

Раздел 2

ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 2

HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 556.552

ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКЕ ЧАРЫШ ВЕСНОЙ 2021 ГОДА

В. П. Галахов¹, С. Ю. Самойлова¹, Е. В. Мардасова², Д. А. Касуров¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

²Алтайский государственный университет, Барнаул,

E-mail: bastet@iwep.ru

В статье представлен среднесрочный прогноз максимальных уровней половодья на р. Чарыш в створах свх. Чарышский и село Чарышское в 2021 году; проанализирована оправдываемость прогноза. Стохастическая модель формирования максимальных уровней разработана на основе авторской методики оценки сумм зимних осадков в условиях сложной орографии. Получены статистически значимые зависимости (R^2 более 0.8) максимальных уровней воды от снеготаяния в створах свх. Чарышский и село Чарышское от сумм зимних осадков. Рассмотрено влияние промерзания грунтов в бассейне и жидких осадков на спаде половодья на высоту подъема уровней воды. Прогноз был предоставлен в начале апреля 2021 г. в Межведомственную рабочую группу по вопросам прогнозирования весенних и дождевых паводков различной заблаговременности.

Ключевые слова: Алтайский край; река Чарыш; прогноз; максимальные уровни воды; свх Чарышский; село Чарышское.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16402

Дата поступления: 1.03.2022

Для рек бассейна Верхней Оби основной источник питания в период половодья – талые воды, поэтому традиционно среднесрочные прогнозы стока половодья строятся на разного рода эмпирических зависимостях максимальных уровней и объема стока от снегозапасов [Аполлов, 1974; Попов, 1979].

Вопросу прогнозирования максимальных уровней воды на р. Чарыш посвящён ряд работ авторов [Галахов и др., 2016, 2018, 2019, 2020]. В основе прогнозов – корреляционная зависимость максимальных уровней воды, сформированных таянием снега от суммы зимних осадков в бассейне. Расчет сумм зимних

осадков производился в соответствии с авторской методикой, подробно описанной в работе [Галахов, 2003].

В предыдущих работах [Галахов и др., 2018, 2021] нами было установлено, что в бассейне р. Чарыш на формирование максимальных уровней половодья, помимо снегозапасов, значительное влияние оказывают условия формирования снежного покрова и состояние почвогрунтов в бассейне. Если до начала значительных (ниже -10°C) морозов формируется снежный покров высотой более 20–25 см, он препятствует промерзанию почвогрунтов, поэтому в весенний период происходит интенсивное впитывание талой воды. В этом случае в

период половодья формируются максимальные уровни в среднем на 1 метр ниже, чем в годы с промерзшими почвогрунтами. Подобная ситуация наблюдалась весной в 2017 и 2020 годах [Галахов и др., 2018, 2020].

В начале апреля 2021 г. был разработан прогноз подъема максимальных уровней воды реки Чарыш в двух створах: р. Чарыш-свх Чарышский и р. Чарыш-село Чарышское.

На начальном этапе прогнозирования максимальных уровней половодья нами были проанализированы условия формирования снежного покрова на репрезентативной метеостанции (с. Чарышское) осенью 2020 года (рис. 1).

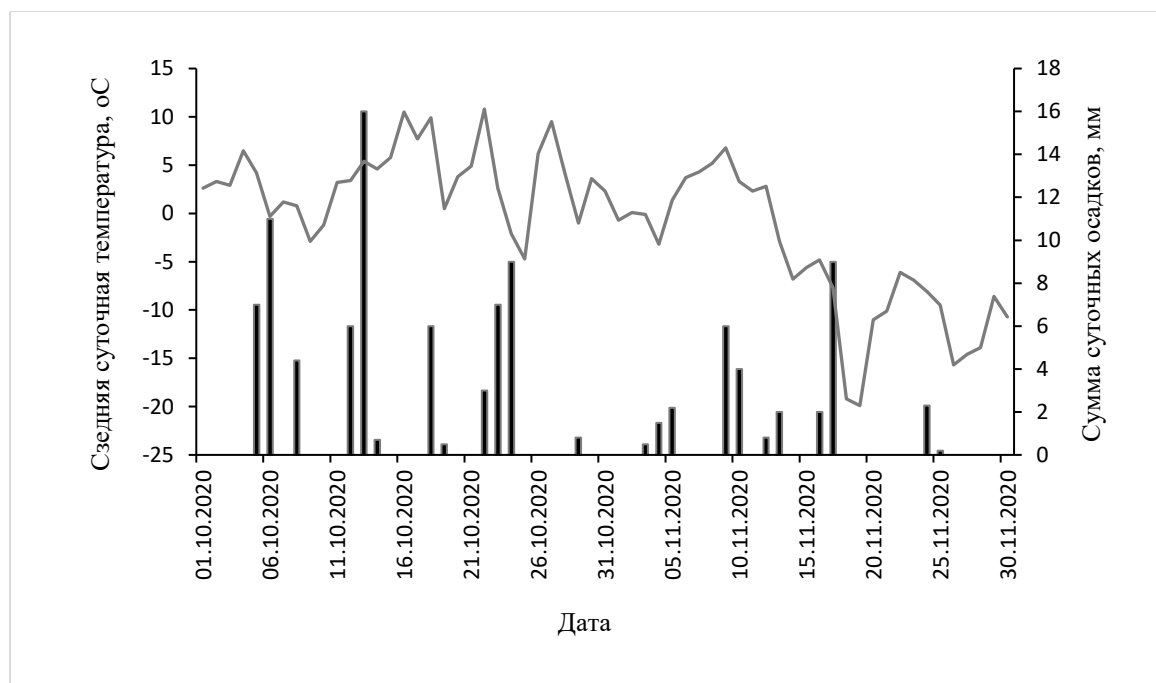


Рис. 1. Суммы суточных осадков и средних суточных температур по ГМС Чарышское осенью 2020 г.

Fig. 1. Total daily precipitation and average daily temperatures for gauge Charyshskoye (autumn of 2020)

Как следует из рисунка 1, в период с 14.11 по 19.11 температура воздуха после оттепели была существенно ниже нуля. За этот период на ГМС село Чарышское было зафиксировано 13.0 мм осадков, что соответствует примерно 9 см свежеснежавшего снега (при плотности 0.15 г/см³). Этой величины недостаточно для теплоизоляции почвогрунтов. Таким образом, метеорологические условия осенью 2020 г. способствовали промерзанию почвогрунтов в бассейне р. Чарыш.

Сравним количество зимних осадков за ядро зимы (ноябрь-март) 2020–2021 гг. на метеостанциях в бассейне Верхней Оби с предыдущими годами (табл. 1).

Для оценки средних сумм осадков за зиму 2020–2021 гг. в бассейне р. Чарыш выполнен корреляционный анализ суммы осадков по данным метеостан-

ций с орографической добавкой к скорости вертикальных движений [Галахов и др., 2016] (рис. 2).

В соответствии с разработанным алгоритмом, средняя сумма твердых осадков (ноябрь-март) по бассейну р. Чарыш до створа свх Чарышский составила 117.1 мм (для сравнения, зимой 2019–2020 гг. – 133 мм). В этом случае, прогнозный максимальный уровень от таяния снега в створе р. Чарыш-свх Чарышский должен быть равен 501±30 см. (рис. 3). Уровень выхода реки на пойму наблюдается при уровне 465 см, отметки затопления свх Чарышский по данным Росгидромета 530 см.

Мониторинг уровней на гидрологическом посту в свх Чарышский показал, что максимальный уровень наблюдался 14 апреля: 529 см (рис. 4). Таким образом, прогноз оправдался.

Таблица 1

Сумма зимних (ноябрь-март) осадков (мм) в бассейне Верхней Оби.

Table 1

Total winter (November-March) precipitation (mm) in the Upper Ob basin.

ГМС	Гидрологический год					Среднее многолетнее
	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	
Краснощекково	125	122	89	158	215	179
Чарышское	126	145	84	144	198	95
Кызыл-Озек	179	165	103	222	227	188
Чемал	97	82	51	105	63	88
Шебалино	123	107	63	126	69	94
Усть-Кан	112	85	28	48	32	47
Онгудай	114	74	50	72	37	53
Усть-Кокса	110	143	87	76	74	101
Катанда	109	83	68	92	81	98
Кош-Агач	18.1	-	11.2	21.6	17	26
Кара-Тюрек	147	100	92	156	74	177
Змеиногорск	379	266	250	467	429	238
Аккем	66	66	100	111	55	128

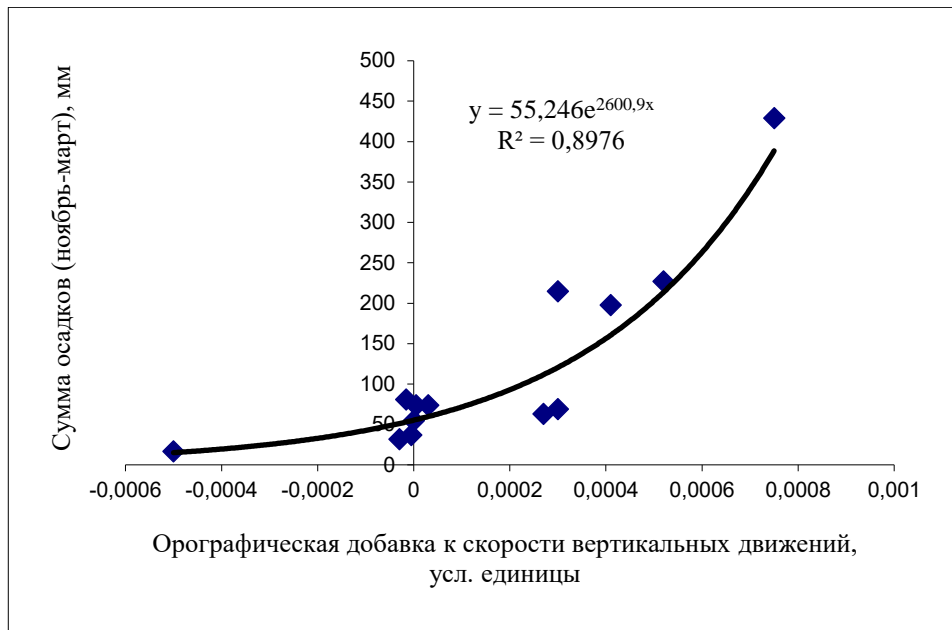


Рис. 2. График связи орографической добавки и суммы осадков за ядро зимы (зима 2020–2021 гг)
 Fig. 2. Dependence of orographic correction to the velocity of vertical movement and winter precipitation (winter of 2020–2021)

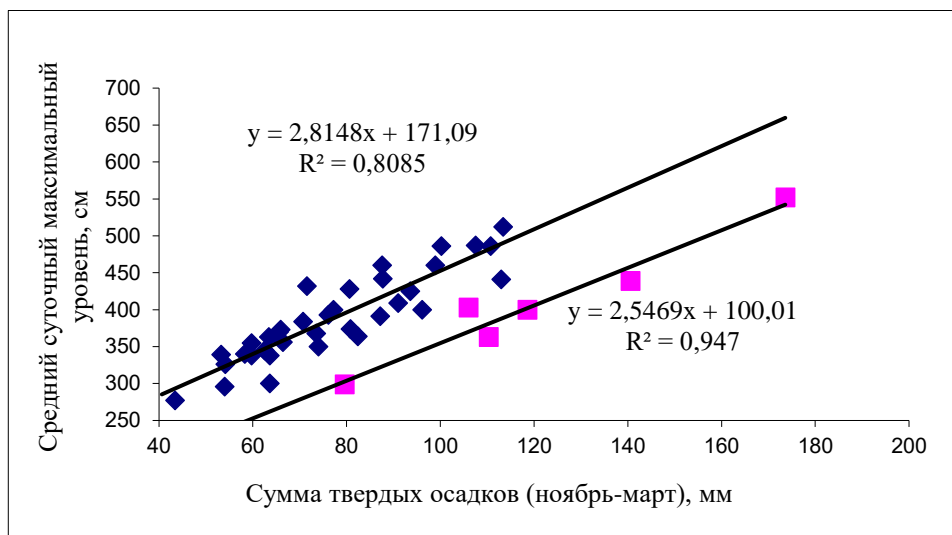


Рис. 3. График связи максимальных уровней воды в створе р. Чарыш-свх. Чарышский и осадков за ядро зимы – (XI–III). Верхняя прямая характеризует годы с промерзанием, нижняя – без промерзания [Галахов и др., 2020]
 Fig. 3 Dependence of maximum water stages at the section R. Charysh- Charyshsky farm and winter precipitation (XI–III). The upper straight line indicates the years with freezing, the lower one – free from freezing. [Galakhov et al., 2020]

Для оценки максимальных уровней в створе село Чарышское ранее нами был построен график связи максимальных уровней р. Чарыш у свх Чарышский и село Чарышское [Галахов и др.,

2016] (рис. 5). При достижении уровня воды 180 см на посту в селе Чарышском происходит выход воды на пойму (связь нарушается). В этом случае расчет должен производиться по верхней кривой.

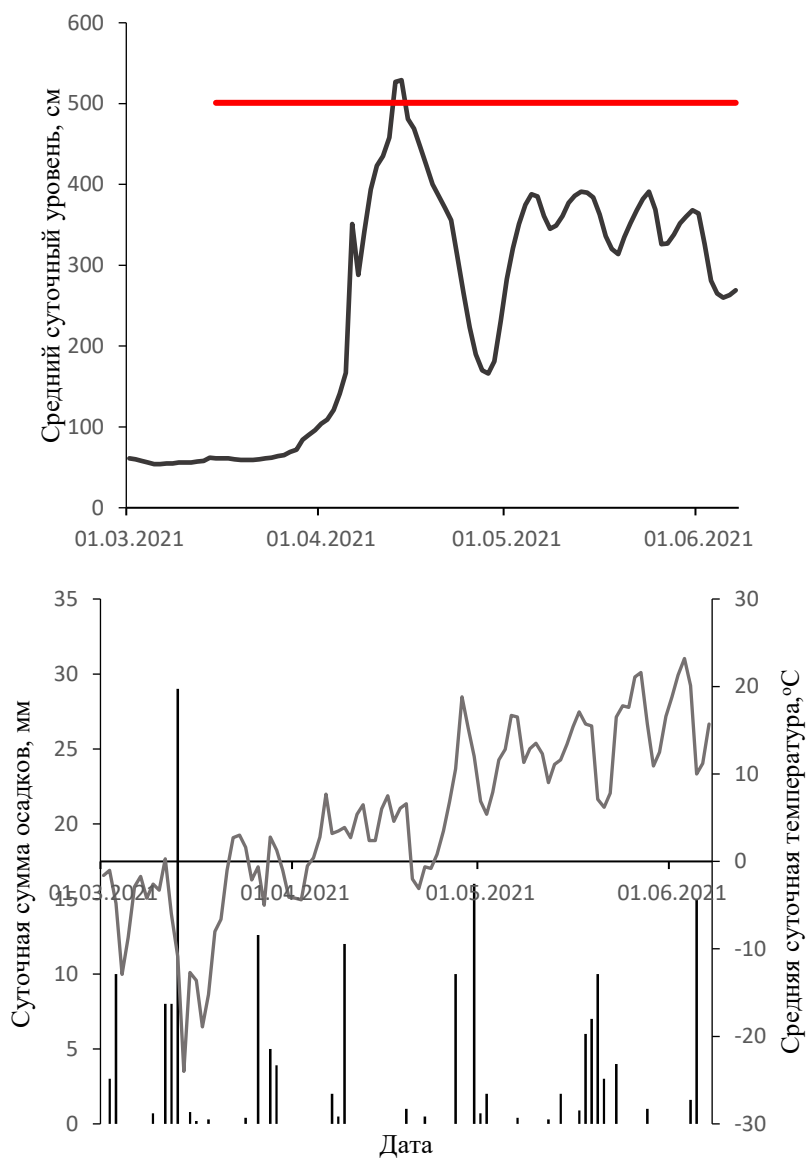


Рис. 4. Комплексный график колебаний уровней на гидрологическом посту свх. Чарышский, температур и осадков по ГМС Чарышское. Прямой линией показан прогнозный уровень – 501 см. Максимальный уровень наблюдался 14 апреля: 529 см.

Fig. 4. Complex graph of level fluctuations at gauge Charyshsky farm; temperatures and precipitation at gauge Charyshskoye village. A straight line shows the predicted level: 501 cm.

The maximum level (529 cm) was recorded on April 14

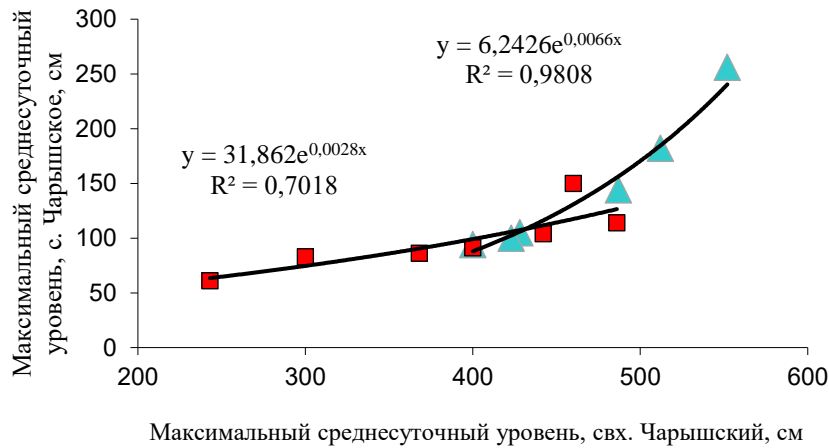


Рис. 5. График связи максимальных уровней воды в створах свх. Чарышский и село Чарышское
 Fig. 5. Dependence of maximum water stages at gauges Charyshsky farm and Charyshskoye village

В соответствии с рис. 5. при прогнозном уровне воды в свх Чарышском 501±30 см., максимальный уровень от таяния снега в 2021 г. у села Чарышское должен составить 171±30 см. (рис. 5). Максимальный уровень на гидрологическом посту в селе Чарышском наблюдался 19 мая и составил 128 см, что существенно ниже прогнозного 171±30 см

(рис. 6). Очевидно, для данного створа требуется построение собственной прогнозной модели, аналогично разработанной для створа свх Чарышский.

Для этого нами был выполнен расчет суммы зимних осадков в части бассейна, ограниченной створом село Чарышское и определены максимальные уровни воды от таяния снега (табл. 2).

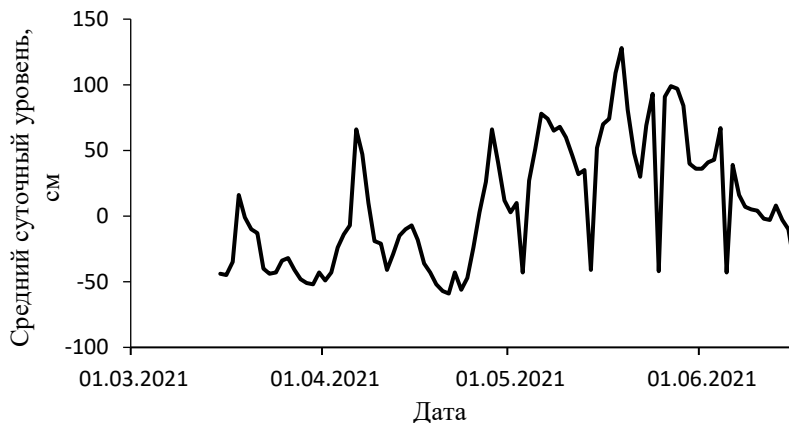


Рис. 6. График колебаний уровней на гидрологическом посту село Чарышское. Прогнозный уровень – 171±30 см.

Fig. 6. Fluctuations of water levels at gauge Charyshskoye village. The predicted level is 171±30 cm.

Таблица 2

Суммы зимних осадков и максимальные уровни от таяния снега, гидрологический пост
в селе Чарышское

Table 2

Total winter precipitation and snowmelt-induced maximum levels at gauge
Charyshskoye village

Год	Сумма осадков, мм		Н макс., см	Дата	Примечание
	свх.	село			
1968	113.4	100.8	190	16.05	
1969	173.6	150.2	256	28.05	
1970	79.7	66.8	109	17.05	Н макс.=183(25.05). дождь
1971	97.4	83.7	130	19.05	Н макс.=185(28.05). дождь
1972	96.1	86.5	126	15.05	Н макс.=138(3.06). дождь
1973	107.5	92.7	144	11.05	Н макс.=169(3.06). дождь
1974	87.7	59.0	94	25.05	
1975	54.0	49.5	104	19.05	Н макс.=184(31.05). дождь
1976	87.6	76.7	150	25.05	
1977	110.4	90.8	136	7.05	
1978	73.5	62.4	100	4.05	
1979	77.2	65.4	90	11.05	Н макс.=156(20.05). дождь
1980	63.6	54.1	115	13.05	
1981	81.8	71.8			
1982	83.8	78.9	123	7.05	
1983	66.4	--	127	10-13 июня	Н макс.=214(19.05). дождь
1984	54.1	--	123	5.05	Н макс.=132(29.05). дождь
1985	53.2	35.1	79/90	29.04/9-10.05	Н макс. 210 (22 мая). дождь
1986	53.6	--	65	19-22.04	Н макс. 156 (8 мая). дождь
1987	65.6	--	Сложно выделить снеговой максимум		Н макс.=199(17.05). дождь
1988	63.4	47.8	104	2.05	Н макс. 149 (1 июня). дождь
2008	59.7	47.0	69	15.05	
2009	82.4	63.4	104	21.05	Н макс. 161(20 мая). дождь
2010	110.7	87.3	125	31.05	
2011	71.5	49.1	97	16.05	
2012	43.4	29.1	67	2.05	
2013	118.6	101.4	88	30.05	
2014	40.6	32.7	53	24.05	Н макс. 224 (29 мая). дождь
2015	71.4	52.8	104	28.04	
2016	90.5	80.5	151	2.06	
2017	140.6	109.2	120	16.05	
2021	117.1	86.7	128	19.05	

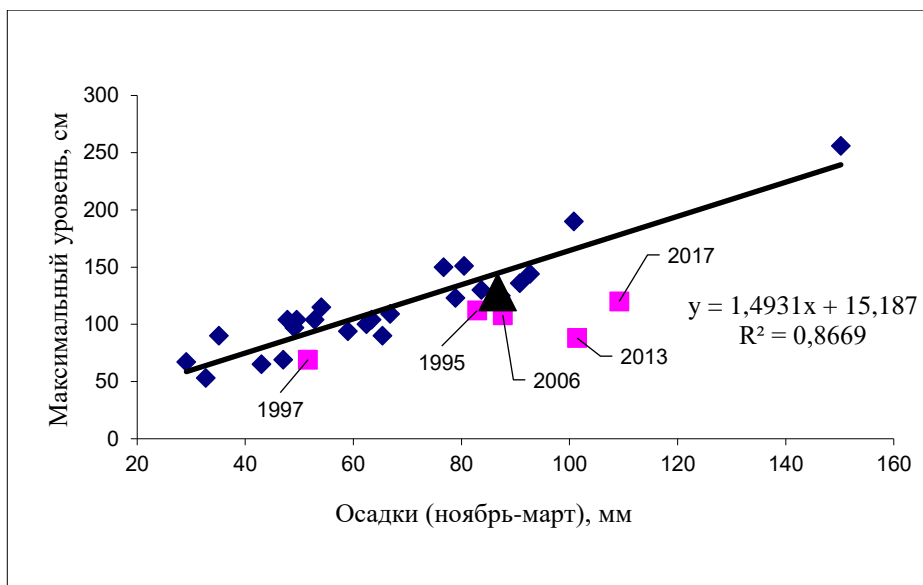


Рис. 7. Зависимость максимальных уровней от таяния снега в створе село Чарышское от суммы зимних осадков (ромбики). Треугольником показан уровень весной 2021 г. Квадратиками указаны годы без промерзания для створа свх Чарышский

Fig. 7. Dependence of maximum levels due to snowmelt at gauge Charyshskoye village on total winter precipitation (small rhombs). The triangle shows water level in spring of 2021.

Small squares indicate the years without freezing at gauge Charyshsky farm

На основании полученных данных (табл. 2) проведен корреляционный анализ связи зимних осадков и максимальных уровней воды от таяния снега

(рис. 7). Годы без промерзания, выделенные нами ранее [Галахов и др., 2018], были рассмотрены дополнительно (табл. 3).

Таблица 3

Величины осенних снегопадов, формирующих условия промерзания грунтов в створе свх Чарышский

Table 3

Amounts of autumn snowfalls responsible for free-from-freezing conditions at gauge Charyshsky farm

Зима	Осенние снегопады		Толщина снежного покрова при $\rho = 0,15 \text{ г/см}^3$, см
	Дата	Сумма осадков, мм	
1968–1969	31.10–7.11	36.2	24
1994–1995	15.11–17.11	36.0	24
1996–1997	19.10–10.11	36.0	24
2005–2006	31.10–18.11	34.3	23
2012–2013	24.10–8.11	53.0	35
2016–2017	12.10–20.10	64.0	43

Из рисунка 7 видно, что 2013 и 2017 годы значительно отклоняются от основной массы точек. Эти годы сильно выделяются по высоте снежного покрова до наступления значительных морозов (менее $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) - 35 и 45 см соответственно (табл. 3). В 1968, 1994, 1996 и 2005 гг. толщина осеннего снега не превышала 24 см.

Таким образом, при оценке влияния промерзания на максимальные уровни в створе село Чарышское следует учитывать толщину осеннего снежного покрова более 30 см. Для створа совхоз Чарышский эта критическая величина составляла 20 см [Галахов и др., 2018].

Проверку полученной зависимости (рис. 7) проведем на примере 2020 г. Осенью 2019 г. в период со 2 ноября по 20 ноября выпало 51 мм твердых осадков, что соответствует 34 см снега (при плотности 0.15 г/см^3). Таким образом, в соответствии с предыдущим выводом, макси-

мальный уровень в 2020 г. должен быть существенно ниже расчетного. Сумма зимних осадков за зиму (ноябрь-март) 2019–2020 гг. составила 104.6 мм, при этом прогнозный максимальный уровень должен быть равен 171 см (согласно рис. 7). Наблюденный максимальный уровень составил 124 см. Таким образом, вывод о влиянии условий формирования снежного покрова на максимальные уровни воды от снеготаяния в створе село Чарышское подтвердился.

Помимо талых вод, максимальные уровни воды в период половодья могут формировать жидкие осадки (табл. 2). Для экспертной оценки подъема уровня воды в результате выпадения жидких осадков мы проанализировали связь сумм жидких осадков (за период формирования паводка) с величиной дополнительного подъема уровня воды (табл. 4, рис. 8).

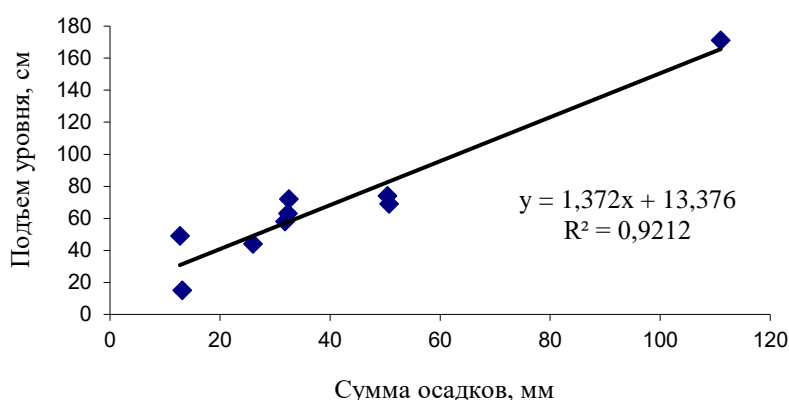


Рис. 8. Изменение уровня в створе село Чарышское в результате выпадения жидких осадков в период половодья

Fig. 8 Change in water levels at gauge Charyshskoye village caused by liquid precipitation during high water

Таблица 4

Сумма осадков (за период формирования паводка) и величина дополнительного подъема уровня воды (село Чарышское)

Table 4

Liquid precipitation amount (during flood formation period) and additional level rise (Charyshskoye village)

Год	Паводок				Сумма осадков, мм	Изменение уровня, см
	Начало		Конец			
	дата	Н, см	дата	Н, см		
1975	17.05	32	10.05	104	32.5	72
1975	21.05	69	24.05	127	31.8	58
1985	24.05	169	25.05	184	13.1	15
1985	30.05	96	1.06	145	12.7	49
1985	14.05	81	16.05	144	32.3	63
1986	24.5	59	28.05	133	50.4	74
1986	2.06	75	3.06	119	26.0	44
1986	17.06	63	19.06	132	50.7	69
2014	25.05	53	29.05	224	111.0	171

Для исключения влияния снеготаяния, паводки выбирались на спаде половодья - с середины мая по середину июня.

Полученная экспертная зависимость и возможность ее использования для краткосрочного прогноза подъема уровня воды в селе Чарышском в результате выпадения жидких осадков требует дополнительного исследования.

Выводы

1. Прогноз максимального уровня от таяния снега в створе свх Чарышский весной 2021 г. оправдался.

2. Использование графика связи уровней у свх Чарышского и села Чарышского для прогноза максимальных уровней в селе Чарышском нецелесообразно. В 2021 г. максимальные уровни от

таяния снега на предгорной равнине (свх Чарышский) наблюдались 14 апреля, в то время как в горной части бассейна (у села Чарышского) значительно позже – 19 мая. Для прогнозирования максимальных уровней воды в селе Чарышском необходимо использовать алгоритм, представленный ранее для свх Чарышский.

3. Корреляционный анализ связи суммы зимних осадков и максимальных уровней от таяния снега в створе село Чарышское показал вполне удовлетворительный результат ($R^2=0.87$). Как и для нижней части бассейна (свх Чарышский), на формирование максимальных уровней в селе Чарышском значительное влияние оказывают условия формирования снежного покрова осенью и связанное с ними промерзание почвогрунтов в бассейне.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

Авторы выражают благодарность О.В. Ловцкой за помощь в поиске исходных данных.

Список литературы

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.
2. Галахов В.П. Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах. Новосибирск: Наука, 2003. 104 с.
3. Галахов В.П., Попов Е.С., Мардасова Е.В., Плехова А.В. Прогноз максимальных уровней реки Чарыш в период снеготаяния. // Известия АО РГО. № 3 (42). 2016. С. 38–44.
4. Галахов В.П., Мардасова Е.В., Люцигер Н.В., Самойлова С.Ю. Влияние осеннего промерзания на максимальные уровни бассейна реки Чарыш. // Известия АО РГО. № 2 (49). 2018. С. 54–57.
5. Галахов В.П., Ловцкая О.В., Мардасова Е.В. Оправдываемость прогноза максимальных уровней 2019 г. в Алтайском крае // Известия АО РГО. 2019. № 2 (53). С. 56–61.
6. Галахов В.П., Ловцкая О.В., Мардасова Е.В. Оправдываемость прогноза максимальных уровней весной 2020 г. // Известия АО РГО. № 2 (57). 2020. С. 59–63.
7. Галахов В.П., Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В. Влияние условий формирования снежного покрова на объем талого стока горных рек Алтая // Криосфера Земли. 2021. Т. XXV, № 6. С. 51–62.
8. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 254 с.

References

1. Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov [Course of hydrological forecasts]. Leningrad: Hydrometeorological edition, 1974. 420 p. (In Russian).
2. Galakhov V.P. Usloviya formirovaniya i raschet maksimal'nyh snegozapasov v gorah. [Conditions for Maximum Mountain Snow Reserves Accumulation and Their Calculations]. Novosibirsk: Nauka, 2003. 104 p. (in Russian).
3. Galakhov V.P., Popov E.S., Mardasova E.V., Plekhova A.V. Forecast of maximum water levels in river Charysh during snowmelting // Bulletin AB RGS. 2016. no3 (42). P. 38–44 (in Russian).

4. Galakhov V.P., Mardasova E.V., Lyutsiger N.V., Samoiloa S.Yu. Influence of fall freezing on maximum levels of Charysh river basin // Bulletin AB RGS. 2018. No 2 (48). P. 54–57 (in Russian).

5. Galahov V.P., Lovtskaya O.V., Mardasova E.V. Correctness of forecasting maximum levels in spring of 2019 in Altai krai // Bulletin AB RGS. 2020. № 2(53). P. 56–61 (in Russian).

6. Galahov V.P., Samojlova S.Yu., Mardasova E.V. Vliyanie uslovij formirovaniya snezhnogo pokrova na stok polovod'ya gornoj reki (na primere bassejna reki Anuj) [The influence of conditions of snow cover formation on the flow of the mountain river flood (on the example of the Anui river basin)] // Izvestiya AO RGO [Bulletin AB RGS]. 2020. № 1(55). P. 24–33 (in Russian).

7. Galahov V.P., Samojlova S.YU., Mardasova E.V. Vliyanie uslovij formirovaniya snezhnogo pokrova na ob'em talogo stoka gornyh rek Altaya [Assesment of the amount of winter precipitation in mountain basins and their influence on flood formation (Charysh and Anui river basins, Altai as a case study)] // Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]. 2021. Vol. XXV, № 6. P. 51–62 (in Russian).

8. Popov E. G. Gidrologicheskie prognozy [Hydrological forecasts]. Leningrad: Hydro-meteorological edition, 1979, 257 p. (in Russian).

FORECASTING MAXIMUM WATER STAGES OF R. CHARYSH IN SPRING OF 2021

V. P. Galakhov¹, S. Yu. Samoylova¹, E. V. Mardasova², D. A. Kasurov¹

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

²*Altai State University, Barnaul,*

E-mail: bastet@iwep.ru

The article presents a long-term forecast of maximum flood levels of Charysh River at gauges Charyshsky farm and Charyshskoye village in 2021 as well as the analysis of forecast correctness. The stochastic model of maximum stages formation has been developed on the basis of the author's method for estimating winter precipitation amounts under complex orography conditions. A statistically significant dependence (R^2 exceeds 0.8) of snowmelt-induced maximum water levels at gauges Charyshsky farm and Charyshskoye village on total winter precipitation was obtained. The influence of soil freezing in the basin and liquid precipitation on the height of water rise during flood recession is considered. In early April 2021, the forecast was submitted to the Interdepartmental Working Group on Forecasting Spring and Rain Floods of different lead time.

Keywords: Altai Krai; Charysh River; forecast; maximum water levels; Charyshsky farm; Charyshskoye village.

Received March 1, 2022

Сведения об авторах

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

Самойлова Светлана Юрьевна – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: bastet@iwep.ru

Мардасова Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры экономической географии и картографии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». Россия, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61. E-mail: mardasova_ev@mail.ru

Касуров Дмитрий Алексеевич – аспирант Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: dkasurov@mail.ru

Information about the authors

Galakhov Vladimir Prokopievich – PhD in Geography, Senior Researcher at the Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: galahov@iwep.ru.

Samoilova Svetlana Yurievna – PhD in Geography, Researcher at the Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: bastet@iwep.ru.

Mardasova Elena Vladimirovna, Senior lecturer of the Department of Economic Geography and Cartography of the Altai State University. 61, Lenina St., 656049 Barnaul, Russia. E-mail: mardasova_ev@mail.ru

Kasurov Dmitriy Alekseevich – postgraduate of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: dkasurov@mail.ru.