

УДК 556.18.004.14

Канд. техн. наук С.П. Шиварева \*  
А.В. Галаева \*

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ Р. ИЛИ В  
ПРЕДЕЛАХ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ В СВЯЗИ С  
КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ**

*ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА, ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА, ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ЕСТЕСТВЕННЫЙ СТОК, БАЗОВЫЙ ПЕРИОД*

*Приводится метод оценки изменения стока р. Или и её притоков за период инструментальных измерений в пределах Китая и Казахстана в связи с изменением климата. Анализ изменения стока р. Или показал, что бытовой сток реки на границе Казахстана и Китая период 1987...2011 годы выше стока базового периода в среднем на 9 %.*

Река Или является основной водной артерией бассейна озера Балхаш, образуется от слияния двух рек Текес и Кунгес, берущих начало с ледников Центрального Тянь-Шаня. Общая длина реки составляет 1439 км, в пределах Казахстана – 815 км. Общая площадь бассейна – 140 тыс. км<sup>2</sup>, на территорию Республики Казахстан (РК) приходится 7740 км<sup>2</sup> [1]. Основная стокоформирующая часть бассейна, находится в пределах территории Синьцзян-Уйгурского автономного района Китайской народной республики (СУАР КНР).

На территории Казахстана в бассейне р. Или большие пространства полностью лишены поверхностного стока. Активной является лишь левобережная зона, где в р. Или со склонов Тянь-Шаня стекает большое количество горных рек: Шарын, Шилик (наиболее крупные реки), Есик, Тургень, Талгар, Каскелен с притоками: Киши и Улкен Алматы (Малая и Большая Алматинки), Курты (сток этих рек в основном формируется на северном склоне Илийского Алатау). Наиболее крупными притоками в правобережной части р. Или являются реки Коргас, Осек и Борохудзир, стекающие с южных склонов Жетысуского Алатау. Вследствие больших потерь стока из-

---

\* Казгидромет, г. Алматы

за забора воды на орошение и фильтрацию, большинство притоков, в том числе Тургень, Талгар и Борохудзир не доносят свои воды до р. Или.

К бассейну р. Или относится также ряд мелких водотоков, которые стекают со склонов хребта Кетмень и Шу-Илийских гор. Летом множество этих мелких рек пересыхают и не доходят до русла Или. При впадении в Западный Балхаш р. Или образует разветвленную многоорукавную дельту.

В данной статье оценивается изменение стока р. Или за период инструментальных измерений по длине реки от зоны формирования стока, расположенной на территории КНР, до озера Балхаш. Взаимосвязь стока р. Или с изменением климата исследована путём восстановления естественного стока реки Или на границе КНР и РК, а также на примере анализа стока основных притоков, расположенных как на территории КНР, так и на территории РК, сток которых менее всего подвержен влиянию человеческой деятельности.

Анализ многолетнего изменения речного стока в бассейне Или производился по данным наблюдений на гидрологических постах, расположенных на территории Казахстана и на территории Китая. В табл. 1 приведен список постов, по данным которых проводился анализ изменения стока.

Таблица 1

Список гидрологических постов в бассейне р. Или с периодом наблюдений более 50 лет

Пункт наблюдения, река – пост	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период, год	Источник данных
Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС	85400	1954...2010	РК
Или – уроч. Капшагай	111000	1911...2010	РК
Шарын – уроч. Сарытогай	7370	1932...2010	РК
Шилик – с. Малыбай	4300	1932...2010	РК
Или – Yamadu	49186	1953...2010	China_gov
Текес – Qiafuqihai	27402	1956...2010	China_gov
Кунес – Zeketai	4123	1960...2010	China_gov
Как – Wulasitai	5081	1957...2005	China_gov
Как – Tuohai	8656	1953...2010	China_gov
Piliqing – Piliqing	794	1956...2010	China_gov
Qiedeke – Qiedeke	291	1956...2010	China_gov

В наблюдениях за стоком на указанных гидрометрических постах имеются пропуски наблюдений. Для восстановления пропусков и для расчёта месячного и годового стока р. Или использованы гидрологические методы аналогии. В результате выполненных исследований получены непрерывные ряды значений годового стока р. Или за период 1954...2011 гг.

по двум пунктам наблюдений: 164 км выше Капшагайской ГЭС и с. Ямату. Таким же способом были получены непрерывные ряды наблюдений на гидрологических постах, расположенных на территории РК на притоках р. Или: Шарын, Шилик, Коргас, Осек, Есик и Каскелен.

Для оценки изменения исторического стока р. Или на границе РК и КНР использовались данные измерений на гидрометрическом посту, расположенном на территории СУАР КНР вблизи границы с Республикой Казахстан: с. Ямату.

Оценка изменения исторического стока Или по указанному гидрометрическому посту выполнена тремя методами:

- 1) анализ тренда исторического стока за период 1954...2011 гг.;
- 2) анализ совмещенных разностных интегральных кривых бытового и естественного стока, построенных за весь период по сравнению с базовым периодом;
- 3) сравнение кривых обеспеченности величин стока за два периода: базовый и современный.

На рис. 1 и 2 представлены тренды исторического стока на границе РК и КНР по данным гидрометрического поста р. Или – с. Ямату и исторического стока р. Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС, измеренного на территории РК. Как видно из данных рис. 1, за 57 лет исторического стока р. Или – с. Ямату отмечается едва заметный положительный линейный тренд с коэффициентом равным 0,01. На расположенном ниже по течению пункте, р. Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС (рис. 2), тренд имеет более значимый коэффициент, равный 0,096. Это объясняется наличием притоков, таких как Шарын и других, сток которых увеличился за счёт деградации оледенения.

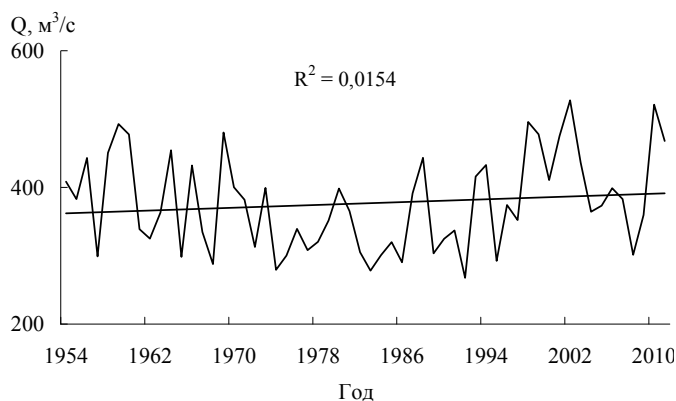


Рис. 1. Тренд изменения стока р. Или – с. Ямату за 1954...2011 гг.

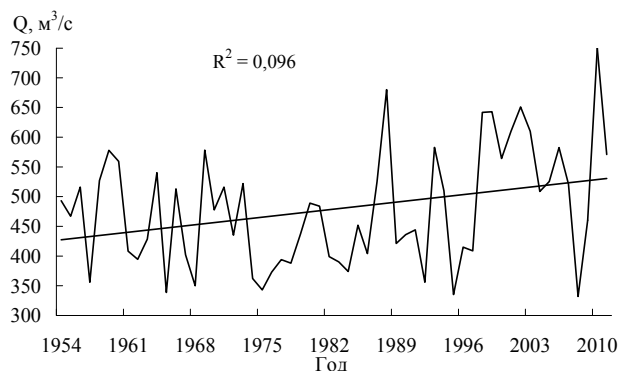


Рис. 2. Тренд изменения стока р. Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС за 1954...2011 гг.

Выбраны периоды из исторического ряда наблюдений: 1954...1986 гг. и 1987...2011 гг. Период 1954...1986 гг. принято считать условно базовым, который характеризует климат, сформировавшийся в середине 20 в. Период 1987...2011 гг. – это период, отражающий современное изменение климата.

Для определения границ периодов, а именно конца первого периода – это 1986 г. и начало второго периода – это 1987 г. использовались разностные интегральные кривые. Разностные интегральные кривые необходимы для выявления циклов колебания годового стока. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений. Если посмотреть разностную интегральную кривую (рис. 3) суммы пяти рек (Каратал, Коксу, Шарын, Шилик и Тентек), находящихся в бассейне оз. Балхаш и, практически, не имеющих в своих бассейнах хозяйственной деятельности, то можно увидеть, что сток начал меняться, начиная с последних десятилетий прошлого столетия, т.е. с 1987 г. Начиная с середины 80-х годов 20-го века до начала второго десятилетия 21-го века, он существенно увеличился, по сравнению с предшествующим периодом (1932...1986 гг.), вероятно, за счет изменения климата – увеличения увлажнения горных склонов и деградации горного оледенения [2].

При построении совмещенной разностной интегральной кривой р. Или – с. Ямату и суммы пяти рек (рис. 4), отчетливо прослеживается синхронность стока до 1986 г. Асинхронность стока начала наблюдаться с 1987 г. Начиная с этого года, сток по р. Или и вплоть до 1997 г. не увеличивался, тогда, как суммарный сток пяти рек за этот период значительно возрос. Это дает основание полагать, что в этот период было значительное водопотребление в верхней части бассейна р. Или на территории Китая.

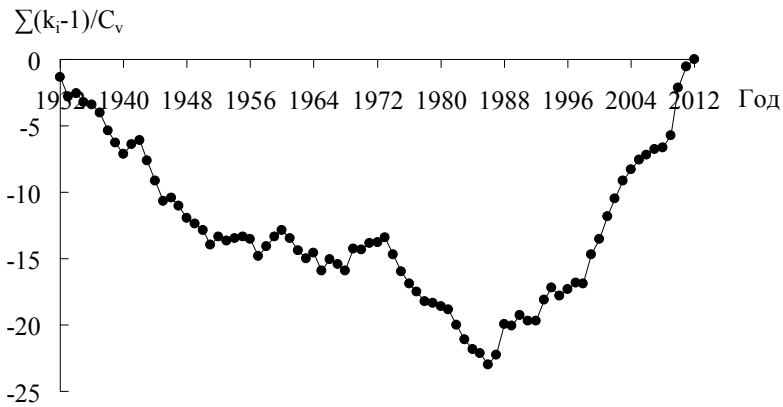


Рис. 3. Разностная интегральная кривая суммарного стока 5-ти рек (Каратал, Коксу, Шилик, Шарын, Тентек).

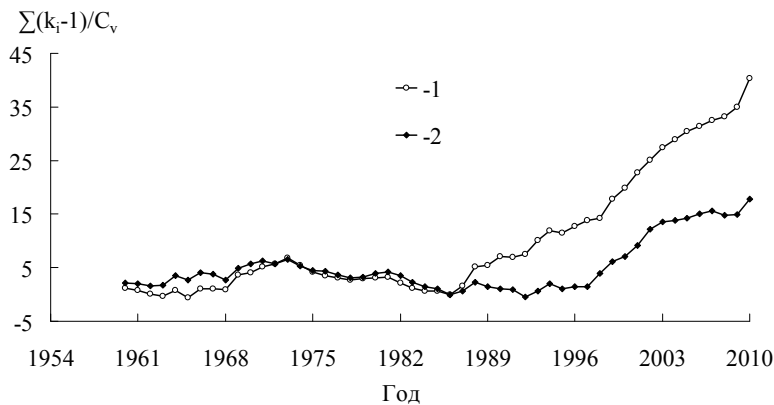


Рис. 4. Совмещенная разностная интегральная кривая суммарного стока пяти рек (1) и стока р. Или – с. Ямату (2).

Для оценки влияния климата на бытовой сток р. Или на границе Казахстана и КНР был восстановлен естественный сток в гидрометрическом створе р. Или – с. Ямату. Восстановление естественного стока производилось по найденной зависимости стока в гидрометрическом створе р. Или – с. Ямату со стоком 5 рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик) за период до 1986 г., когда ещё не было существенного водопотребления стока р. Или на территории КНР (рис. 5).

Оказалось, что эта зависимость имеет высокий коэффициент корреляции ( $r = 0,91$ ). Эту зависимость рекомендуется использовать для восстановления стока р. Или – с. Ямату за период позже 1986 г., когда увеличилось водопотребление стока на территории КНР. Восстановление естественного стока р. Или – с. Ямату производилось по следующему уравнению:

$$y = 1,88x + 26,7,$$

где  $y$  – естественный годовой сток р. Или – с. Ямату,  $Q$  м<sup>3</sup>/с;  $x$  – суммарный сток 5-ти рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик) за период 1954...1986 гг.

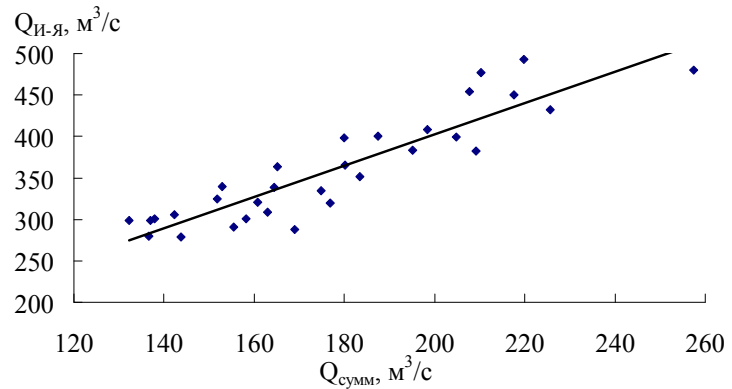


Рис. 5. Зависимость стока р. Или – с. Ямату ( $Q_{И-Я}$ , м<sup>3</sup>/с) и суммарного стока 5-ти рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик,  $Q_{сумм}$ , м<sup>3</sup>/с) за 1954...1986 гг.

На рис. 6 приведена совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного и наблюдаемого бытового стока р. Или в створе с. Ямату за период 1954...2011 гг. Для анализа взаимосвязи климата и речного стока на рис. 6 показаны интегральные кривые температуры воздуха и атмосферных осадков. Как видно, начиная с 1987 г. наблюдается увеличение температуры воздуха и атмосферных осадков, что является причиной увеличения естественного стока р. Или – с. Ямату.

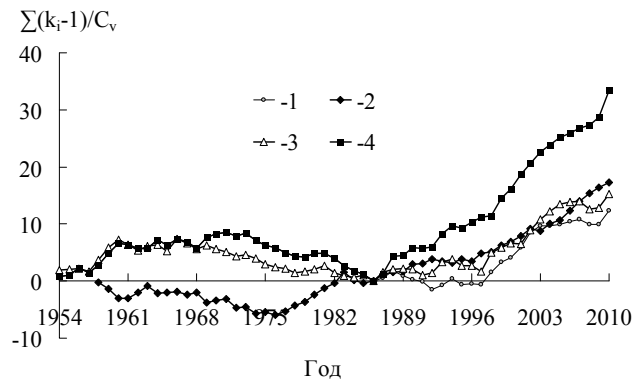


Рис. 6. Совмещенная разностная интегральная кривая естественного (восстановленного) (4) и бытового стока (1) р. Или – с. Ямату за период 1954...2011 гг. и взаимосвязь стока с климатом (2 – температура воздуха, 3 – осадки).

Изменение бытового и естественного стока, приведенное на рис. 6, показывает, что значение естественного стока, начиная с 1987 г., существенно превышает значения стока, наблюдаемого в гидрометрическом створе с. Ямату, расположенном на р. Или на границе. Такое различие наблюденного и естественного стока свидетельствует о том, что, начиная с 1987 г., несмотря на значительные водные ресурсы, сформировавшиеся на территории КНР, Казахстан не получил сток по р. Или по причине увеличенного водопотребления на территории КНР. В среднем за весь период 1987...2010 гг. естественный сток был выше бытового на 50 м<sup>3</sup>/с. В 1990 г. эта разница составляла 120 м<sup>3</sup>/с, а в 2010 г. – 139 м<sup>3</sup>/с.

Рассчитаны кривые обеспеченности расходов воды, измеренных в пункте р. Или – с. Ямату (КНР) за 1954...1986 гг. (базовый период) и 1987...2010 гг. (современный период). Сделано сопоставление расходов воды 5 %, 50 % и 95 % обеспеченности за оба периода. Расход воды на границе КНР и РК в многоводный (5 %), средний (50 %) и маловодный (95 %) годы увеличился в современный период на 9 % по сравнению с базовым периодом. Отмеченное выше увеличение стока по длине р. Или от границы Казахстана и КНР до оз. Балхаш объясняется увеличением стока основных притоков р. Или на территории Казахстана за период 1987...2011 гг. Для выяснения причины превышения стока за период 1987...2011 гг. произведен анализ изменения стока основных притоков р. Или.

В табл. 2 приведены значения среднемноголетнего стока за период с 1954...2011 гг. основных притоков, впадающих в р. Или в пределах территории РК.

Таблица 2

Среднемноголетний сток основных притоков р. Или на территории РК

Период, год	Средний многолетний сток, м <sup>3</sup> /с					
	р. Коргас – с. Баскунчи	р. Шарын – уроч. Сарытогай	р. Осек – с. Талды	р. Шилик – с. Малыбай	р. Есик – г. Есик	р. Каскелен – г. Каскелен
1954...1986	16,3	37,2	17,1	31,6	4,99	4,51
1987...2011	19,0	44,8	20,1	41,6	4,76	3,94
Изменение, %	+16,6	+20,4	+17,5	+31,6	-4,8	-14,5

Как видно в табл. 2, сток основных притоков р. Или с расходом воды более 15 м<sup>3</sup>/с, превышает сток базового периода, вероятно в связи с

увеличением увлажнения горных склонов и повышением температуры воздуха. На притоках, имеющих расходы воды менее  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ , отмечается уменьшение стока. Увеличение стока р. Шарын – уроч. Сарытогай за последние годы по сравнению с базовым периодом также видно по величине тренда с коэффициентом, равным 0,16. (рис. 7).

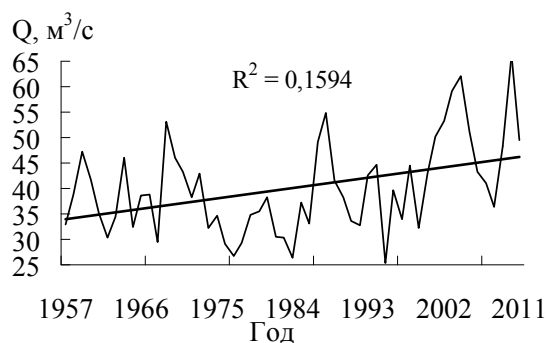


Рис. 7. Тренд изменения стока р. Шарын – уроч. Сарытогай за 1954...2011 гг.

Анализ исторических данных по притокам р. Или производился с помощью интегральных кривых. Эти кривые позволили выявить в рядах годового стока притоков однородные периоды и границу периодов. На рис. 8 и 9 приведены разностные интегральные кривые р. Шарын – уроч. Сарытогай и р. Шилик – с. Малыбай за период с 1929 по 2011 гг.

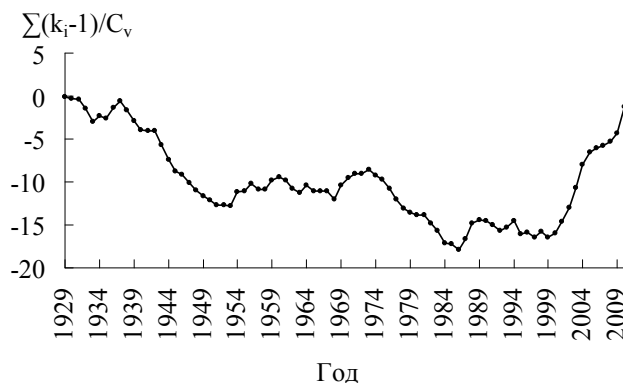


Рис. 8. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шарын - уроч. Сарытогай за 1929...2011 гг.

Эти кривые подтверждают, тот факт, что, начиная с 1987 г. отмечается увеличение стока за счёт изменения климата. Более наглядное отличие одного периода от другого можно видеть на интегральных кривых, представленных на рис.10 и 11. При построении этих кривых использовались среднегодовые значения и коэффициент вариации, определенные только за период 1929...1986 гг., т.е. до 1987 г.



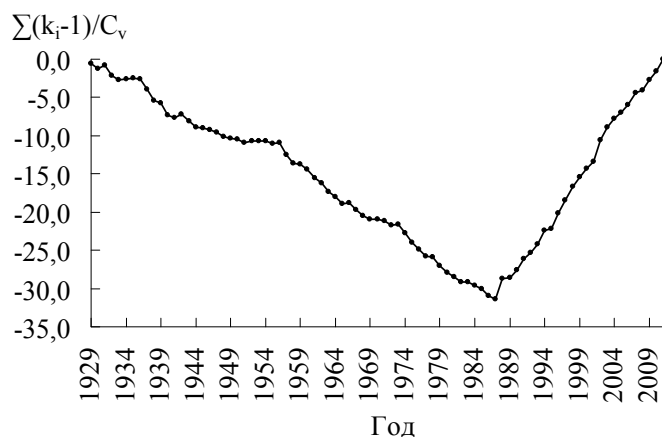


Рис. 9. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шилик – с. Малыбай за 1929...2011 гг.

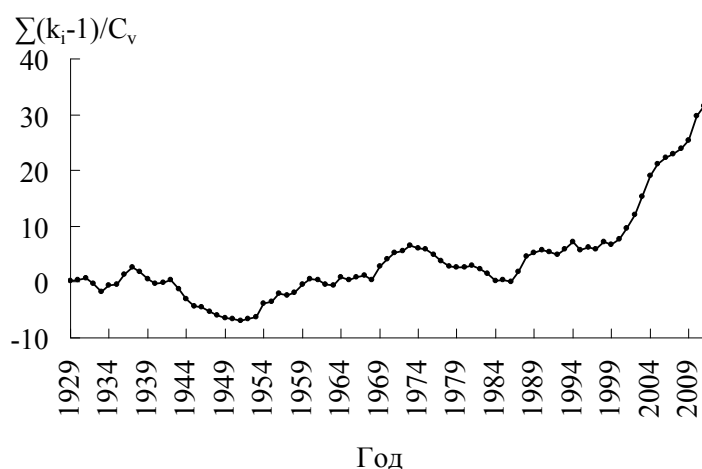


Рис. 10. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шарын – уроч. Сарытогай за 1929...2011 гг. (при среднем значении стока за период с 1929 по 1986 гг.)

Как сказано выше, период 1929...1986 гг. отражает климатические условия 20 века, а второй период 1987...2011 гг. – конец 20 века и начало 21 века, характеризующийся значительными изменениями климата. В этот период в бассейне р. Или наблюдалось значительное повышение температуры воздуха и атмосферных осадков.

Сопоставление среднееголетнего стока за второй период (1987...2011 гг.) по сравнению с периодом 1929...1986 гг. показало, что сток второго периода выше первого в бассейнах с большей площадью оледенения (табл. 3) [3].

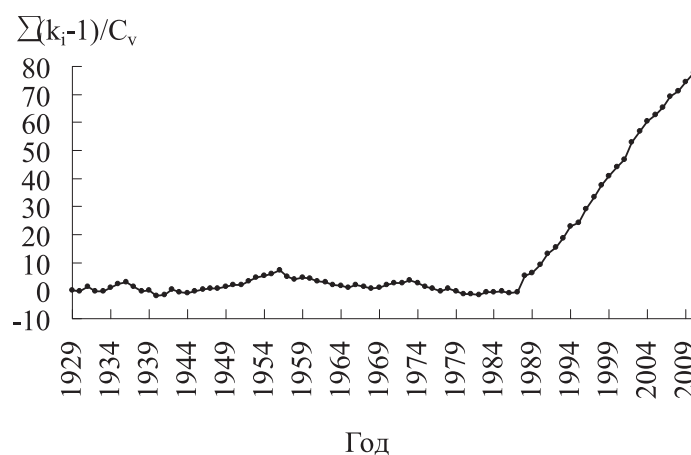


Рис. 11. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шилик – с. Малыбай за 1929...2011 гг. (при среднем значении стока за период с 1929 по 1986 гг.)

Таблица 3

Характеристики стока рек (м<sup>3</sup>/с) за разные периоды

Река – Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения		R <sub>1</sub> , м <sup>3</sup> /с	R <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /с	Изменение стока (R <sub>2</sub> -R <sub>1</sub> )	
		км <sup>2</sup>	%			м <sup>3</sup> /с	%
		Коргас – с. Баскунчи	1080	82,7	7,7	16,6	19,0
р.Осек – с. Талды	1220	103	8,4	17,4	20,1	2,60	14,9
р. Шарын – уроч. Сарытогай	7370	143	1,9	35,8	44,8	7,90	22,1
р. Шилик – с. Малыбай	4300	302	7,0	32,1	41,6	9,50	29,6

Примечание: R<sub>1</sub> – средний годовой сток за период 1929...1986 гг., R<sub>2</sub> – средний годовой сток за период 1987...2011 гг.

Наибольшая площадь оледенения отмечена в бассейнах рек Шарын и Шилик, в которых наблюдается в последние годы увеличение стока на 22,1 и 29,6 % по сравнению с предшествующим периодом. Такое увеличение стока объясняется деградацией горного оледенения в рассматриваемом бассейне и увеличением увлажнённости в их бассейнах.

В результате проведенных исследований были определены статистические характеристики годовых значений стока р. Шарын – уроч. Сарытогай, р. Шилик – с. Малыбай, р. Коргас – с. Баскунчи, р. Осек – с. Талды за периоды 1929...1986 гг. и 1987...2011 гг. Сток рек северного склона Илийского Алатау за последний период (1987...2011 гг.) в основном увеличился. Так, по реке Шарын увеличение стока составило около

20 %, а по реке Шилик – 32 %. Коэффициент вариации за тот же период незначительно увеличился.

Анализ изменения стока основных притоков р. Или в пределах Казахстана за период инструментальных измерений показал, что сток основных притоков р. Или за период 1987...2011 гг. выше базового периода в связи с изменением климата.

Для анализа исторических данных притоков р. Или, расположенных на территории КНР, были выбраны посты с наиболее длительным рядом наблюдений: р. Текес – Qiafuqihai и р. Ках – Tuohai. Выявлены тренды увеличения стока этих рек (рис. 12 и 13).

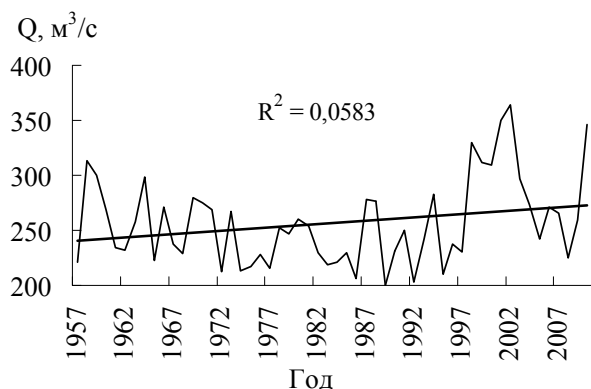


Рис. 12. Тренд изменения стока р. Текес – Qiafuqihai за 1957...2010 гг.

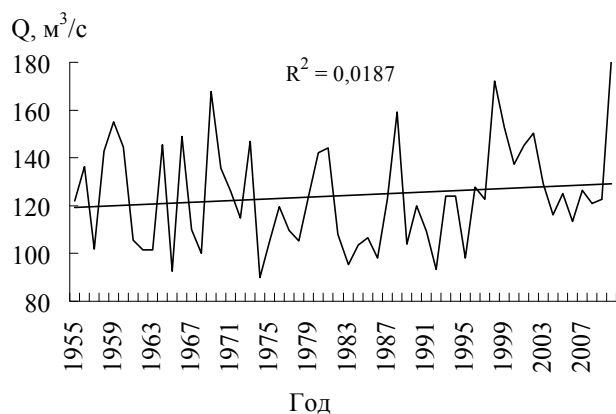


Рис. 13. Тренд изменения стока р. Ках – Tuohai за 1955...2010 гг.

Для выявления циклов колебаний годового стока использовались разностные интегральные кривые. На рис. 14, 15 приведены разностные интегральные кривые речного стока притоков р. Или, находящихся на территории КНР. В качестве нормы стока необходимо выбирать однородный

период, поэтому в нашем случае, в качестве нормы был принят период 1961...1990 гг., соответствующий выбранному базовому периоду метеорологических и гидрологических наблюдений.

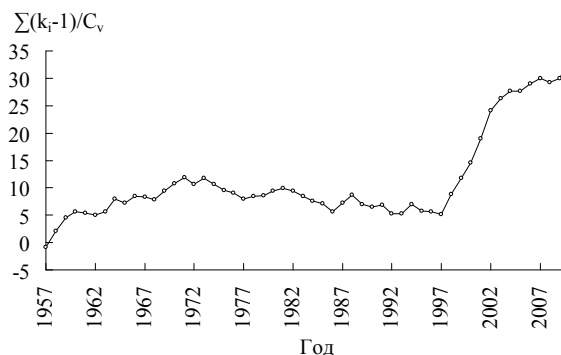


Рис. 14 – Разностная интегральная кривая стока воды р. Текес – Qiafuqihai за 1957...2010 гг.

Как показывают наблюдаемые данные стока р. Текес в створе Qiafuqihai, начиная с 1998 г. сток рассматриваемой реки начал увеличиваться. По-видимому, это увеличение связано с климатическими изменениями и увеличением количества осадков.

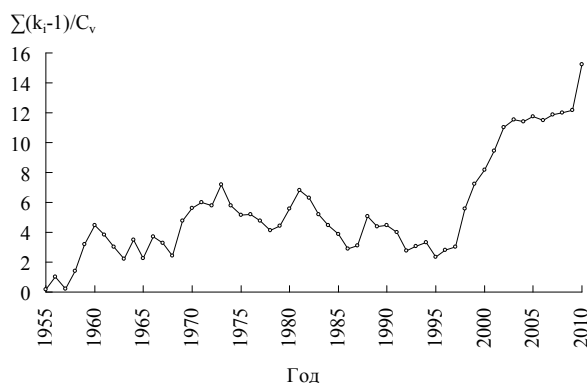


Рис. 15 – Разностная интегральная кривая сток воды р. Ках - Туоһаі за 1955...2010 гг.

Анализируя разностную интегральную кривую стока р. Ках в створе Туоһаі, можно сделать вывод, что сток этой реки начал значительно увеличиваться, начиная с 1996 г. вплоть до 2010 г.

В результате анализа исторических данных притоков р. Или как на территории РК, так и на территории КНР установлено, что сток притоков увеличился в связи с изменением климата. На территории РК это увеличение стало заметным с 1987 г., а на территории КНР – с 1996 г. Увеличение

стока притоков не дало существенного увеличения стока самой р. Или из-за возрастающего водозабора в бассейне р. Или на территории КНР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья. – СПб: Гидрометеоиздат, 1995. – 269 с.
2. Голубцов В.В., Линейцева А.В. Поступление воды в реку Каратал за счет деградации горного оледенения // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №4. – С. 101-107.
3. Линейцева А.В. Современное поступление речного стока в Восточный Балхаш // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №1. – С. 109-115.

Поступила 21.01.2014

Техн. ғылымд. канд. С.П. Шиварева  
А.В. Галаева

#### **ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ ҚР ЖӘНЕ ҚХР ШЕГІНДЕГІ КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРГЕ БАЙЛАНЫСТЫ АҒЫННЫҢ ӨЗГЕРІСІНІҢ САРАПТАМАСЫ**

*Климаттың өзгеруіне байланысты ҚР және ҚХР шегіндегі аспаптық өлшеулер кезіндегі Іле өзенінің ағысының және оның тарауларының өзгерісін бағалаудың әдістері келтірілген. Аспапты өлшеулер кезіндегі Іле өзенінің ағысының өзгерісінің сараптамасы келесіні көрсетті, Іле өзенінің тұрмыстық ағыны қазақстан шекарасымен ҚХР территориясында 1987 жылдан 2011 жылға дейін негізгі кезеңен ағыстың биіктігі орташа 9 %.*