

**Давлетгалиев С.К.<sup>1</sup>, Медеу Н.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>д. г. н., профессор кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,  
e-mail: sdavletgaliev@mail.ru, тел.: +7 702 257 3959

<sup>2</sup>магистрант 2 курса кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,  
e-mail: nadira.medeu@mail.ru, тел.: +7 702 194 5741

**СЦЕНАРНЫЕ ПРОГНОЗЫ РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА  
ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАСЕЙНА  
ПО ОТДЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ**

Рассмотрена возможность составления сценарных прогнозов водных ресурсов рек Жайык-Каспийского бассейна по отдельным водохозяйственным участкам. Для характеристики современного климата в качестве базового использован период 1980-2000 гг. Для характеристики климата 21 века использованы обновленные проекции климата до 2050 гг., полученные в Казгидромете. В основу методики прогноза положена зависимость величины стока весеннего половодья от степени увлажненности почвы и запасов воды в снеге перед началом таяния. В качестве косвенного показателя увлажненности почвы принята сумма осенних осадков за сентябрь-октябрь, а в качестве показателя запасов воды в снеге – сумма осадков за ноябрь-март. Суммарный годовой сток определен в зависимости от величины весеннего стока. Между этими характеристиками существует тесная связь. Качество прогностической зависимости оценено с помощью критерия S/б. Удовлетворительная зависимость получена для 10 участков. На основе сценарных прогнозов климата Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна (ВХБ) за период до 2050 г составлены прогнозы водных ресурсов отдельных участков на 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050 гг. В целом, по Жайык-Каспийскому бассейну в среднем ожидается увеличение стока на 5-7 % по двум сценариям за все годы. На отдельных участках возможно увеличение стока до 10-15%. В бассейне р. Сагыз, наоборот, следует ожидать уменьшения стока до 80 %. Для участка 05.03.09.00 прогностическая зависимость не получена, ожидаемая величина стока зависит от количества поступления воды по протоку р. Волга.

**Ключевые слова:** водохозяйственные участки, сценарные прогнозы, осадки, температура воздуха, уравнение регрессии.

Davletgaliev S.K.<sup>1</sup>, Medeu N.N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>professor from the faculty of geography and environmental management  
of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: sdavletgaliev@mail.ru, tel.: +7 702 257 3959

<sup>2</sup>magister degree of the 2<sup>nd</sup> year from the faculty of geography and environmental management  
of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: nadira.medeu@mail.ru, tel.: +7 702 194 5741

**The scenario forecasts of water resources  
of the Zhayik Caspian rivers' basin on separate water management areas**

The possibility of making scenario forecasts of water-resources of the Zhayik-Caspian rivers' basin on separate water management areas is considered. To characterize the modern climate, the period 1980-2000 was used as the initial one. To characterize the climate of the 21st century, the projects of climate updated until 2050 were used, which obtained in Kazgidromet by S.A. Dolgikh. The basis of the forecasting method consists of the dependence of the spring flood runoff from the degree of moistness

of soil, and dependence from the amount of water reserves kept in the snow before melting begins. Take the sum of autumn precipitation from September–October as an indicator of degree of the indirect soil moistness, and take the amount of precipitation from November–March as the indicator of the amount of water reserves kept in the snow. The total annual runoff is determined depending on the magnitude of the spring runoff. There is a close relationship between these characteristics of the runoff. The quality of the predictive dependence is tested by using the S / B criterion. Satisfactory dependence was obtained for 10 sites. Based on scenario forecasts of the climate of the Zhayik–Caspian water management’s basin for the period up to 2050, forecasts of water resources of the individual sites were compiled for 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050. In general, according to the Zhayik–Caspian basin, an average increase in runoff of 5–7% is expected on two scenarios for all the years. In some areas, the runoff may increase up to 10–15%. In the basin of the river Sagiz, on the contrary, one should expect a decrease in runoff to 80%. The predicted dependence is not obtained for the site 05.03.09.00, because the expected amount of runoff depends on the amount of water flowing to an anabranch of the Volga river.

**Key words:** water management areas, scenario forecasts, precipitation, air temperature, regression equation.

Давлетқалиев С.К., Медеу Н.Н.

<sup>1</sup>г.ғ.д., проф., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, география және табиғатты пайдалану факультетінің метеорология және гидрология кафедрасы, Алматы қ., Қазақстан, e-mail: sdavletgaliev@mail.ru, тел.: +7 702 257 3959

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, география және табиғатты пайдалану факультетінің метеорология және гидрология кафедрасының 2 курс магистранты, Алматы қ., Қазақстан, e-mail: nadira.medeu@mail.ru, тел.: +7 702 194 5741

### Жайық-Каспий алабындағы су ресурстарының жеке су-шаруашылық учаскелерінің сценарийлік болжамдары

Жайық-Каспий алабындағы су ресурстарының жеке су-шаруашылық учаскелері бойынша сценарийлік болжамдарын жасау мүмкіндігі қарастырылды. Қазіргі заманғы климатты сипаттау үшін негізгі кезең ретінде 1980–2000 жж. аралығы алынды. 21 ғасырдың климатының сипаттамасын жасау үшін Казгидрометте С.А. Долгих қол жеткізген нәтижелер бойынша 2050 жылға дейінгі климатының жаңартылған проекциялары қолданылды. Болжау әдісінің негізі ретінде көктемгі су тасу шамасының топырақ ылғалдылығы мен еру алдындағы қарда сақталған су қорына тәуелділігі алынды. Жердің жанама ылғалдығының көрсеткіші ретінде қыркүйек пен қазан айларындағы күздік жауын-шашын мөлшерінің қосындысын алу қажет, ал қардағы су қорының көрсеткіші ретінде қараша мен наурыздың аралығындағы жауын-шашын мөлшерлерінің қосындысын алу қажет. Жылдық жиынтық ағындысы көктемгі ағынды шамасына байланысты анықталған. Болжау тәуелділігінің сапасы S/B критерийі бойынша бағаланды. 10 учаске үшін қанағаттанарлық тәуелділік алынды. Жайық-Каспий су-шаруашылық алабының климатының сценарийлік болжамдары негізінде 2050 жылға дейінгі кезеңге 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050 жылдарға су ресурстарының жекелеген учаскелері үшін болжамдар құрастырылды. Жалпы, Жайық-Каспий бассейнінде, орташа, бүкіл кезең аралығында екі сценарий бойынша ағындының өсуі 5–7 % деп күтілуде. Кейбір учаскелерде 10–15 % дейін ағынды мөлшері ұлғаюы мүмкін. Сағыз өзенінің алабында, керісінше, 80 % дейін төмендеуі күтілуде. 05.03.09.00 учаскесі үшін болжау тәуелділігі алынуы мүмкін емес, ағындының күтілетін шамасы Волга өзенінен келетін су мөлшеріне тәуелді.

**Түйін сөздер:** су-шаруашылық учаскелері, сценарийлік болжамдары, жауын-шашын, ауа температурасы, регрессия теңдеуі.

### Введение

По заключению Всемирной метеорологической организации вопросы водной безопасности в XXI веке будут ключевыми для человечества. Объемы водопотребления на земном шаре возрастают гигантскими темпами – вдвое быстрее темпов увеличения населения планеты. Уже сейчас многие территории испытывают водный стресс, с которым напрямую связаны экологические проблемы и здоровье наций (IPCC, 2007:

996), (Мальковский, 2014 : 85-90), (Miller, 1992 : 2757-2765), (Nohara, 2006 : 1076-1089), (Shen, 2007 : 62-70).

Не избежать проблем водной безопасности и Республике Казахстан. Напротив, они проявятся в остром варианте в связи с некоторыми особенностями нашей территории, а именно:

- значительной ограниченностью местными водными ресурсами;
- нашей зависимостью от государств-соседей, на территории которых формируется боль-

шая часть стока трансграничных рек (Ертис, Иле, Жайык, Шу, Сырдарья и др.);

- 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.

### Материал и Методы

Для разработки сценарных прогнозов климата Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна использован ансамблевый подход, основанный на моделях общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) нового поколения, разработанных в различных национальных и международных центрах и использованных для подготовки Четвёртого доклада об оценках межправительственной группы экспертов по изменению климата Казахстана.

Для оценки успешности модели общей циркуляции атмосферы и океана были рассчитаны статистические характеристики поля сезонного и годового количества осадков. В результате выбраны 9 МОЦАО, которые вошли в ансамбль для разработки сценарных прогнозов изменения климата Казахстана. Вероятные изменения количества осадков и температуры приземного воздуха рассчитаны в соответствии со сценарными изменениями концентрации в атмосфере парниковых газов. По сценарию А2 («жесткий») увеличение парниковых газов будет более значительным, чем по сценарию В1 («мягкий»).

Для характеристики современного климата в качестве базового использован период 1980-2000 гг. Для характеристик климата 21 века использованы обновленные проекции -климата до 2050 г, полученные в Казгидромете С.А.Долгих (Долгих, 2006 : 7-19). Рассмотрена возможность составления сценарного прогноза по 15 водохозяйственным участкам Жайык- Каспийского бассейна (рисунок 1).

Условия формирования стока на территории Равнинного Казахстана во многом отличаются от условий стока на этих же зонах ЕТ СНГ. Это область недостаточного увлажнения с ярко

выраженным континентальным климатом, где годовой сток на 80-90 % определяется талым стоком за период половодья. Поэтому между годовым и весенним стоком на реках Казахстана существует тесная связь. Дождевой сток мал, но осеннее увлажнение почвы колеблется от года к году в очень широких пределах (от 5-10 до 70-80 мм).

Прогнозы стока реки за период половодья основаны на уравнении водного баланса. Если из общего весеннего стока исключить сток, обусловленный независимым от поступления воды на поверхность подземным питанием, то уравнение водного баланса речного бассейна за период половодья может быть записано в следующем виде:

$$Y = S + X_1 + X_2 - I - P - Z, \quad (1)$$

где S – запас воды в снеге и ледяной корке на поверхности почвы,  $X_1$  - осадки, выпадающие на поверхность снега от даты наступления максимального запаса воды в снежном покрове до схода снега;  $X_2$  - осадки от даты схода снега до конца половодья; I – инфильтрация; P-количество воды, задержанной на поверхности бассейна; Z- суммарные потери воды на испарение за период половодья; Y – сток за половодье. Из-за трудности определения составляющих уравнения водного баланса прогноз стока весеннего половодья на равнинных реках Казахстана составляется по эмпирической зависимости.

Практически наибольшее распространение для прогноза стока половодья на реках западного, северного и центрального Казахстана получила эмпирическая зависимость вида

$$y=f(S+X_1+X_2, U), \quad (2)$$

где U – показатель увлажненности почвы, который определяется по номограмме Паршина. Зная величину весеннего стока, можно прогнозировать годовой сток. При составлении долгосрочного прогноза в данной работе в качестве показателя запасов воды в снеге принята сумма осадков за ноябрь-март, в качестве косвенной увлажненности почвы – сумма осадков за сентябрь-октябрь (Ресурсы поверхностных вод, 1966 : 515); (Ресурсы поверхностных вод, 1970 : 512).

Основным фактором, влияющим на процесс формирования стока, являются осадки. Существенное влияние изменения осадков во времени и пространстве на речной сток рассмотрено в (Jiang : 1985 : 143-154).

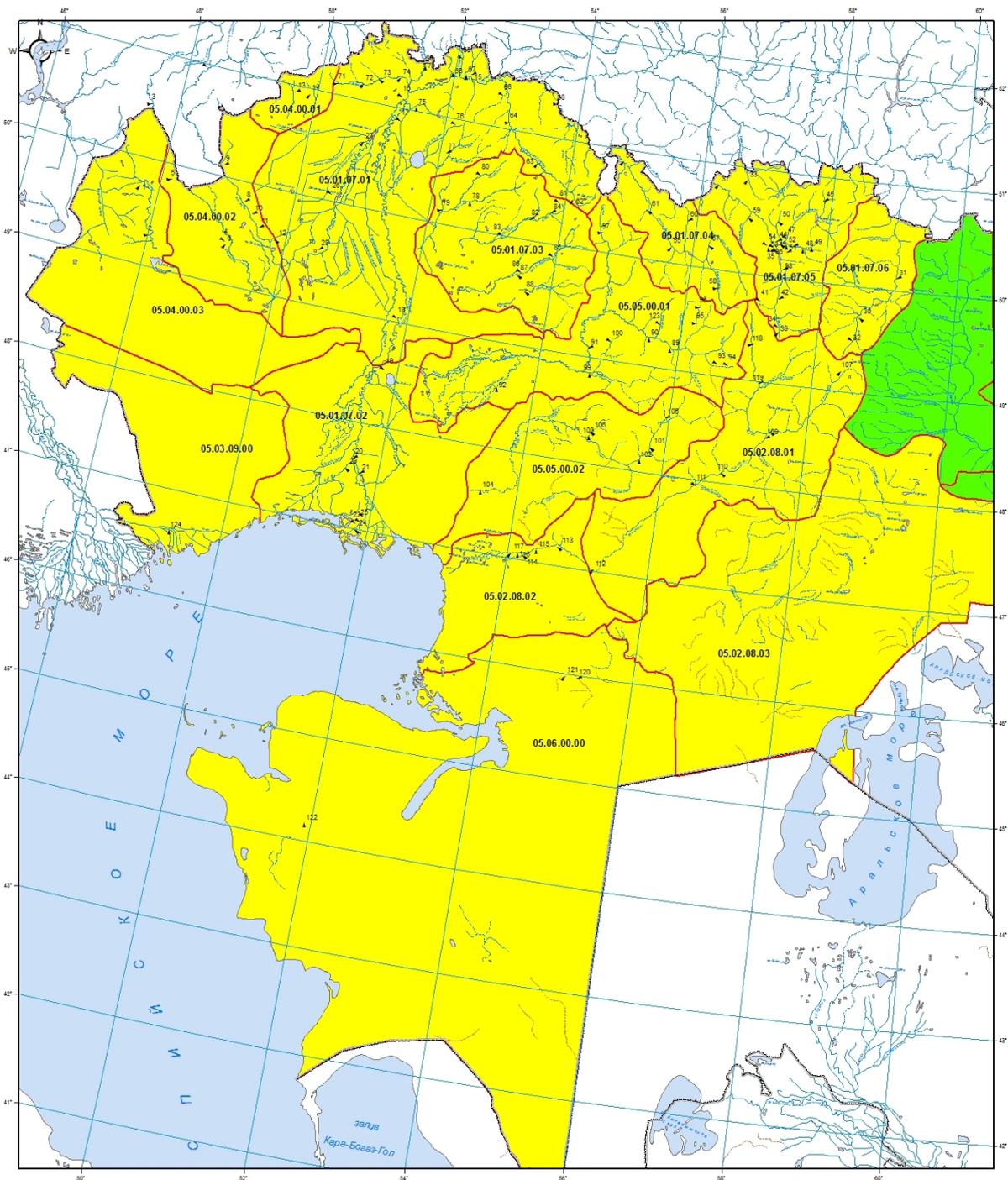


Рисунок 1 – Водохозяйственные участки Жайык-Каспийского ВХБ

### Результаты и Обсуждение

Для составления прогноза стока весеннего половодья в качестве показателя снеготаяния приняты зимние осадки за ноябрь-март ( $\sum X_{XI-III}$ ), а в качестве показателя увлажненности почвы – осенние осадки за сен-

тябрь-октябрь ( $\sum X_{IX-X}$ ). В отдельных случаях для учета влияния интенсивности снеготаяния использовалась температура воздуха за период таяния. Результаты оценки водных ресурсов Жайык-Каспийского ВХБ приведены в работах (Давлетгалиев, 2011 : 56-65), (Давлетгалиев, 2015 : 73-80), (Дмитриев, 2007 : 125-127), (Ре-

сурсы поверхностных вод, 1966 : 515); (Ресурсы поверхностных вод, 1970 : 512), (Цыценко, 2011 : 75-83). Значения осадков и температуры получены по координатным точкам отдельных участков Жайык-Каспийского бассейна по данным Казгидромета. Качество прогностической зависимости оценено коэффициентом корреляции и общепринятым критерием S/б (Давлетгалиев, 2015 : 203), (Наставление по службе прогнозов, 1962 : 193), (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984 : 68), (Свод правил СП-33-101-2003, 2004 : 72).

Водные ресурсы участка 05.01.07.01 формируются на территории РФ, поступление воды на этот участок оценивается по данным стока верховья р.Жайык-с.Январцево. Прогноз весеннего стока этого пункта может быть составлен с учетом зимних и осенних осадков, выпадающих в верховьях р. Урал. Качество методики оценено коэффициентом корреляции 0,70 и отношением S/б= 0,71. Местный сток участка, определенный балансовым методом, может быть прогнозирован по данным осадков, выпадающих на территории участка (R= 0,64, S/б= 0,77). Суммарный сток участка 05.01.07.01 может быть прогнозирован по данным осенних и зимних осадков, выпадающих в верховьях р. Урал (R= 0,60, S/б= 0,80) (Наставление по службе прогнозов, 1962 : 193).

Водные ресурсы участка 05.01.07.02 оцениваются величиной входящего стока в створе р.Жайык – с. Индебор. Сток этого участка зависит от суммарного стока верхнего участка 05.01.07.01. Теснота зависимости характеризуется коэффициентом корреляции R= 0,95. Поэтому водные ресурсы данного участка прогнозируются по прогнозным данным суммарного стока участка 05.01.07.01.

Сток участка 05.01.07.03 может быть прогнозирован по данным осенних осадков  $\sum X_{IX-X}$  участка и температуры воздуха за апрель  $t_{IV}$ . Теснота зависимости оценивается коэффициентом корреляции R= 0,65, а качество зависимости отношением S/б= 0,76.

Водные ресурсы участка 05.01.07.04 могут быть прогнозированы по данным суммы зимних и осенних осадков участка  $\sum X_{XI-III}$ ,  $\sum X_{IX-X}$ . При исключении данных осадков 1989 и 1998 гг. зависимость суммарного весеннего стока от осадков оценивается коэффициентом корреляции R= 0,70, а качество методики отношением S/б= 0,71.

Достаточно надежная прогностическая за-

висимость получена для прогноза стока участка 05.02.07.05 (R= 0,76, S/б= 0,65) по данным зимних и осенних осадков участка.

Удовлетворительная прогностическая зависимость от зимних и осенних осадков получена для участка 05.01.07.06 (R= 0,64, S/б= 0,77).

Надежная зависимость также получена для прогноза стока участка 05.02.08.01 по данным сумм зимних и осенних осадков участка (R= 0,69, S/б= 0,72).

Водные ресурсы участка 05.02.08.02 определяются поступлением воды из верхнего участка 05.02.08.01. Объем поступления оценивается величиной стока в створе р. Жем- с. Жанибек. Годовой сток этой реки может быть прогнозирован по прогнозным данным стока участка 05.02.08.02. Теснота зависимости стока р. Жем- с. Жанибек от стока р.Жем – с. Жаркамыс оценивается коэффициентом корреляции R= 0,91, S/б= 0,41.

Зависимость местного стока участка 05.02.08.02 от суммы зимних и осенних осадков слабая (R= 0,40, S/б= 0,91.) Учет температуры воздуха за период таяния снега не дал положительных результатов.

Суммарный сток данного участка может быть прогнозирован по данным суммы осадков при тесноте зависимости R= 0,57, S/б= 0,82. Учет температуры воздуха за период таяния также не улучшил качество прогноза.

Для участков 05.02.08.03, 05.03.09.00 для составления прогноза стока удовлетворительных зависимостей получить не удалось. Для участка 05.02.08.03 теснота зависимости характеризуется величиной R= 0,54 и отношением S/б= 0,84, для участка 05.03.09.00 эти характеристики равны R= 0,30 и S/б= 0,95. Следует отметить, что сток этого участка зависит от объема поступления стока из р. Волги, поэтому в принципе водные ресурсы участка не могут быть оценены по данным осадкам этого участка.

Удовлетворительная прогностическая зависимость получена для прогноза суммарного весеннего стока участка 05.04.00.01 по данным суммы осенних осадков  $\sum X_{IX-X}$  и температуры воздуха за апрель  $t_{IV}$  (R= 0,66, S/б= 0,67).

Для участка 05.04.00.02 качество зависимости стока от суммы зимних и осенних осадков оценивается показателями R=0,62 и S/б= 0,79. Качество методики прогноза считается удовлетворительным.

Для прогноза местного стока получить удовлетворительную зависимость не удалось. R= 0,39, S/б= 0,92.

Таблица 1 – Уравнения регрессии для прогноза суммарного весеннего стока Жайык-Каспийского ВХБ (1980-2000 гг.)

№	Участок	Период расчета	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, R	Качество методики, S/σ	Прогностическая зависимость
1	2	3	4	5	6	7
1	05.01.07.01 Приток Местный сток	1982-2000 гг.	$y = -2,35x_1 + 17,17x_2 + 672$	0,70	0,71	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
		1982-2000 гг.	$y = 0,18x_1 + 0,87x_2 + 18,04$	0,64	0,77	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
		1982-2000 гг.	$y = 10,15x_1 + 9,37x_2 - 357$	0,60	0,80	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
2	05.01.07.02 Суммарный сток	1960-2000 гг.	$y = 0,92x + 0,54$	0,95	0,30	Суммарный сток 05.01.07.01
3	05.01.07.03	1982-2000 гг.	$y = 0,08x_1 + 0,62x_2 + 20,78$	0,65	0,76	$\sum X_{IX-XI} t_{IV}$
4	05.01.07.04	1982-2000 гг.	$y = 0,49x_1 - 0,21x_2 - 18,53$	0,70	0,71	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
5	05.01.07.05	1982-2000 гг.	$y = 0,75x_1 + 0,53x_2 - 65,8$	0,76	0,65	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
6	05.01.07.06	1982-2000 гг.	$y = 0,63x_1 - 0,01x_2 - 38,96$	0,64	0,77	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
7	05.02.08.01	1982-84, 1986, 1988-2000 гг.	$y = 0,48x_1 + 0,55x_2 - 20,9$	0,69	0,72	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
8	05.02.08.02 Приток Местный сток Суммарный сток	1958-76, 1980-85 гг.	$y = 0,89x + 0,62$	0,91	0,41	Годовой сток р. Жем- с. Жаркамыс
		1982-96, 98-2000 гг.	$y = 0,15x_1 - 0,38x_2 + 3,53$	0,40	0,91	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
		1983-2000 гг.	$y = 0,88x_1 - 1,71x_2 + 24,19$	0,57	0,82	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
9	05.02.08.03	1982-2000 гг.	$y = -0,02x_1 + 0,15x_2 + 1,38$	0,54	0,84	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
10	05.04.00.01	1982-2000 гг.	$y = 0,16x_1 + 0,74x_2 - 3,10$	0,66	0,67	$\sum X_{XI-III} t_{IV}$
11	05.04.00.02 Приток	1982-2000 гг.	$y = 0,02x_1 + 0,14x_2 + 0,82$	0,62	0,79	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
12	05.05.00.01	1982-2000 гг.	$y = 0,32x_1 + 5,01x_2 - 78,70$	0,52	0,85	$\sum X_{IX-XI} t_{IV}$
13	05.05.00.01	1982-2000 гг.	$y = 0,65x_1 + 0,79x_2 - 78,20$	0,71	0,71	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
14	05.05.00.02	1982-1089, 1991-2000 гг.	$y = 0,04x_1 + 0,08x_2 - 4,47$	0,70	0,71	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$
16	05.06.00.00	1982-2000 гг.	$y = 0,02x_1 + 0,03x_2 - 1,13$	0,53	0,85	$\sum X_{XI-III} \sum X_{IX-X}$

Для прогноза стока участка 05.04.00.03 получена приближенная прогностическая зависимость от суммы осенних осадков  $\sum X_{ix-x}$  и температуры воздуха за май  $t_v$  ( $R=0,52$  и  $S/\sigma=0,85$ ).

Для участков 05.05.00.01 и 05.05.00.02 получены надежные прогностические зависимости от суммы осенних и зимних осадков участков. Показатели зависимостей соответственно равны  $R=0,71$ ,  $S/\sigma=0,71$  и  $R=0,70$ ,  $S/\sigma=0,71$ .

Годовой сток участка 05.06.00.00 может быть прогнозирован по приближенной зависи-

мости от суммы осенних и зимних осадков при  $R=0,53$  и  $S/\sigma=0,85$ .

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Для установления зависимости весеннего стока от климатических факторов (осадков и температуры воздуха) использованы базовые данные месячных осадков и температуры воздуха за 1980-2000 гг по координатным сеткам.

Полученные зависимости представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Уравнения регрессии зависимостей годового стока от весеннего стока рек Жайык-Каспийского ВХБ

ВХУ	Сток	Уравнение	r	Примечание
1	2	3	4	5
05.01.07.01	Приток в ВХУ	$y = 0,24x + 17,67$	0,97	Связь годового стока и весеннего стока
05.01.07.03	Местные ресурсы	$y = 0,11x + 1,45$	0,82	Связь годового стока и весеннего стока
05.01.07.04	Местные ресурсы	$y = 0,23x + 3,18$	0,87	Связь годового стока и весеннего стока
05.01.07.05	Местные ресурсы	$y = 0,38x + 0,29$	0,99	Связь годового стока и весеннего стока
05.01.07.06	Местные ресурсы	$y = 0,16x + 1,65$	0,85	Связь годового стока и весеннего стока
05.02.08.01	Местные ресурсы	$y = 0,23x + 2,54$	0,85	Связь годового стока и весеннего стока
05.02.08.02	Приток в ВХУ	$y = 0,31x + 0,01$	0,99	Связь годового стока и весеннего стока
	Местные ресурсы	$y = 0,17x + 5,64$	0,61	Связь годового стока и весеннего стока
05.04.00.02	Приток в ВХУ	$y = 0,27x + 6,06$	0,67	Связь годового стока и весеннего стока
05.05.00.01	Местные ресурсы	$y = 0,27x + 1,26$	0,97	Связь годового стока и весеннего стока
05.05.00.02	Местные ресурсы	$y = 0,26x + 0,07$	0,99	Связь годового стока и весеннего стока

На основе обновленной проекции климата на перспективу до 2050 г., составлен прогноз осадков и температуры воздуха. На основе новой версии объединенных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО, или модели глобального климата) обновленной проекции климата Казахстана на 2050 г, то есть дана оценка климата Казахстана, по ансамблю моделей рассчитаны месячные характеристики климата, которые осреднены за различные десятилетние периоды (2020-2029 гг, 2025-2034 гг, 2030-2039 гг, 2035-2044 гг, 2040-2049 гг, 2045-2054 гг.) (таблица 3).

По полученным прогностическим уравнениям регрессии составлены прогнозы весеннего стока, а затем – прогноз годового стока. На участках 05.01.07.02, 05.02.08.03, 05.03.09.00, 05.06.00.00 прогнозы составлены по уравнениям для годового стока.

Примеры графиков связи суммарного годового стока от весеннего стока представлены на рисунке 2.

Прогноз характеристик стока произведен по двум сценариям прогноза атмосферных осадков, а в 3 случаях учтены дополнительно температуры воздуха отдельных месяцев.

По первому сценарию на участке 05.01.07.01 ожидается незначительное повышение стока, а по второму сценарию несколько большее, чем по первому.

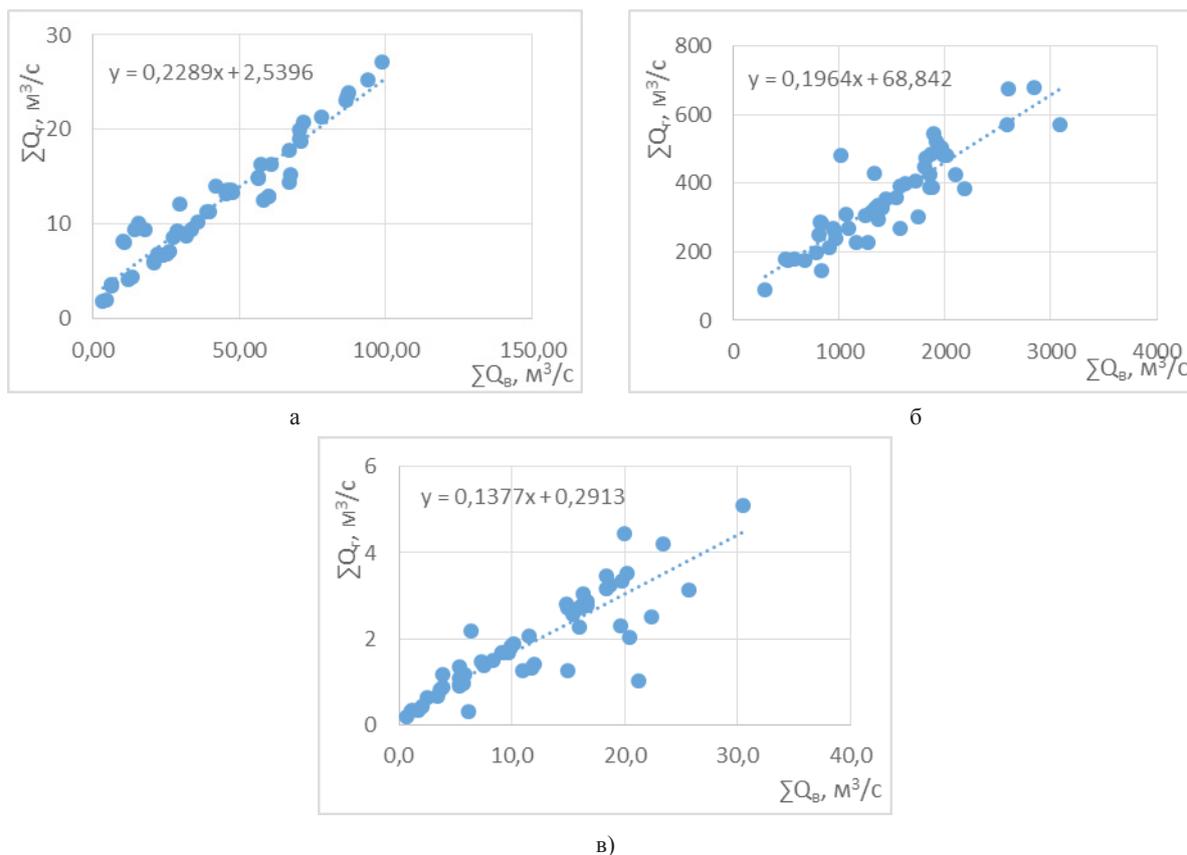
На участке 05.01.07.02 в среднем по двум сценариям ожидается увеличение стока на 20-25 %, однако эти результаты нужно считать лишь приближенными или ориентировочными из-за неточности определения стока данного участка в связи с недостаточностью данных наблюдений.

Таблица 3 – Сценарные прогнозы речного стока Жайык-Каспийского ВХБ

ВХУ	Сток	Q, м³/с	2025 (2020-2029)		2030 (2025-2034)		2035 (2030-2039)		2040 (2035-2044)		2045 (2040-2049)		2050 (2045-2054)	
			RCP 4.5	RCP 8.5										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Приток в ВХУ	336	348	363	347	365	352	368	362	355	363	346	360	337
05.01.07.01	Местные ресурсы	89,5	89,3	91,50	88,9	91,70	91,5	91,6	93,4	90,80	93,7	89,20	94,4	87,0
	Суммарные ресурсы	426	437	455	436	457	444	460	455	446	457	435	454	424
	Приток в ВХУ	330	403	419	402	421	409	424	419	411	421	401	418	391
05.01.07.02	Местные ресурсы													
	Суммарные ресурсы	330	403	419	402	421	409	424	419	411	421	401	418	391
	Приток в ВХУ													
05.01.07.03	Местные ресурсы	4,74	4,73	4,79	4,75	4,81	4,78	4,79	4,83	4,80	4,86	4,82	4,17	4,83
	Суммарные ресурсы	4,74	4,73	4,79	4,75	4,81	4,78	4,79	4,83	4,80	4,86	4,82	4,17	4,83
	Приток в ВХУ													
05.01.07.04	Местные ресурсы	9,56	10,60	9,80	10,60	9,90	10,40	10,10	10,30	10,30	10,40	10,10	11,10	10,20
	Суммарные ресурсы	9,56	10,60	9,80	10,60	9,90	10,40	10,10	10,30	10,30	10,40	10,10	11,10	10,20
	Приток в ВХУ													
05.01.07.05	Местные ресурсы	20,10	18,90	17,20	18,20	17,60	19,00	18,10	19,50	18,00	19,20	17,60	21,10	17,60
	Суммарные ресурсы	20,10	18,90	17,20	18,20	17,60	19,00	18,10	19,50	18,00	19,20	17,60	21,10	17,60
	Приток в ВХУ													
05.01.07.06	Местные ресурсы	6,68	6,65	5,86	6,44	6,12	6,54	6,23	6,54	6,18	6,54	6,07	7,00	6,20
	Суммарные ресурсы	6,68	6,65	5,86	6,44	6,12	6,54	6,23	6,54	6,18	6,54	6,07	7,00	6,20
	Приток в ВХУ													
05.02.08.01	Местные ресурсы	12,5	13,6	10,9	13,3	11,2	13,1	11,3	13,6	11,1	14,1	10,8	14,4	10,8
	Суммарные ресурсы	12,5	13,6	10,9	13,3	11,2	13,1	11,3	13,6	11,1	14,1	10,8	14,4	10,8
	Приток в ВХУ	11,2	13,1	11,3	12,8	11,5	12,7	11,5	13,0	11,4	13,3	11,2	14,6	12,2
05.02.08.02	Местные ресурсы	6,4	2,37	2,50	2,41	2,31	2,09	2,25	2,00	2,40	2,10	2,30	2,30	2,50
	Суммарные ресурсы	17,6	15,5	13,8	15,2	13,8	14,8	13,8	15,0	13,8	15,4	13,5	16,9	14,7
	Приток в ВХУ													
05.02.08.03	Местные ресурсы	3,36	2,20	2,49	2,16	2,38	2,37	2,39	2,50	2,40	2,40	2,30	2,40	2,20
	Суммарные ресурсы	3,36	2,20	2,49	2,16	2,38	2,37	2,39	2,50	2,40	2,40	2,30	2,40	2,20

Продолжение таблицы 3

ВХУ	Сток	Q, м³/с	2025 (2020-2029)		2030 (2025-2034)		2035 (2030-2039)		2040 (2035-2044)		2045 (2040-2049)		2050 (2045-2054)	
			RCP 4.5	RCP 8.5										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Приток в ВХУ	12,30	14,30	14,30	14,30	14,20	14,40	14,20	14,60	14,50	14,70	14,60	14,80	14,50
05.03.09.00	Местные ресурсы													
	Суммарные ресурсы	12,30	14,30	14,30	14,20	14,40	14,20	14,20	14,60	14,50	14,70	14,60	14,80	14,50
	Приток в ВХУ													
05.04.00.01	Местные ресурсы	2,33	3,98	3,88	4,00	4,04	4,04	4,00	4,13	4,07	4,20	4,10	4,30	4,20
	Суммарные ресурсы	2,33	3,98	3,88	4,00	4,04	4,04	4,00	4,13	4,07	4,20	4,10	4,30	4,20
	Приток в ВХУ	9,90	8,71	8,79	8,68	8,78	8,76	8,72	8,88	8,72	8,90	8,69	8,87	8,72
05.04.00.02	Местные ресурсы													
	Суммарные ресурсы	9,90	8,71	8,79	8,68	8,78	8,76	8,72	8,88	8,72	8,90	8,69	8,87	8,72
	Приток в ВХУ													
05.04.00.03	Местные ресурсы	3,19	6,72	6,78	6,69	7,19	7,21	7,29	7,75	7,35	7,70	7,73	7,60	7,89
	Суммарные ресурсы	3,19	6,72	6,78	6,69	7,19	7,21	7,29	7,75	7,35	7,70	7,73	7,60	7,89
	Приток в ВХУ													
05.05.00.01	Местные ресурсы	8,74	8,71	7,73	8,27	8,06	8,57	8,37	9,15	8,14	9,30	7,50	10,20	7,10
	Суммарные ресурсы	8,74	8,71	7,73	8,27	8,06	8,57	8,37	9,15	8,14	9,30	7,50	10,20	7,10
	Приток в ВХУ													
05.05.00.02	Местные ресурсы	2,44	0,44	0,39	0,41	0,42	0,43	0,43	0,48	0,41	0,50	0,40	0,50	0,40
	Суммарные ресурсы	2,44	0,44	0,39	0,41	0,42	0,43	0,43	0,48	0,41	0,50	0,40	0,50	0,40
	Приток в ВХУ													
05.06.00.00	Местные ресурсы	0,77	0,02	0,17	0,00	0,16	0,01	0,12	0,08	0,16	0,07	0,15	0,05	0,12
	Суммарные ресурсы	0,77	0,02	0,17	0,00	0,16	0,01	0,12	0,08	0,16	0,07	0,15	0,05	0,12
	Поступающий сток	369	384	397	383	399	388	402	398	390	400	380	398	372
	Местные ресурсы	90	89	92	89	92	92	92	93	91	94	89	94	87
	Суммарные ресурсы	459	473	489	472	491	479	494	492	480	494	470	493	459



**Рисунок 2** – Графики связи суммарного годового и весеннего стока  
 а) участок 05.02.01; б) участок 05.01.07.01; в) участок 05.04.00.01

На участках 05.01.07.04, 05.01.07.06, 05.05.00.01, 05.01.07.03 по двум сценариям не ожидается существенных изменений стока по сравнению с нормой.

На участке 05.01.07.05 в среднем по двум сценариям ожидается незначительное уменьшение стока в пределах 10-12%.

На участке 05.04.00.02 ожидается незначительное уменьшение стока. Количество поступающего стока зависит от режима использования воды этих рек за пределами нашей республики (Российская Федерация).

На участке 05.04.00.03 ожидается увеличение стока в 2 раза, однако эти результаты могут быть недостоверными из-за ненадежности методики прогноза, которая считается неудовлетворительной по существующей методике оценки качества прогноза ( $S/\sigma=0,85$ ).

На участках 05.02.08.03 и 05.02.08.02 ожидаются как и незначительное повышение, так и незначительное понижение, а в 05.02.08.03 ожидается уменьшение стока в среднем на 20-30 % по двум сценариям.

Для участка 05.03.09.00 прогностическая зависимость не получена, ожидаемая величина зависит от количества поступления воды по протоку Волги, поэтому ожидаемая величина колеблется в пределах нормы.

На участке 05.06.00.00 по приближенной прогностической зависимости по двум сценариям ожидается уменьшение стока на 80 % и более.

На участке 05.04.00.01 ожидается повышение стока в 1,5-2 раза по двум сценариям.

В целом, по Жайык-Каспийскому бассейну, в среднем ожидается увеличение стока на 5-7 % по двум сценариям за все годы.

### Выводы

Разработаны методические основы долгосрочного прогнозирования ресурсов речных вод на основе использования гидрометеорологических данных. Для прогнозирования водных ресурсов прогнозировался суммарный весенний сток участка с учетом весенне-зимних осадков и температуры воздуха, затем, зная величину ве-

сенного стока, оценивались ожидаемые ресурсы водохозяйственного участка.

Основными факторами, влияющими на процесс формирования весеннего стока, являются степень увлажнения почвы и запасы воды в снеге к началу его таяния.

В данной работе в качестве косвенного показателя увлажнения почвы принята сумма осенних осадков за сентябрь-октябрь ( $\sum X_{IX-X}$ ), запасы воды в снеге оценены по сумме зимних осадков за ноябрь-март ( $\sum X_{XI-III}$ ). В отдельных случаях в качестве второй переменной использованы месячные значения температуры воздуха.

Получены уравнения множественной корреляции. Качество зависимости оценено с помощью критерия S/Б. Для трех участков удовлетворительную зависимость получить не удалось.

Зависимости установлены за расчетный период 1980-2000 гг., при этом данные осадков и температуры воздуха получены по выбранной ячейке широтно-долготной сетки по каждому ВХУ.

На основе сценарных прогнозов климата (МОЦАО) Жайык – Каспийского ВХБ за период до 2050 составлены прогнозы водных ресурсов отдельных участков на 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050 гг.

### Литература

- 1 Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык-Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 2011. – №1. – С. 56-65.
- 2 Давлетгалиев С.К. Оценка водных ресурсов Жайык-Каспийского бассейна по водохозяйственным участкам // Гидрометеорология и экология – 2015. – №4. – С. 73 – 80.
- 3 Давлетгалиев С.К. Статистические методы обработки гидрологической информации. – Алматы, 2015. – 203 с.
- 4 Дмитриев Л. Водные объекты и водные ресурсы Урало-Каспийского бассейна. Информационный бюллетень. // Современные проблемы Урало-Каспийского бассейна.-Атырау: 2007. – С.125-127.
- 5 Долгих С.А., Смирнова Е.Ю., Сабирова А.У. К вопросу о построении сценариев изменения климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 7-19.
- 6 IPCC. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.)). – Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007-996 p.
- 7 Jiang T., Su B.D., Haztman H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin. 1961-2000 / Geomorpholog 85: 143-154 pp.
- 8 Мальковский И.М., Тoleбаева Л.С. Прогнозные сценарии водообеспеченности Республики Казахстан // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук.-2014.-№4 (406) –С. 85-90.
- 9 Miller J.R., Russell G.L. The impact of global warming on river runoff // Journal of Geophysical Research – 1992.-Vol.97.-N D3.-P.2757-2765.
- 10 Nohara D., A. Kitoh, M. Hosaka, Oki T. Impact of Climate Change on River Runoff using Multi-model Ensemble, J. Hydrometeor., submitted.-[Globe], 2005.
- 11 Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть 1, – Л.: Гидрометеоздат, 1962-193 с.
- 12 Пособие по определению расчетных характеристик.- Л: Гидрометиздат, 1984-68 с.
- 13 Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Т.12. – Вып.3. Актюбинская область-Л.: Гидрометиздат, 1966-515 с.
- 14 Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Т.12-Вып.2. Урало-Эмбинский району – Л.: Гидрометиздат, 1970. – 512 с.
- 15 Свод правил СП-33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик. – М: Стройиздат, 2004. – 72 с.
- 16 Shen Y., Oki T., Kanae S. Future change of world water resources under SRES climate warming scenarios: A multi-model analysis // Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management / Ed. By N. Giesen, X. Jun, D. Rosbjerg, Y. Fukushima // Proceedings of Symposium HS3006 at IUGG2007. Perugia, July 2007), IAHS Publ. 315. – P. 62-70, IAHS Press. Wallingford. UK, 2007.
- 17 Цыценко К.В., Владимирова Т.И. Водные ресурсы бассейна р. Урал и их изменения // Гидрометеорология и экология. – 2011. – № 1. – С. 75 – 83.

### References

- 1 Davletgaliev S.K. (2011) Poverhnostnye vodnye resursy Zhaiyk – Kaspiiskogo basseina v granicah Respubliki Kazakhstan [Surface water resources of the rivers of Zhayik-Caspian basin within the borders of the Republic of Kazakhstan]. // Gydrometeorologiya i ekologiya, no 1, pp. 56 – 65.
- 2 Davletgaliev S.K. (2015) Ocenka vodnyh resursov Zhaiyk – Kaspiiskogo basseina po vodohozyastvennym uchastkam [Assessment of water resources of Zhayik-Caspian basin for water management sites]. // Gydrometeorologiya i ekologiya, no 4, pp. 73 – 80.

- 3 Davletgaliev S.K. (2015) Statisticheskie metody obrabotki gidrologicheskoi informatsii [Statistical methods of processing hydrological information], Almaty, 203 p.
- 4 Dmitriev L. (2007) Vodnye obiekty i vodnye resursy Uralo – Kaspiiskogo basseina [Water bodies and water resources of the Ural-Caspian basin]. Informacionnyi bulletin // Sovremennyye problemy Uralo – Kaspiiskogo basseina, Atyrau, pp. 125 – 127.
- 5 Dolgikh SA, Smirnova E.Yu., Sabirova A.U. (2006) K voprosu o postroenii ctsenariiev izmeneniya klimata [On the issue of building climate change scenarios]. // Gydrometeorologiya i ekologiya, no 1, pp. 7-19.
- 6 IPCC. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.). – Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007-996 p.
- 7 Jiang T., Su B.D., Haztman H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin. 1961-2000 / Geomorpholog 85: 143-154 pp.
- 8 Malkovsky I.M., Tolebaeva L.S. (2014) Prognoznye stsenarii vodoobespechennosti Respubliki Kazakhstan [Forecast scenarios of water availability of the Republic of Kazakhstan]. // Izvestiya NAN RK, Seriya geologii i tehnikeskikh nauk, no 4 (406), pp. 85-90.
- 9 Miller J.R., Russell G.L. The impact of global warming on river runoff // Journal of Geophysical Research – 1992.-Vol.97.-N D3.-P.2757-2765.
- 10 Nohara D., A. Kitoh, M. Hosaka, Oki T. Impact of Climate Change on River Runoff using Multi-model Ensemble, J. Hydrometeor., submitted.-[Globe], 2005.
- 11 Nastavlenie po sluzhbe prognozov (1962) [Manual on forecasts]. Par.3, part1, L. : Gidrometeoizdat, 193 p.
- 12 Posobie po opredeleniyu rashetnyh gidrologicheskikh kharakteristik (1984) [Manual on the definition of design characteristics], L.: Gidrometeoizdat, 152 p.
- 13 Resursuy poverhnostnyh vod SSSR. Nizhnee Povolzhie i Zapadnyy Kazakhstan (1966), [Resources of surface waters of the USSR. Lower Volga and Western Kazakhstan], V.12, no 3, Aktuybinskaya oblast, L.: Gidrometeoizdat, 514 p.
- 14 Resursuy poverhnostnyh vod SSSR (1970) [Resources of surface waters of the USSR], V.12, no 2. Uralo-Embinskiy rayon, L.: Gidrometeoizdat, 511 p.
- 15 Svod pravil SP-33-101 – 2003. Opredelenie osnovnyh rasshetnyh gydrologicheskikh harakteristik (2004) [Code of Regulations SP-33-101-2003. Determination of basic design characteristics], M.: Gosstroj Rossii, 71 p.
- 16 Shen Y., Oki T., Kanae S. Future change of world water resources under SRES climate warming scenarios: A multi-model analysis // Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management /, / Ed. By N. Giesen, X. Jun, D. Rosbjerg , Y. Fukushima // Proceedings of Symposium HS3006 at IUGG2007. Perugia, July 2007), IAHS Publ. 315.-P. 62-70, IAHS Press. Wallingford. UK, 2007.
- 17 Tsyenko K.V., Vladimirova T.I. (2011) Vodnye resursy basseina r. Ural i ih izmeneniya [Water resources of the Ural river basin and their changes]. // Gydrometeorologiya i ekologiya, no 1. pp. 75 – 83.