верных на нем погодичных прогнозов N , и по относительной ошибке прогнозирования dr . Величина dr представляет собой отношение средней квадратической ошибки прогнозов на нем к среднему квадратическому отклонению анализируемого ряда (Бабкин и др., 2020; Madibekov A S. et al, 2018). Относительная ошибка прогнозирования представляет собой отношение его средней квадратической ошибки к среднему квадратическому отклонению анализируемого ряда. Успешный прогноз стока также должен быть не хуже его предсказания по среднему значению его ряда.

Среднее годовое за 1943...2010 гг. значение стока р. Урал у поселка Махамбет Q_{cp} равно 8,42 км³/год, а его среднее квадратическое отклонение σ – 3,98 км³/год. Допустимая ошибка прогноза оказалась равной 2,68 км³/год.

Средние значения годовых рядов стока за каждый месяц и их средние квадратические отклонения приведены в таблице 1 в столбцах соответственно 2 и 3. В первом ее столбце цифрами указаны соответствующие месяцы. Самый большой средний сток – 32,33 км³/год отмечается в мае, а самый маленький – 2,49 км³/год – в феврале.

Таблица 1

Результаты анализа и прогнозирования стока р. Урал – пос. Махамбет на отдельные месяцы 2011...2015 гг.

№	Q_{cp} , км ³ /год	σ , км ³ /год	N_{cp}	dr_{cp}	$N_{лет}$	$dr_{лет}$
1	2	3	4	5	6	7
1	2,54	1,23	3	0,884	3	0,827
2	2,49	1,26	3	0,816	4	0,763
3	3,02	1,60	3	0,722	3	0,612
4	13,84	8,72	3	0,670	4	0,676
5	32,33	20,96	4	0,500	4	0,556
6	20,04	13,76	2	0,661	1	0,692
7	8,02	4,01	3	0,591	4	0,486
8	5,01	2,31	3	0,502	5	0,345
9	3,90	1,69	3	0,576	4	0,596
10	3,67	1,49	4	1,266	4	1,474
11	3,58	1,66	3	1,192	4	1,138
12	2,62	1,38	3	1,181	4	1,298
Итого			37	9,561	44	9,463

С марта по май средний месячный сток монотонно увеличивается, а с июля по февраль – уменьшается. При этом, самое большое его среднее квадратическое отклонение, равное $20,96 \text{ км}^3/\text{год}$, также получено для мая. Самое маленькое его значение – $1,23 \text{ км}^3/\text{год}$, отмечается в январе.

На рисунках 1 и 2 представлены мно-

голетние колебания стока р. Урал соответственно за январь, апрель, июль и октябрь, и за годы. Вместе с рядами стока на рисунке 1 и 2а нанесены соответствующие автокорреляционные модели, на рисунке 2б – общая регрессионная модель. В левом нижнем углу рисунков указана корреляция моделей и соответствующих исходных рядов r .

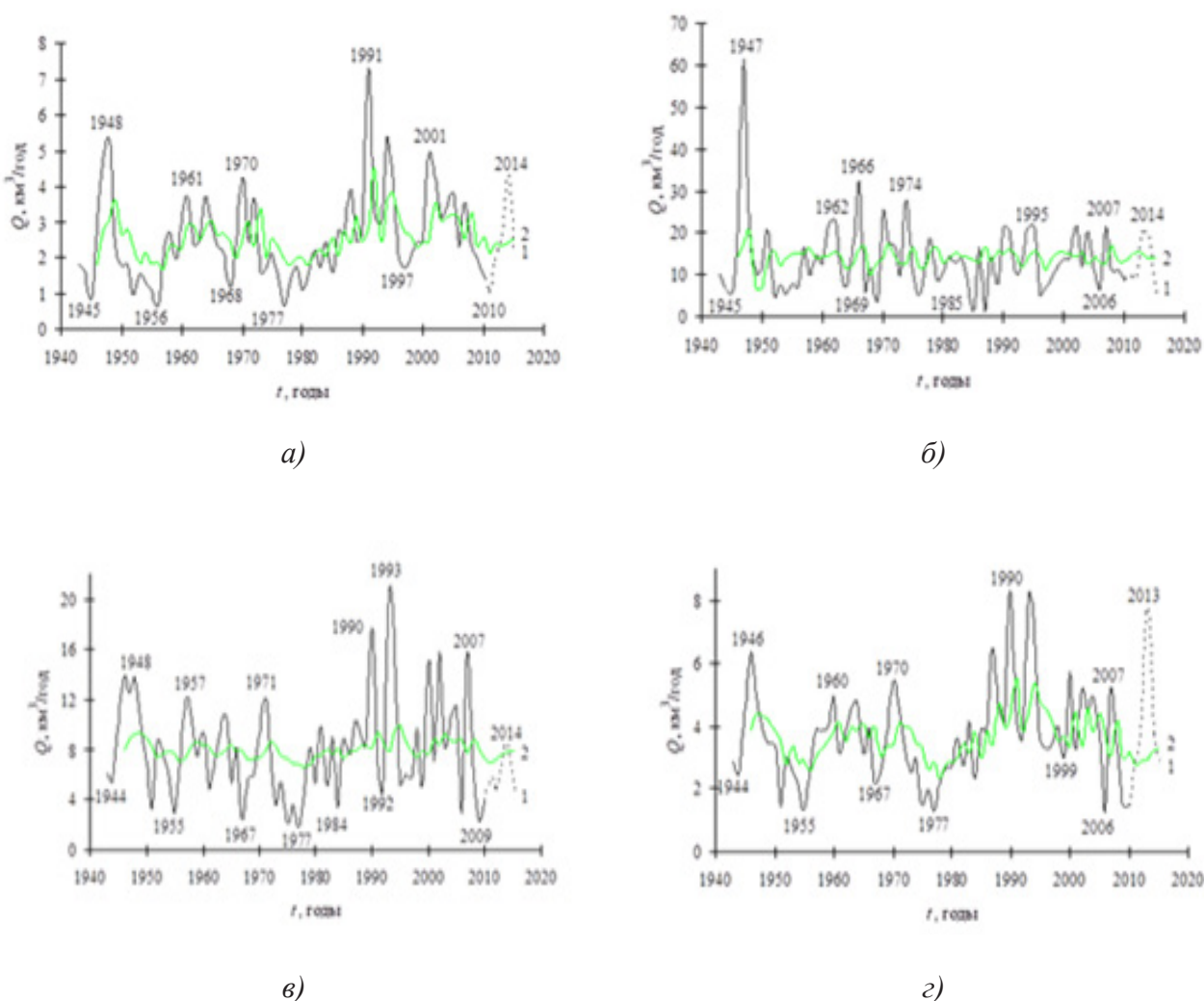


Рис.1. Многолетние колебания стока р. Урал – пос. Махамбет за январь (а), апрель (б), июль (в) и октябрь (г), и их автокорреляционные модели: 1 – данные наблюдений (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза 2011...2015 гг.), 2 – их модели, составленные с учетом соответственно исходного ряда и трех рядов его значений, последовательно сдвинутых на год

Самая высокая корреляция автокорреляционной модели и ряда стока за представленные на рис. 1 месяцы – 0,46 отмечается за январь. У октябрьского ряда его корреляция с моделью составила 0,45. За апрель и июль ее значения соответственно равны 0,25 и 0,18. Корреляция автокорреляционной модели и

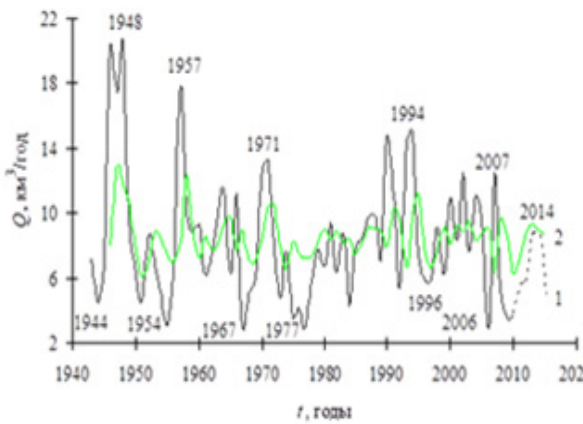
ряда годового стока составила 0,35, а этого ряда и общей регрессионной модели – 0,65.

Общая регрессионная модель лучше описывает исходный ряд, чем соответственно автокорреляционные модели месячного и годового стока их ряды. У общей регрессионной модели максимумы и

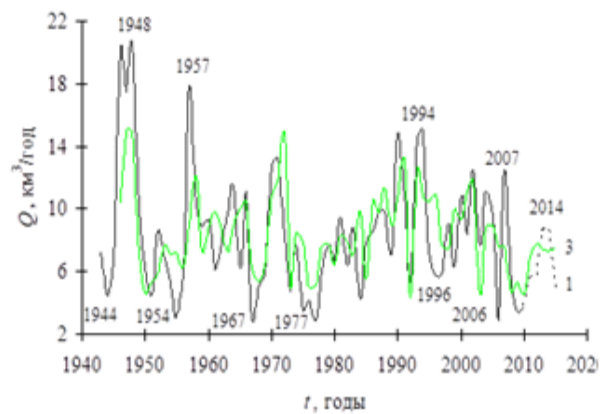
минимумы чаще приходятся на те же годы, что и соответствующие экстремумы исходного ряда, чем у автокорреляционных моделей.

Результаты прогнозов рядов годовых значений стока р. Урал каждого месяца представлены в таблице 1. В столбцах соответственно 4 и 6 приводится количество верных на поверочном интервале прогнозов, в столбцах 5 и 7 – относительная ошибка про-

гнозирования. Символами N_{cp} и dr_{cp} обозначены соответственно число оправдавшихся предсказаний и относительная ошибка прогнозирования по среднему значению ряда, символами $N_{авт}$ и $dr_{авт}$ – по соответствующим автокорреляционным моделям. В последней строке таблицы для всех месяцев года найдены суммы соответственно количеств верных прогнозов и относительных ошибок.



а) $r = 0,352$



б) $r = 0,652$

Рис.2. Многолетние колебания стока р. Урал – пос. Махамбет и их модели: 1 – данные наблюдений (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза 2011...2015 гг.), 2 – кривая, построенная по автокорреляционной модели с учетом ряда 1 и трех рядов его значений, последовательно сдвинутых на год, 3 – кривая, построенная по модели множественной регрессии с учетом двенадцати автокорреляционных рядов многолетних колебаний стока каждого месяца, рассчитанных по соответствующим исходным рядам и трем рядам их значений, последовательно сдвинутых на год, и ряда кривой 2

Прогнозы годовых значений стока месяцев по автокорреляционным моделям оказались несколько лучше, чем по средним значениям рядов. По всем месяцам по автокорреляционным моделям оправдалось 44 прогноза, тогда как по среднему значению – 37. Суммы относительных ошибок по среднему значению рядов и по автокорреляционным моделям составили соответственно 9,561 и 9,463.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозы по автокорреляционным моделям получились лучше, чем по среднему значению за январь, февраль, март, июль и август. За май, июнь и октябрь прогнозы по среднему значению рядов оказались лучше, чем по автокорреляционным моделям. На остальные месяцы – апрель, сентябрь, ноябрь и декабрь – результаты прогнозов по среднему значению ряда и по автокорреляционным моделям можно оценить, как примерно одного качества. Здесь ко-

личество оправдавшихся прогнозов больше по автокорреляционным моделям, но и сумма квадратов ошибок прогнозирования также выше.

В таблице 2 представлены результаты прогнозов годовых значений стока р. Урал. В столбце 1 указаны соответственно число верных предсказаний и относительная ошибка прогнозирования по среднему значению ряда, в столбце 2 – по автокорреляционной модели, в столбце 3 – по общей регрессионной модели.

Результаты прогнозов годового стока по автокорреляционной модели получились лучше, чем по среднему значению ряда. По этим методикам оправдалось по 3 прогноза, но относительная ошибка по автокорреляционной модели оказалась несколько меньше. Самыми лучшими получились прогнозы по общей регрессионной модели. По ней все 5 прогнозов оказались верными, а относительная ошибка получилась меньше, чем по автокорреляционной модели.

Таблица 2

Результаты прогнозов стока р. Урал – пос. Махамбет на годы 2011...2015 гг.

	1	2	3
<i>N</i>	3	3	5
<i>dr</i>	0,593	0,590	0,449

Таким образом, использование в методике прогнозирования годового стока автокорреляционных моделей его колебаний отдельных месяцев позволило улучшить результаты предсказаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин Ю. М. Динамико-статистический метод прогноза геофизических макропроцессов. Труды ЛГМ И, 1961, вып. 11, с. 97—123.
2. Алехин Ю.М. Статистические прогнозы в геофизике. – Л.: ЛГУ, 1963. 86 с.
3. Алехин Ю. М., Кондратович К. В., Гвоздева В. Г. Динамико-статистический метод прогнозирования гидрометеорологических процессов и его практическое применение. Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна, Мурманск, 1968, вып. XII, с. 123—138.
4. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.
5. Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В. Закономерности месячных колебаний стока реки Или и его прогнозирование // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. №3. С. 384–394.
6. Бабкин В.И. Метод множественной линейной корреляции и его применение в гидрологических исследованиях // Сб. работ по гидрологии, Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – №9. С. 29–39.
7. Васильев Д.Ю., Водопьянов В.В., Закирзянов Ш.И., Кенжебаева А.Ж., Семенов В.А., Сивохиц Ж.Т. Корреляционные связи многолетних колебаний месячного и годового стока в бассейне реки Урал // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. №3. С. 414–426.
8. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн. 1. – 684 с.
9. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. IX: Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий): кн. 1: Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей / Шиварева С.П., Ли В.И., Ивкина Н.И. – Алматы. – 2012 г. – 456 с.
10. Гвоздева В. Г. Комплексная программа прогнозирования на ЭВМ динамико-статистическим методом Ю. М. Алехина. Труды ЛГМИ, 1972, вып. 47, с. 115—123.

11. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 280 с.
12. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. – СПб.: РГТМУ, 2007, 435 с.
13. Глобальный центр данных по стоку (GRDC) URL: <https://wbwaterdata.org/dataset/global-runoff-data-centre-grdc> (дата обращения 08.12.2023).
14. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Алматы, 2000–2016. Ч. 1. Вып. 4.
15. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. 198 с.
16. Метеорологическая и гидрологическая базы данных. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (дата обращения 05.11.2023).
17. Предварительные результаты исследований по р.Жайык (Урал). – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_in_Kazakhstan_Ural_River_Feb_2017.pdf (дата обращения 08.12.2023).
18. Романовский В. Математическая статистика. Москва–Ленинград: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1938. 528 с.
19. Румянцев В.А., Трапезников Ю.А. Стохастические модели гидрологических процессов. СПб.: Наука, 2008. 152 с.
20. Madibekov A S, Babkin A V, Musakulkyzy A, Cherednichenko A V. Latent fluctuation periods and long-term forecasting of the level of Markakol lake // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 107(012035). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012035>

REFERENCES

1. Alekhin Yu. M. Dinamiko-statisticheskii metod prognoza geofizicheskikh makroprotsessov. Trudy LGM I, 1961, vyp. 11, p. 97—123.
2. Alekhin Yu.M. Statisticheskie prognozy v geofizike. – L.: LGU, 1963. 86 p.
3. Alekhin Yu. M., Kondratovich K. V., Gvozdeva V. G. Dinamiko-statisticheskii metod prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh protsessov i ego prakticheskoe primeneniye. Materialy rybokhozyaistvennykh issledovaniy Severnogo basseina, Murmansk, 1968, vyp. XII, p. 123—138.
4. Apollov B. A., Kalinin G. P., Komarov V. D. Kurs gidrologicheskikh prognozov. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. 419 p.
5. Babkin A.V., Babkin V.I., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Cherednichenko A.V. Zakonomernosti mesyachnykh kolebaniy stoka reki Ili i ego prognozirovaniye // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2020. T. 84. №3. p. 384–394.
6. Babkin V.I. Metod mnozhestvennoilinoi korrelyatsii ego

6. Babkin V.I. Metod mnozhestvennoilineinoikorrelyatsiiego primeneniye v gidrologicheskikh issledovaniyakh // Sb. rabot po gidrologii, L.: Gidrometeoizdat. – 1970. – №9. p. 29–39.
7. Vasil'ev D.Yu., Vodop'yanov V.V., Zakirzyanov Sh.I., Kenzhebaeva A.Zh., Semenov V.A., Sivokhip Zh.T. Korrelyatsionnye svyazi mnogoletnikh kolebaniy mesyachnogo i godovogo stoka v basseine reki Ural // Izv. RAN. Ser. geogr. 2020. №3. p. 414–426.
8. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Vozobnovlyaemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo, Tsentral'nogo i Vostochnogo Kazakhstana / pod nauch. red. R.I. Gal'perina. – Almaty, 2012. – T. VII. – Kn. 1. – 684 p.
9. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. T. IX: Vnutrennie i okrainnye vodoemy Kazakhstana (Aral, Balkash, Kaspii): kn. 1: Otsenka sovremennoi i prognoznoi dinamiki gidrologicheskogo rezhima ozera Balkash, Kaspiiskogo i Aral'skogo morei / Shivareva S.P., Li V.I., Ivkina N.I. – Almaty. – 2012 g. – 456 p.
10. Gvozdeva V. G. Kompleksnaya programma prognozirovaniya na EVM dinamiko-statisticheskim metodom Yu. M. Alekhina. Trudy LGM I, 1972, vyp. 47, p. 115— 123.
11. Gel'fan A.N. Dinamiko-stokhasticheskoe modelirovaniye formirovaniya talogo stoka. M.: Nauka, 2007. 280 p.
12. Georgievskii Yu.M., Shanochkin S.V. Gidrologicheskie prognozy. – Spb.: RGGMU, 2007, 435 p.
13. Global'nyi tsentr dannykh po stoku (GRDC) URL: <https://wbwaterdata.org/dataset/global-runoff-data-centre-grdc> (data obrashcheniya 08.12.2023).
14. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Almaty, 2000–2016. Ch. 1. Vyp. 4.
15. Koren' V.I. Matematicheskie modeli v prognozakh rechnogo stoka. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. 198 p.
16. Meteorologicheskaya i gidrologicheskaya bazy dannykh. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (data obrashcheniya 05.11.2023).
17. Predvaritel'nye rezul'taty issledovaniy po r.Zhaiyk (Ural). – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_in_Kazakhstan_Ural_River_Feb_2017.pdf (data obrashcheniya 08.12.2023).
18. Romanovskii V. Matematicheskaya statistika. Moskva–Leningrad: Ob»edinennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo NKTP SSSR, 1938. 528 s.
19. Rumyantsev V.A., Trapeznikov Yu.A. Stokhasticheskie modeligidrologicheskikh protsessov. SPb.: Nauka, 2008. 152s.
20. Madibekov A S, Babkin A V, Musakulkyzy A, Cherednichenko A V. Latent fluctuation periods and long-term forecasting of the level of Markakol lake // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 107(012035). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012035>

ЖАЙЫҚ (УРАЛ) ӨЗЕНІНІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫНЫНЫҢ ЖЕКЕ АЙЛАРДАҒЫ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІК ӨЗГЕРУІНІҢ АВТОКОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСІ ЕСКЕРІЛГЕН БОЛЖАМДАРЫ

А.В. Бабкин¹ з.ғ.д., В.И. Бабкин¹ з.ғ.д., А.С. Мадиебеков² PhD, А. Мұсақұлқызы^{2*} т.ғ.к., А.В. Чередниченко³ з.ғ.д.

¹Мемлекеттік гидрологиялық институты, Санкт-Петербург, Ресей

²География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

³аль-Фараби атындағы ҚазҰУ Биология және биотехнология проблемалары ҒЗИ, Алматы, Қазақстан

E-mail: mus_ain@mail.ru

Зерттеу көпжылдық тербелістерді талдау негізінде Жайық өзенінің ағынын ұзақ мерзімді болжау үшін автокорреляциялық және жалпы регрессиялық модельдерді әзірлеуге және қолдануға арналған. Ресей Федерациясы мен Қазақстан Республикасындағы маңызды су ресурсы болып табылатын Жайық өзені әр түрлі шаруашылық қызметке әсер ететін жылдық ағынының айтарлықтай өзгергіштігін көрсетеді. Зерттеулерде Ю. М. Алехиннің автокорреляция әдісін қолдана отырып, 1943...2010 жылдар аралығындағы өзен ағынының жылдық және айлық қатарлары бағаланды. Олардың негізінде 2011 жылдан 2015 жылға дейінгі кезеңге болжамдар жасалды. Нәтижелерге сүйенсек, автокорреляциялық модельдер қатардың орташа көрсеткіштеріне негізделген болжамдарға қарағанда дәлірек болжамды береді. Айлық және жылдық мәліметтерді біріктіретін жалпы регрессия моделі гидрологиялық сипаттамаларды болжауда аралас тәсілдің тиімділігін растайтын ең жақсы нәтиже көрсетті. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы Жайық өзені ағыны болжамдарының дәлдігі мен сенімділігін арттыру болып табылады, бұл өңірдегі су ресурстарын тиімдірек басқаруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: ағын қатарлары, автокорреляция, көптік регрессия, болжам

FORECASTS OF ANNUAL RUNOFF OF THE ZHAIYK RIVER (URAL) TAKING INTO ACCOUNT AUTOCORRELATION MODELS OF ITS MULTI-YEAR FLUCTUATIONS FOR INDIVIDUAL MONTHS

Babkin A.¹ *doctor of geographical sciences*, **Babkin V.**¹ *doctor of geographical sciences*, **Madibekov A.**² *PhD*, **Mussakulkyzy A.**^{2*} *candidate in technical sciences*, **Cherednichenko A.**³ *doctor of geographical sciences*

¹ *State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

² *Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan*

³ *SRI problems of biology and biotechnology of the al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: mus_ain@mail.ru

The study is devoted to the development and application of autocorrelation and general regression models for long-term forecasting of the Ural (Zhaiyk) River flow based on the analysis of multi-year fluctuations. The Ural River is an important water resource of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan, demonstrating significant variability in annual runoff, which affects various sectors of economic activity. In the course of the study, annual and monthly series of the river flow for the period from 1943 to 2010 were estimated using the autocorrelation method of Y.M. Alekhin. Based on these data, forecasts were made for the period from 2011 to 2015. The results show that autocorrelation models provide more accurate forecasts compared to models based on average values of series. The general regression model integrating monthly and annual data showed the best results, confirming the effectiveness of the combined approach in predicting hydrological characteristics. The scientific significance of the work is to improve the accuracy and reliability of the Ural River flow forecasts, which contributes to more effective water resources management in this region.

Keywords: runoff time series, autocorrelation, multiple regression, forecast

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Бабкин Алексей Владимирович – д.г.н., Ведущий научный сотрудник лабораторий ФГБУ «ГТИ», Государственный гидрологический институт, Россия, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; abav@mail.ru

Бабкин Владимир Иванович – д.г.н., Заведующий лабораторией ФГБУ «ГТИ», Государственный гидрологический институт, Россия, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; abav@mail.ru

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, Заведующий лабораторией гидрохимии и экологической токсикологии, Институт географии и водной безопасности, Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99; madibekov@mail.ru

Мусакулқызы Айнур – к.т.н., старший научный сотрудник лабораторий гидрохимии и экологической токсикологии, Институт географии и водной безопасности, Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99; mus_ain@mail.ru

Чередниченко Александр Владимирович – д.г.н., НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 71; geliograf@mail.ru

Бабкин Алексей Владимирович – геог. ғылым. докторы, ФГБУ «МГИ» зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Мемлекеттік гидрология институты, Ресей, Санкт-Петербург, В.О. 2-ші сызығы, 23 үй; abav@mail.ru

Бабкин Владимир Иванович – геог. ғылым. докторы, ФГБУ «МГИ» зертханасының меңгерушісі, Мемлекеттік гидрология институты, Ресей, Санкт-Петербург, В.О. 2-ші сызығы, 23 үй; abav@mail.ru

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасы меңгерушісі, География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы, Пушкин к-ші 99 үй; madibekov@mail.ru

Мұсақұлқызы Айнур – техн. ғылым. кандидаты, Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасы аға ғылыми қызметкері, География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы, Пушкин к-ші 99 үй; mus_ain@mail.ru

Чередниченко Александр Владимирович – геог. ғылым. докторы, аль-Фараби атындағы ҚазНУ биология және биотехнология проблемалары ФЗИ, Қазақстан, Алматы, аль-Фараби д-ы., 71 үй; geliograf@mail.ru

Babkin Alexey – Doctor of Geographical Sciences, Leading researcher at the laboratories of the Federal State Budgetary Institution “SHI”, State Hydrological Institute, Russia, St. Petersburg, 2nd line V.O., no. 23; abav@mail.ru

Babkin Vladimir – Doctor of Geographical Sciences, Head of the laboratory of the Federal State Budgetary

Institution “GGI”, State Hydrological Institute, Russia, St. Petersburg, 2nd line V.O., no. 23; abav@mail.ru
Madibekov Azamat – PhD, Head of the Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty, st. Pushkina 99; madibekov@mail.ru
Mussakulkyzy Ainur – candidate in technical sciences, senior researcher at the laboratories of hydrochemistry and environmental toxicology, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty, st. Pushkina 99; mus_ain@mail.ru
Cherednichenko Alexander – Doctor of Geographical Sciences, Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology of Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Ave., 71; geliograf@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Бабкин Алексей Владимирович – разработка методологии
Бабкин Владимир Иванович – разработка концепции
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
Мусакулқызы Айнур – проведение статистического анализа, проведения исследования
Чередниченко Александр Владимирович – создание программного обеспечения

Бабкин Алексей Владимирович – әдістемені әзірлеу
Бабкин Владимир Иванович – тұжырымдаманы әзірлеу
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Мұсақұлқызы Айнур – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу
Чередниченко Александр Владимирович – бағдарламалық жасақтама жасау

Babkin Alexey – methodology development
Babkin Vladimir – concept development
Madibekov Azamat – resources, preparing and editing the text, visualization
Mussakulkyzy Ainur – conducting statistical analysis, conducting a research
Cherednichenko Alexander – creating software