

Раздел 1
Section 1ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ
HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 556.5

**ВОДНОСТЬ РЕК АЛТАЙСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**Е.Д. Кошелева^{1,2}¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,²Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул,E-mail: ¹edk@iwep.ru, ²jten@yandex.ru

Согласно исследованию 2022 г. МГЭИК человечество не способно предотвратить экстремальные климатические изменения. Возникла необходимость актуализировать оценки изменения стока рек Алтайского края, сделанные на основе данных до 2010 г., для современных климатических условий. Целью исследования является оценка текущих тенденций в динамике стока рек Алтайского края на основе современных данных и прогнозы их стока к 2030, 2040, 2050 гг. Сценарные прогнозы сделаны исходя из гипотезы, что климатические изменения к 2030–2050 гг. будут иметь такую же интенсивность, какая наблюдалась в последние 40 лет. Для оценки изменения водности рек использовались выявленные линейные тренды в ряду многолетних наблюдений за расходом воды. Приблизительное равенство средних значений ряда наблюдений и ряда линейной аппроксимации позволило сделать прогнозы норм стока, продлевая линейную аппроксимацию на 10, 20, 30 элементов ряда вперед и рассчитывая среднее значение этих рядов. Для 21 реки бассейна Верхней Оби и Обь-Иртышского междуречья в пределах Алтайского края на 33 гидрологических постах были выявлены тренды в ряду среднегодовых расходов, рассчитаны скорости изменения норм стока Q_0 (м³/с за 10 лет) и объемов стока W_0 (км³/год за 10 лет), выполнены сценарные прогнозы этих показателей для 2030, 2040, 2050 гг. Большинство рек Алтайского края в современных климатических условиях незначительно увеличивают свою водность. Относительные ошибки сценарных 10-летних прогнозов на 2020 г, выполненные ранее в 2013–2018 гг., для основных рек Алтайского края с объемом стока от 15 до 55 км³/год составили менее 1%, для объемов стока 10 км³/год – около 1%.

Ключевые слова: водность рек; изменение климата; прогнозы; Алтайский край.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-16901

Дата поступления: 21.03.2023. Принята к печати: 25.04.2023

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), в которую с начала и на протяжении трех десятилетий входят и российские ученые, в 2021–2022 гг. опубликовала шестой оценочный доклад МГЭИК (ОД6 МГЭИК), согласно которому человечество не способно предотвратить экстремальные климатические изменения. Утверждается, что если в двадцатом десятилетии XXI века не произойдет значительного сокращения выбросов парниковых газов, то в текущем столетии глобальное потепление превысит 1.5 °C и 2 °C [Climate Change..., 2022]. По данным Росгидромета темпы потепления за период с 1975 по 2022 гг. более чем в 2.5 раза превосходят средние глобальные тенденции [Третий..., 2022а].

Для территории Российской Федерации свойственно многообразие проявлений изменений климата и неоднозначность последствий для природной среды, экономики и населения. Оценивая водные ресурсы Сибирского Федерального округа в условиях современного климата, следует отметить, что сток реки Обь в период 1978–2020 гг. был на 14% ниже, чем в предшествующий период, при этом его дисперсия существенно уменьшилась [Третий..., 2022б].

В 2022 г в России завершилась реализация национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата, в рамках которого разрабатывались планы адаптации для отраслей и регионов страны [Национальный..., 2019]. Реализуя Федеральную научно-техническую программу в области экологического развития Российской Федерации и оценки климатических изменений на 2021–2030 годы,

научно-исследовательские учреждения Росгидромета, институты РАН и университеты страны создают единую национальную систему мониторинга климатически активных веществ [Федеральная..., 2022].

Выполненные работы по оценке изменения водности рек Алтайского края в современных климатических условиях и по сценарному прогнозу гидрологического стока в многолетней динамике были востребованы при моделировании перспективной водообеспеченности Алтайского края в государственном бюджетном проекте ИВЭП СО РАН № 0306-2021-0002.

Целью исследования является оценка изменений стока рек Алтайского края в условиях климатического потепления. В исследовании решались задачи выявления трендов в ряду среднегодовых расходов рек Алтайского края, расчета скорости изменения норм стока Q_o (м³/с за 10 лет) и объемов стока W_o (км³/год за 10 лет), сценарных прогнозов норм стока к 2030, 2040, 2050 гг. и сравнения результатов прогноза для 2020 гг., выполненных в 2010 гг., с достигнутыми в 2020 гг. показателями стока.

Материалы и методы

В качестве материала исследований использовались данные гидрологических ежегодников и ГИС-система Центра регистра и кадастра РФ по ежемесячным и ежегодным расходам рек верхнего течения Оби и Обь-Иртышского междуречья в пределах Алтайского края (21 река, 33 гидрологических поста) [Информационная..., 2023]. Методы оценки изменения водности рек соответствуют общепринятым подходам и подробно изложены в авторских публи-

кациях [Кошелева, 2010; Кошелева, 2013; Zinoviev et al, 2016; Кошелева, Зиновьев, 2017; Зиновьев, Кошелева, 2018].

В процессе анализа исходных данных были рассчитаны тренды среднегодовых расходов для каждого гидрологического поста за весь период наблюдений, а также начиная с 1977 г. прошлого столетия (рис. 1).

Время начала климатических изменений определялось на основе анализа результатов исследований, приводимых в монографии И.А. Шикломанова, где отмечалась нестандартная ситуация, начавшаяся с 80-х годов XX века. Индикатором изменения водных ресурсов стало резкое повышение уровня Каспийского моря с 1978 г. В связи с чем для всех рассматриваемых в монографии рек была выполнена оценка изменений за период 1978–2005 гг. среднего годового, сезонного и месячного стока по сравнению со средними значениями за предшествующий период [Водные ресурсы..., 2008].

В процессе анализа гидрографов рек Алтайского края было установлено, что ряды данных за весь период наблюдений для

части рек являются неоднородными хотя бы по одному из трех статистических критериев (Стьюдента по среднему значению, Фишера по дисперсии или по Т-критерий Вилкоксона). В такой ситуации следует руководствоваться рекомендациям СП 33-101-2003 о необходимости в нестационарном ряду данных выделения двух или более стационарных совокупностей однородных элементов [СП 33-101-2003, 2004].

Взяв за ориентир 1978 г., за начало расчетного периода для большинства рек Алтайского края (29 постов) был принят 1977 г., так чтобы на временном интервале с 1977 по 2020 гг. в гидрографах рек наблюдались бы полные циклы водности, что обезопасило бы прогнозы от необоснованного занижения или завышения прогнозных значений. Для четырех гидрологических постов были установлены расчетные периоды немного большей или меньшей продолжительности: р. Песчаная – с. Точильное (1976–2020 гг.); р. Чарыш – Чарышский зерновой совхоз (1975–2020 гг.); р. Локтевка – с. Курья (1960–2020 гг.); р. Жилиха – с. Жилино (1979–2020 гг.).

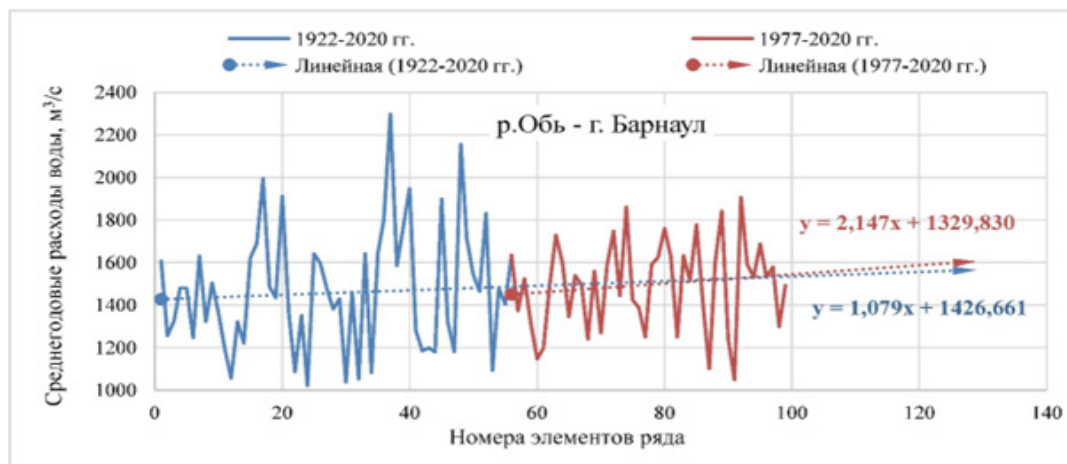


Рис.1. Пример линейной аппроксимации среднегодовых расходов по полному ряду наблюдений и по ряду наблюдений с 1977 по 2020 гг. для гидрологического поста р. Обь – г. Барнаул

Fig. 1. An example of a linear approximation of the average annual water discharges for the full series of observations and for the series of observations from 1977 to 2020 for hydrological post r. Ob – Barnaul

От построенных линейных аппроксимаций среднегодовых расходов воды можно перейти к расчетам сценарных прогнозов норм стока (средних значений ряда), используя приблизительное равенство:

$$\sum_{i=1}^n q_i \approx \sum_{i=1}^n q_i^T$$

где Q_i – значения среднегодовых расходов воды, м³/с;

Q_i^T – значения линейной аппроксимации среднегодовых расходов воды, м³/с;

При этом средние значения этих рядов будут тоже приблизительно равны:

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \quad Q_0^T = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^T}{n}, \\ Q_0 \approx Q_0^T,$$

где Q_0 – среднее значение среднегодовых расходов воды (норма стока), м³/с;

Q_0^T – среднее значение ряда линейной аппроксимации, м³/с.

Сценарный прогноз значений норм стока (средних значений среднегодовых расходов воды) можно сделать, продлевая уравнение линейной аппроксимации на 10, 20, 30 элементов ряда вперед. Условием выполнения сценарного прогноза является сохранение в будущем характера изменений наблюдаемых величин.

Результаты и обсуждение

В результате расчетов для 33 гидрологических постов рек Алтайского края были получены значения скоростей изменения норм стока, среднегодовых объемов стока и прогнозные значения этих величин для 2030, 2040, 2050 гг. (табл.1).

Только 4 водотока в незначительной степени уменьшают свою водность: р. Чарыш – Белоглазово, р. Большая Речка – Троицкое; р. Чумыш – Кытманово; р. Жилиха – Жилино. Изменения норм стока и объемов стока за 10 лет составляют от -1.66 до -0.10% от расчетных значений этих показателей в 2020 г.

На 29 гидрологических постах будет наблюдаться увеличение водности водотоков от «почти нуля» (р. Бия – г. Бийск) до 6% за 10 лет (р. Бурла – с. Хабары, бессточная область Обь-Иртышского междуречья). Относительное увеличение водности в большей степени свойственно малым рекам и средним рекам в верхнем течении, где площади водосборов еще не значительны. Река Обь на гидропостах с. Фоминское, г. Барнаул, г. Камень-на-Оби будет увеличивать водность со скоростью 0.65...1.30% за 10 лет.

Были просчитаны также варианты прогнозных сценариев на основе трендов линейной аппроксимации за весь период наблюдений с годов создания гидрологических постов. Фрагмент результатов расчета для значимых водотоков Алтайского края приведён в табл. 2.

Полученное абсолютное и относительное изменение норм, рассчитанное на основе разных периодов (с начала наблюдений на посту и с 1977 г.), а также прогнозные значения на 2030, 2040, 2050 гг. не являются расчетами одной и той же величины из-за разной нормы стока этих двух рядов и разной продолжительности исходного ряда.

Таблица 1

Норма стока ($\text{м}^3/\text{с}$) и среднегодовой объем стока ($\text{км}^3/\text{год}$) рек Алтайского края за период с 1977 г. по 2020 гг. и их прогноз по трендам линейной аппроксимации на 2030–2050 гг.

Table 1

The average value of the annual water discharges ($\text{м}^3/\text{с}$) and average annual runoff ($\text{км}^3/\text{year}$) of the rivers of the Altai Territory for the period from 1977 to 2020 and their forecast based on linear approximation trends for 2030–2050

№	Река – пост	Ед. изм	Расчет 2020	Сценарный прогноз			За 10 лет	
				2030	2040	2050	абс. знач.	% от 2020 г.,
1	Обь – Фоминское	$\text{м}^3/\text{с}$	1132.07	1148.31	1164.56	1180.80	14.77	1.30
		$\text{км}^3/\text{год}$	35.70	36.21	36.73	37.24	0.47	
2	Обь – Барнаул	$\text{м}^3/\text{с}$	1496.25	1506.98	1517.72	1528.46	9.76	0.65
		$\text{км}^3/\text{год}$	47.19	47.52	47.86	48.20	0.31	
3	Обь – Камень-на-Оби	$\text{м}^3/\text{с}$	1668.44	1684.14	1699.84	1715.53	14.27	0.86
		$\text{км}^3/\text{год}$	52.62	53.11	53.61	54.10	0.45	
4	Бия – Бийск	$\text{м}^3/\text{с}$	474.41	474.41	474.42	474.42	0.00	0.00
		$\text{км}^3/\text{год}$	14.96	14.96	14.96	14.96	0.00	
5	Катунь – Сростки	$\text{м}^3/\text{с}$	619.93	625.57	631.21	636.85	5.13	0.83
		$\text{км}^3/\text{год}$	19.55	19.73	19.91	20.08	0.16	
6	Иша – Усть-Иша	$\text{м}^3/\text{с}$	33.65	33.88	34.10	34.32	0.20	0.60
		$\text{км}^3/\text{год}$	1.06	1.07	1.08	1.08	0.01	
7	Чапша – Красногорское	$\text{м}^3/\text{с}$	8.50	8.56	8.63	8.70	0.06	0.72
		$\text{км}^3/\text{год}$	0.27	0.27	0.27	0.27	0.00	
8	Каменка – Советское	$\text{м}^3/\text{с}$	9.96	10.28	10.61	10.93	0.29	2.96
		$\text{км}^3/\text{год}$	0.31	0.32	0.33	0.34	0.01	
9	Песчаная – Точильное	$\text{м}^3/\text{с}$	34.20	36.06	37.92	39.78	1.69	4.95
		$\text{км}^3/\text{год}$	1.08	1.14	1.20	1.25	0.05	
10	Ануй – Солонешное	$\text{м}^3/\text{с}$	18.48	19.39	20.31	21.23	0.83	4.51
		$\text{км}^3/\text{год}$	0.58	0.61	0.64	0.67	0.03	
11	Ануй – Ануйский	$\text{м}^3/\text{с}$	31.10	32.78	34.46	36.13	1.53	4.90
		$\text{км}^3/\text{год}$	0.98	1.03	1.09	1.14	0.05	
12	Чарыш – Чарышское	$\text{м}^3/\text{с}$	114.01	116.53	119.05	121.57	2.29	2.01
		$\text{км}^3/\text{год}$	3.60	3.67	3.75	3.83	0.07	
13	Чарыш – Белоглазово	$\text{м}^3/\text{с}$	176.83	176.54	176.25	175.96	-0.26	-0.15
		$\text{км}^3/\text{год}$	5.58	5.57	5.56	5.55	-0.01	
14	Чарыш – Усть-Камышенка	$\text{м}^3/\text{с}$	181.80	184.77	187.74	190.70	2.70	1.48
		$\text{км}^3/\text{год}$	5.73	5.83	5.92	6.01	0.09	
15	Чарыш – Чарышский зерновой свх.	$\text{м}^3/\text{с}$	188.44	192.24	196.05	199.85	3.46	1.84
		$\text{км}^3/\text{год}$	5.94	6.06	6.18	6.30	0.11	
16	Белая – Бугричица	$\text{м}^3/\text{с}$	24.54	25.21	25.88	26.56	0.61	2.48
		$\text{км}^3/\text{год}$	0.77	0.80	0.82	0.84	0.02	

№	Река – пост	Ед. изм	Расчет 2020	Сценарный прогноз			За 10 лет	
				2030	2040	2050	абс. знач.	% от 2020 г.,
17	Маралиха – Куйбышево	м³/с	6.91	7.15	7.38	7.62	0.21	3.10
		км³/год	0.22	0.23	0.23	0.24	0.01	
18	Локтевка – Курья	м³/с	7.11	7.30	7.49	7.67	0.17	2.38
		км³/год	0.22	0.23	0.24	0.24	0.01	
19	Большая Речка – Троицкое	м³/с	4.21	4.20	4.20	4.19	0.00	-0.10
		км³/год	0.13	0.13	0.13	0.13	0.00	
20	Алей – Старо- Алейское	м³/с	19.51	20.33	21.14	21.96	0.74	3.80
		км³/год	0.62	0.64	0.67	0.69	0.02	
21	Алей – Локоть	м³/с	26.80	27.94	29.08	30.21	1.03	3.85
		км³/год	0.85	0.88	0.92	0.95	0.03	
22	Алей – Алейск	м³/с	30.46	32.18	33.90	35.61	1.56	5.12
		км³/год	0.96	1.01	1.07	1.12	0.05	
23	Большая Лосиха – Косиха	м³/с	1.71	1.73	1.75	1.77	0.02	1.07
		км³/год	0.05	0.05	0.06	0.06	0.00	
24	Касмала – Рогозиха	м³/с	1.62	1.66	1.71	1.76	0.04	2.60
		км³/год	0.05	0.05	0.05	0.06	0.00	
25	Чумыш – Ель- цовка	м³/с	40.99	41.56	42.12	42.68	0.51	1.25
		км³/год	1.29	1.31	1.33	1.35	0.02	
26	Чумыш – Кытманово	м³/с	69.47	69.04	68.61	68.18	-0.39	-0.56
		км³/год	2.19	2.18	2.16	2.15	-0.01	
27	Чумыш – Заринск	м³/с	102.25	103.37	104.50	105.62	1.02	1.00
		км³/год	3.22	3.26	3.30	3.33	0.03	
28	Чумыш – Тальменка	м³/с	119.83	121.98	124.13	126.28	1.95	1.63
		км³/год	3.78	3.85	3.91	3.98	0.06	
29	Тогул – Тогул	м³/с	11.73	12.01	12.30	12.58	0.26	2.20
		км³/год	0.37	0.38	0.39	0.40	0.01	
30	Аламбай - Казанцево	м³/с	10.91	11.13	11.34	11.55	0.19	1.77
		км³/год	0.34	0.35	0.36	0.36	0.01	
31	Кулунда – Шимолино	м³/с	4.57	4.96	5.35	5.74	0.36	7.82
		км³/год	0.14	0.16	0.17	0.18	0.01	
32	Бурла – Хабары	м³/с	2.55	2.71	2.88	3.05	0.15	6.00
		км³/год	0.08	0.09	0.09	0.10	0.01	
33	Жилиха – Жилино	м³/с	1.55	1.52	1.49	1.46	-0.03	-1.66
		км³/год	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	

Другими словами, если в гидрологических расчетах будут использоваться ряды данных с начала наблюдений на постах, то в оценках перспектив следует пользоваться прогнозами на основе трендов, построенных по данным полного ряда. А если будут учитываться имеющиеся неоднородности

рядов, то следует использовать ряды данных для рек Алтайского края в большинстве случаев с 1977 г. С нашей точки зрения следует оценивать текущее состояние водных ресурсов, т.е. следовать второму пути. Продолжительность рядов в 44 года достаточна для расчета статистических параметров.

Таблица 2

Норма стока ($\text{м}^3/\text{с}$) и среднегодовой объем стока ($\text{км}^3/\text{год}$) значимых водотоков Алтайского края за период с начала наблюдений по 2020 гг. и их прогноз по трендам линейной аппроксимации на 2030–2050 гг. (фрагмент)

Table 2

Runoff rate (m^3/s) and average annual runoff volume (km^3/year) of significant watercourses in the Altai Territory for the period from the beginning of observations to 2020 and their forecast based on linear approximation trends for 2030–2050 (fragment)

№	Река – пост, расчетный период	Ед. изм.	Расчет	Сценарный прогноз				За 10 лет	
			2020	2030	2040	2050	абс. знач.	% от 2020 г.	
1	Обь – Фоминское 1953–2020	м³/с	1145.27	1145.41	1145.55	1145.69	0.128	0.01	
		км³/Год	36.12	36.12	36.13	36.13	0.004	0.01	
2	Обь – Барнаул 1922–2020	м³/с	1480.61	1486.01	1491.40	1496.80	4.905	0.33	
		км³/Год	46.69	46.86	47.03	47.20	0.155	0.33	
3	Обь – Камень-на-Оби 1894–2020	м³/с	1627.30	1636.85	1646.40	1655.95	8.682	0.53	
		км³/Год	51.32	51.62	51.92	52.22	0.274	0.53	
4	Бия – Бийск 1895–2020	м³/с	475.85	476.29	476.74	477.18	0.403	0.08	
		км³/Год	15.01	15.02	15.03	15.05	0.013	0.08	
5	Катунь – Сростки 1936–2020	м³/с	621.58	621.00	620.42	619.84	-0.528	-0.08	
		км³/Год	19.60	19.58	19.57	19.55	-0.017	-0.08	
11	Ануй – Ануйский 1962-2020	м³/с	31.04	31.78	32.51	33.25	0.669	2.16	
		км³/Год	0.98	1.00	1.03	1.05	0.021	2.16	
22	Алей – Алейск 1954–2020	м³/с	31.53	31.71	31.90	32.08	0.168	0.53	
		км³/Год	0.99	1.00	1.01	1.01	0.005	0.53	
28	Чумыш – Тальменка 1943–2020	м³/с	129.67	127.94	126.21	124.48	-1.572	-1.21	
		км³/Год	4.09	4.03	3.98	3.93	-0.050	-1.21	

Поскольку с момента первых сценарных прогнозов прошло более 10 лет, то появилась возможность получить величины ошибок сценарных прогнозов (табл. 3, рис. 2), выполненных с использованием линейных трендов, рассчитанных в 2013–2018 гг. [Кошелева, 2013; Zinoviev et al, 2016; Кошелева, Зиновьев, 2017; Зиновьев, Кошелева, 2018].

Как видно из табл. 3 ошибки сценарных прогнозов для десятилетней перспективы в абсолютном значении не превышают 1.3% для р. Обь, а для остальных рек варьируются от 0.08 до 3.17%. Исключе-

ние составляет створ в верхнем течении р. Ануй – свх. Ануйский, где ошибка прогноза составила 10.2%.

Аппроксимирующая функция относительной ошибки сценарного прогноза в зависимости от объемов стока (рис. 2) демонстрирует обратную зависимость: чем больше объем стока, тем меньше ошибка. Таким образом, для рек Алтайского края с объемом стока от 15 до 55 $\text{км}^3/\text{год}$ относительные ошибки 10-летнего прогноза составляют менее 1%, для объемов стока 10 $\text{км}^3/\text{год}$ – около 1%.

Таблица 3

Ошибки сценарных прогнозов объема стока для 2020 г., выполненных с использованием линейных трендов среднегодовых расходов рек Алтайского края за период с начала наблюдений до 2010 г.

Table 3

Errors in scenario forecasts of runoff volume for 2020, made using linear trends in the average annual discharges of rivers in the Altai Territory for the period from the beginning of severity to 2010

Река – створ	Объем стока в 2020 г. км ³ /год		Ошибка сценарного прогноза	
	прогноз ¹	расчет	км ³ /год	%
Обь – Фоминское	35.65	36.12	0.47	1.30
Обь – Барнаул	47.02	46.69	-0.33	-0.71
Обь – Камень-на-Оби	51.36	51.32	-0.04	-0.08
Бия – Бийск	14.93	15.01	0.08	0.53
Катунь – Сростки	19.88	19.6	-0.28	-1.43
Ануй – свх. Ануйский	0.88	0.98	0.1	10.20
Чарыш – свх. Чарышский	6.07	5.95	-0.12	-2.02
Алей – Староалейское	0.61	0.63	0.02	3.17
Чумыш – Тальменка	3.91	4.09	0.18	4.40

¹Примечание: в таблице приведены прогнозные значения объемов стока рек, рассчитанных до 2010 г. [Кошелева, 2010; Кошелева, Зиновьев, 2017; Зиновьев, Кошелева, 2018].

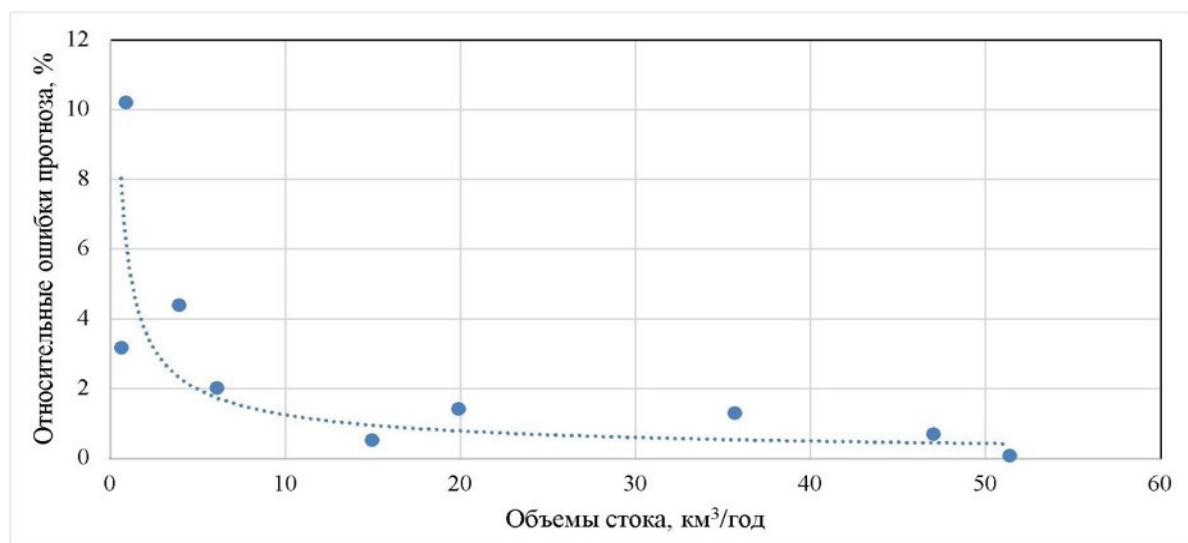


Рис. 2. Относительные ошибки сценарного прогноза объема стока основных рек Алтайского края для 2020 г.

Fig. 2. Relative errors in the scenario forecast for the runoff of the main rivers of the Altai Territory for 2020

В третьем оценочном докладе об изменениях климата для р. Обь приведены результаты ожидаемых изменений по 4 сценариям: в период 2041–2060 гг. изменения стока достигнут $0 \pm 7\%$ или $1 \pm 7\%$ и в период 2081–2100 гг. $3 \pm 10\%$ или $4 \pm 13\%$ относительно базового периода, за который были

приняты года с 1995 по 2014. [Третий..., 2022a]. По сценарному прогнозу данного исследования изменения стока р. Обь (с. Фоминское, г. Барнаул, г. Камень-на-Оби) к 2050 г. достигнут значений соответственно в $+3.9\%$, $+1.95\%$ и $+2.6\%$ от стока в базовый период 1977–2020 гг.

Заключение

Большинство рек Алтайского края в современных климатических условиях увеличивают свою водность. Изменения стока рек носит незначительный характер. По сценарному прогнозу у р. Обь (с. Фоминское, г. Барнаул, г. Камень-на-Оби) к 2050 г. изменения стока достигнут значений соответственно в +3.9%, +1.95% и +2.6% от стока в базовый период с 1977 по 2020 гг.

Относительные ошибки сценарных 10-летних прогнозов на 2020 г, выполненные ранее в 2013–2018 гг., для основных рек Алтайского края с объемом стока от 15 до 55 км³/год составили менее 1%, для объемов стока 10 км³/год – около 1%. Фактически можно говорить об использовании кусочно-линейной аппроксимации при реализации сценарных прогнозов, где в качестве базовых периодов выступали наблюдения в начале до 2010 г., а потом до 2020 г.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest. The author declare that she has no competing interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

Список литературы

Водные ресурсы России и их использование / Ред. проф. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный Гидрологический институт. 2008. 600 с.

Зиновьев А.Т., Кошелева Е.Д. Произошедшее и ожидаемое изменение объема стока рек Обь-Иртышского бассейна под влиянием природно-климатических факторов // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 77–88.

Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству рек России [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/> (дата обращения: 26.02.2023).

Кошелева Е.Д., Зиновьев А.Т. Анализ изменения водности рек Обь-Иртышского бассейна в условиях изменения климата // Известия АО РГО. 2017. № 3. С.80–86.

Кошелева Е.Д. Изменение стока реки Оби в створе г. Барнаула под влиянием изменений климата // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы 3-й Всероссийской конф. с междунар. участием (Барнаул, 24–28 августа 2010 г.). Барнаул: АРТ, 2010. С. 154–157.

Кошелева Е.Д. Оценка динамики норм стока рек Западной Сибири при достаточности данных наблюдений: подходы, методы, расчеты, прогнозы // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 1 (38). С. 331–336.

Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года // Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 № 3183-р (ред. от 23.07.2022). [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/38739/> (дата обращения: 26.02.2023).

СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик // Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. Госстрой России. М: 2004. 73 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Ред. В.М. Катцова. СПб: Научные технологии, 2022а. 676 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб: Научные технологии, 2022б. 124 с.

Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы / Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2022 г. № 133 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202140015> (дата обращения: 22.03.2023).

Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/> (дата обращения: 22.03.2023).

Zinoviev A.T., Galakhov V.P., Kosheleva E.D., Lovtskaya O.V. Influence of global climate changes on hydrological regime of rivers in South West Siberia // Eurasian journal of mathematical and computer applications. 2016. Vol.4. Is. 1. P. 47–54.

References

Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie [Russia's water resources and their use] / Ed. prof. I. A. Shiklomanova. SPb.: Gosudarstvennyj Gidrologicheskij institut. 2008. 600 p. (in Russian).

Zinov'ev A.T., Kosheleva E.D. Proizoshedshee i ozhidaemoe izmenenie ob»ema stoka rek Ob'-Irtyshskogo bassejna pod vliyaniem prirodno-klimaticheskikh faktorov [Incurred and expected changes in river flow volume in the Ob-Irtysh basin as a result of natural and climatic factors] // Voprosy geografii [Geographical issues]. 2018. No. 145. P. 77–88. (in Russian).

Informacionnaya sistema po vodnym resursam i vodnomu hozyajstvu rek Rossii [Information system on water resources and water management of Russian rivers]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/> (accessed: 26.02.2023).

Kosheleva E.D., Zinov'ev A.T. Analiz izmeneniya vodnosti rek Ob'-Irtyshskogo bassejna v usloviyah izmeneniya klimata [Analysis of water availability changes in the rivers of the Ob-Irtysh basin under climate change conditions] // Bulletin AB RGS. 2017. № 3. P. 80–86. (in Russian).

Kosheleva E.D. Izmenenie stoka reki Obi v stvore g. Barnaula pod vliyaniem izmenenij klimata [Changes in the flow of the Ob River at Barnaul under the influence of climate change] // Fundamental'nye problemy vody i vodnyh resursov: materialy 3-j Vserossijskoj konf. s mezhdunar. uchastiem (Barnaul, 24–28 avgusta 2010 g.) [Fundamental Problems of Water and Water Resources: Proceedings of the 3rd All-Russian Conference with International Participation (Barnaul, 24–28 august 2010 g.)]. Barnaul: ART, 2010. P. 154–157 (in Russian).

Kosheleva E.D. Ocenka dinamiki norm stoka rek Zapadnoj Sibiri pri dostatochnosti dannyh nablyudenij: podhody, metody, raschety, prognozy [Assessment of river flow rate dynamics in

Western Siberia with sufficient observation data: approaches, methods, calculations, forecasts] // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [The world of science, culture and education]. 2013. № 1 (38). P. 331–336 (in Russian).

Nacional'nyj plan meropriyatij pervogo etapa adaptacii k izmeneniyam klimata na period do 2022 goda [National Action Plan for the first phase of adaptation to climate change for the period up to 2022] / *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF* ot 25.12.2019 № 3183-r (red. ot 23.07.2022). [Decree of the Government of the Russian Federation of 25.12.2019 No. 3183-r (ed. 23.07.2022)]. URL: <http://government.ru/docs/38739/> (accessed: 26.02.2023).

SP 33-101-2003. *Opreделение osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh karakteristik* [SP 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics] / Gosudarstvennyj komitet Rossijskoj Federacii po stroitel'stvu i zhilishchno-kommunal'nomu kompleksu State [Committee of the Russian Federation for Construction and Housing and Communal Complex]. Gosstroj Rossii. M: 2004. 73 p. (in Russian).

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [Third assessment report on climate change and its impacts in the Russian Federation] / Ed. V.M. Katcova; Rosgidromet. St Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022a. 676 p. (in Russian).

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezyume [Third Assessment Report on Climate Change and its Impacts on the Territory of the Russian Federation. General summary]. St Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022b. 124 p. (in Russian).

Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii i klimaticeskikh izmenenij na 2021–2030 gody [Federal Scientific and Technical Programme on Ecological Development of the Russian Federation and Climate Change for 2021-2030] / Utv. postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 8 fevralya 2022 g. № 133 [Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of 8 February 2022. No. 133]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202140015> (accessed: 22.03.2023).

Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/> (accessed: 22.03.2023).

Zinoviev A.T., Galakhov V.P., Kosheleva E.D., Lovtskaya O.V. Influence of global climate changes on hydrological regime of rivers in South West Siberia // *Eurasian journal of mathematical and computer applications*. 2016. Vol. 4. Is. 1. P. 47–54.

WATER CONDITION OF THE RIVERS OF THE ALTAI TERRITORY UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

E.D. Kosheleva^{1,2}

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul*

²*Altai State Agrarian University, Barnaul,*

E-mail: ¹edk@iwep.ru, ²jten@yandex.ru

According to a 2022 IPCC study, humanity is unable to prevent extreme climate change. There was a need to update the estimates of changes in the runoff of rivers in the Altai Territory, made on the basis of data up to 2010, for modern climatic conditions. The aim of the study is to assess current trends in the runoff dynamics of rivers in the Altai Territory based on current data and forecast their runoff by 2030, 2040, 2050. Scenario forecasts are made on the basis of the hypothesis that climate change by 2030–2050 will have the same intensity as observed in the last 40 years. To assess the change in the water content of rivers, the identified linear trends in a series of long-term observations of water discharge were used. Approximate equality of the mean values of a series of observations and a series of linear approximation made it possible to make forecasts of runoff norms by extending the linear approximation by 10, 20, 30 elements of the series forward and calculating the average value of these series. For 21 rivers of the Upper Ob basin and the Ob-Irtysh interfluvium within the Altai Territory at 33 hydrological stations, trends were identified in the series of average annual discharges, the rates of change in runoff rates Q_0 (m^3/s for 10 years) and runoff volumes W_0 (km^3/year) were calculated over 10 years) and scenario forecasts of these indicators for 2030, 2040, 2050 were made. Most of the rivers of the Altai Territory in modern climatic conditions slightly increase their water content. The relative errors of scenario 10-year forecasts for 2020, made earlier in 2013–2018, for the main rivers of the Altai Territory with a runoff volume from 15 to 55 km^3/year were less than 1%, for a runoff volume of 10 km^3/year – about 1%.

Key words: water content of rivers; climate change; forecasts; Altai Territory.

Received March 21, 2023. Accepted: April 25, 2023

Сведения об авторе

Кошелева Евгения Дмитриевна – кандидат с.-х. наук, доцент, старший научный Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. Доцент Алтайского государственного аграрного университета. Россия, 656049, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, д. 98. ORCID: 0000-0001-8813-0675. E-mail: edk@iwep.ru; jten@yandex.ru.

Information about the author

Kosheleva Evgeniia Dmitrievna – PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. Associate Professor of the Altai State Agricultural University. 98, Krasnoarmeyskiy Av., 656049 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8813-0675. E-mail: edk@iwep.ru, jten@yandex.ru.