

УДК 556.552

СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКЕ ОБЬ У Г. БАРНАУЛА В 2024 ГОДУ

С.Ю. Самойлова, Е.В. Мардасова, В.А. Казанцева

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: bastet@iwep.ru, mardasova_ev@mail.ru, vol.vasilisa.kaz@gmail.com

В статье представлен среднесрочный прогноз максимальных уровней половодья на р. Обь в створе г. Барнаул в 2024 г.; проанализирована его оправдываемость. Прогноз выполнен с использованием физико-статистической модели на основе связи максимальных уровней воды с зимними осадками, рассчитанными по методике В.П. Галахова. При расчете максимальных уровней также учитывалась поправка на состояние почвогрунтов в предгорной и равнинной части бассейна. Для оценки степени их промерзания анализировались метеоусловия на начальной стадии формирования снежного покрова по данным репрезентативных метеостанций. Получена статистически значимая зависимость (R^2 более 0.7) максимальных уровней воды от суммы зимних осадков. Прогноз максимального уровня от таяния снега на р. Обь у г. Барнаула в 2024 году оправдался.

Ключевые слова: река Обь; максимальные уровни воды; г. Барнаул; зимние осадки; среднесрочный прогноз.

DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17404

Дата поступления: 10.08.2024. Принята к печати: 3.09.2024

Прогнозирование опасных гидро-логических явлений на территории города Барнаула является актуальной научно-практической задачей. Часть города (пос. Затон и пос. Ильича) подвержена регулярным затоплениям жилых кварталов и объектов инфраструктуры во время половодий и дождевых паводков. Отметка затопления в 560 см над нулем водомерного поста, при которой начинается затопление пос. Затон, соответствует 45% обеспеченности максимальных уровней. И если в 80–90-е гг. прошлого столетия превышение опасной отметки наблюдалось всего дважды, то с начала XXI века наводнения наблюдаются практически через год [Кузнецова, Самойлова, 2024].

Половодье на р. Оби в верхнем течении продолжительное, с начала апреля по конец июля, оно характеризуется наличием двух-трех волн. Максимум первой волны наблюдается на р. Оби в середине апреля – начале мая и связан с таянием снега на равнинной части водосбора и в предгорьях Алтая. Вторая волна проходит в середине мая-июне и формируется преимущественно за счет талых вод Катунь, Бии и Чарыша. Максимальные расходы и уровни воды на р. Оби у г. Барнаула наблюдаются во вторую волну половодья (средняя дата 20 мая) [Кузнецова, Самойлова, 2024].

Для реки Оби основной источник питания в период половодья – талые воды, поэтому главным параметром,

определяющим объем и максимальные уровни половодья, являются зимние осадки [Аполлов и др., 1974]. Ранее нами была разработана физико-статистическая модель прогноза максимальных уровней воды для р. Чарыш [Galakhov et al., 2018; Галахов и др., 2018]. В ее основе корреляционная зависимость максимальных уровней воды и суммы зимних (с ноября по март) осадков на водосборе. Аналогичный подход нами был реализован в данной работе для прогноза максимальных уровней р. Оби у г. Барнаула в 2024 году.

Материалы и методы

Среднесрочный прогноз максимальных уровней воды р. Обь в г. Барнауле в 2024 году выполнен на основе зависимости максимальных уровней от сумм зимних осадков. Пространственная интерполяция и расчет средней суммы осадков в бассейне Верхней Оби выполнены при помощи модели В.П. Галахова [Галахов, 2003; Галахов, 2016] с использованием зависимости осадков на метеостанциях от орографической добавки к скорости вертикальных движений. В качестве исходных данных для построения зависимости использовалась суммы осадков из «Метеорологических ежемесячников» за 1967–1988 гг., а также данные из открытых источников [Всероссийский ..., 2024; Расписание Погоды, 2024] по следующим метеостанциям: Змеиногорск, Краснощеково, Чарышское, Кызыл-Озек, Усть-Кан, Чемал, Онгудай, Усть-Кокса, Катанда, Кош-Агач, Кара-Тюрек, Аккем, Яйлю. В работе [Галахов, 2016] указывается, что равнинные метеостанции

из-за интенсивного метелевого переноса в холодный период (когда снег «сухой») несколько завышают сумму осадков. Кроме того, основной приток воды дают реки Бия и Катунь, водосборы которых расположены в горах, поэтому данные равнинных метеостанций для расчетов не использовались. Данные о среднесуточных и максимальных уровнях воды взяты из «гидрологических ежегодников» за 1967–1988 гг. [Ежегодные данные..., 1967–1988], а также из открытых источников [Автоматизированная ..., 2024].

В соответствии с нашими предыдущими исследованиями в бассейне р. Чарыш [Galakhov et al., 2018; Галахов и др., 2018], при расчете максимальных уровней предусмотрена поправка на состояние почвогрунтов в предгорной и равнинной части бассейна. Для оценки степени промерзания грунтов анализировались метеоусловия на начальной стадии установления снежного покрова. Считалось, что если высота снежного покрова достигла 20–25 см и более до установления среднесуточных температур ниже -10°C в течение нескольких дней, то значительного промерзания почвогрунтов не наблюдалось [Галахов и др., 2018]. Примечательно, что для горных бассейнов состояние почвогрунтов практически не оказывает влияния на сток половодья, и коэффициенты талого стока из года в год меняются незначительно [Galakhov et al., 2021]. Для оценки метеоусловий конца осени – начала зимы использовались данные о температуре воздуха, сумме осадков и высоте снежного покрова с суточным разрешением по метеостанциям

Краснощекое и Чарышское из открытых источников [Всероссийский..., 2024; Расписание Погоды, 2024]. Годы со слабым промерзанием почвогрунтов из зависимости исключались и анализировались отдельно, так как при таких условиях в период весеннего снеготаяния наблюдаются значительные потери талых вод на впитывание.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе была выполнена предварительная оценка условий формирования половодья 2024 года, а также сравнительный анализ текущего года и предыдущих 10 лет.

Зимой 2023–2024 года на предгорных и низкогорных метеостанциях сумма осадков, в основном, была ниже нормы или близка к ней, а в высокогорье (бассейн р. Катунь) в основном существенно выше нормы (табл.).

Связь зимних осадков на метеостанциях и орографической добавки к скорости вертикальных движений в 2024 году характеризуется коэффициентом детерминации 0.75 (рис. 1), что позволяет использовать зависимость для расчета средней суммы осадков на водосборе.

Для предгорных и низкогорных метеостанций (Чарышское, Краснощекое, Змеиногорск и Кызыл-Озек) зимние осадки в 2024 году суммировались, начиная с декабря из-за позднего установления снежного покрова.

Средняя сумма осадков зимой 2023–2024 года, рассчитанная в соответствии

с рисунком 1, составила 85 мм.

Как указывалось выше, в годы со слабым промерзанием почвогрунтов наблюдаются более низкие уровни воды. По результатам анализа данных ежегодных метеонаблюдений за ноябрь – декабрь, за последние 10 лет в бассейне Верхней Оби такие условия наблюдались трижды – зимой 2016–2017, 2019–2020 и 2021–2022 годов, причем 2016–2017 и 2019–2020 годы были наиболее многоснежными за последние 10 лет.

Зимой 2023–2024 гг. формирование устойчивого снежного покрова, по данным большинства метеостанций равнинных, предгорных и низкогорных районов (то есть те территории, где состояние грунтов оказывает значительное влияние на формирование талого стока) происходило в первой половине декабря после выпадения жидких осадков и установления сильных морозов ниже -20°C .

Для оценки степени промерзания почвогрунтов были проанализированы метеоусловия на начальной стадии формирования снежного покрова по данным репрезентативных метеостанций Чарышское и Краснощекое (рис. 2).

По данным обеих метеостанций устойчивый переход температуры воздуха через 0°C произошел 7 декабря, а уже 9 декабря температура воздуха опустилась ниже 20°C , при этом высота снежного покрова составляла не более 5 см. Такие погодные условия начала зимы 2023–2024 года способствовали промерзанию почвогрунтов на большую глубину.

Таблица

Сумма зимних осадков (ноябрь – март) на метеостанциях бассейна Верхней Оби
с 2014 по 2024 гг.

Table

Total winter precipitation (November – March) at weather stations in the Upper Ob basin
from 2014 to 2024

ГМС	Сумма зимних (IX–III) осадков, мм										
	2014– 2015	2015– 2016	2016– 2017	2017– 2018	2018– 2019	2019– 2020	2020– 2021	2021– 2022	2022– 2023	2023– 2024	XI–III средне- много- летние**
Краснощеково	135	120	125	122	89	158	215	142	137	113	179
Чарышское	88	144	126	145	84	144	198	120	143	100	181
Кызыл-Озек	156	129	179	165	103	222	227	148	184	115	159
Чемал	47	74	97	82	51	105	63	73	100	46	65
Усть-Кан	28	59	112	85	28	48	32	40	46	59	47
Онгудай	36	111	114	74	50	72	37	44	83	63	42
Усть-Кокса	69	-	110	143	87	76	74	89	123	129	83
Катанда	57	108	109	83	68	92	81	73	92	106	67
Кош-Агач	2	31	18	-	11	22	17	10	21	32	15
Кара-Тюрек	73	101	147	100	92	156	74	68	145	135	109
Змеиногорск	267	-	379	266	250	467	429	322	349	319	263
Аккем	46	74	66	66	100	111	55	63	67	79	128
Яйлю	141	-	107	126	42	169	163	95	180	184	132
сумма по бассейну*	57	84	118	83	46	92	80	62	83	85	

* – рассчитано с использованием модели [Галахов, 2003]

** – среднесноголетние данные по ГМС Змеиногорск, Катанда, Кош-Агач, Онгудай взяты из [СП 131.13330.2020, 2021], остальные – рассчитаны самостоятельно по данным [Всероссийский ..., 2024; Расписание Погоды, 2024].

Схожие условия при аналогичном количестве зимних осадков наблюдались в 2015–16, 2017–18 и 2022–23 годах. В эти годы максимальные уровни воды от снеготаяния были близки к критической отметке и составили 598, 563 и 559 см над нулем водомерного поста, соответственно. Для сравнения, в многоснежные 2016–2017 и 2019–2020 годы, когда значительного промерзания почвогрунтов не наблюдалось, максимальные уровни воды не достигли критической отметки в 560 см

и составили 547 и 516 см соответственно (рис. 3). В 2021–2022 году, при небольших снеготаяниях и отсутствии промерзания, наблюдался наиболее низкий за последние 10 лет уровень – 404 см. Всего за последние 10 лет (с 2015 по 2024 гг.) критическая отметка 560 см была превышена 6 раз.

Среднесноголетний прогноз максимального уровня воды в 2024 году выполнен с использованием зависимости от суммы зимних осадков, без поправки на слабое промерзание почвогрунтов (см. рис. 3).

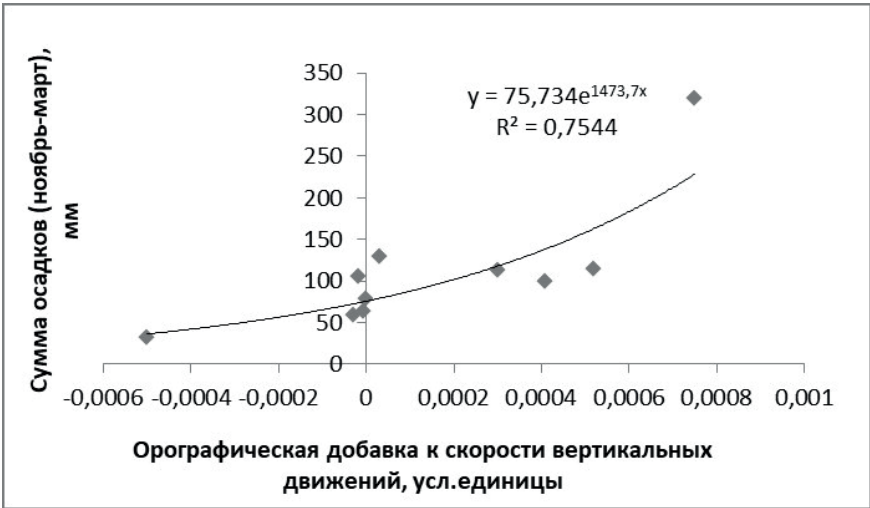


Рис. 1. Связь орографической добавки скорости вертикальных движений и суммы зимних осадков (ноябрь–март) на метеостанциях бассейна Верхней Оби (зима 2023–2024 г.)

Fig. 1. Relationship between the orographic addition of the speed of vertical movements and the amount of winter precipitation (November–March) at weather stations in the Upper Ob basin (winter 2023–2024)

Следует отметить, что данная зависимость не учитывает влияние жидких осадков, выпадающих непосредственно в период снеготаяния и на спаде половодья, и может быть использована для прогнозов максимальных уровней воды от снеготаяния.

В соответствии с рисунком 3 максимальный уровень воды от снеготаяния в 2024 году должен составить 573 ± 40 см.

Прогноз был разработан в начале апреля 2024 года и представлен в административные органы Алтайского края по управлению водными ресурсами и

обеспечению безопасности населения.

Мониторинг уровней воды в р. Обь на гидрологическом посту в г. Барнауле в 2024 году показал следующее (рис. 4).

Половодье началось в третьей декаде марта и проходило в две волны. Максимальный уровень в г. Барнауле наблюдался во вторую волну – 30 мая и составил 573 см, превысив критическую отметку на 13 см. Последующий подъем уровня воды с 13 по 20 июня был связан с выпадением осадков (дождевой паводок на спаде половодья), при этом уровень воды не достиг критической отметки.

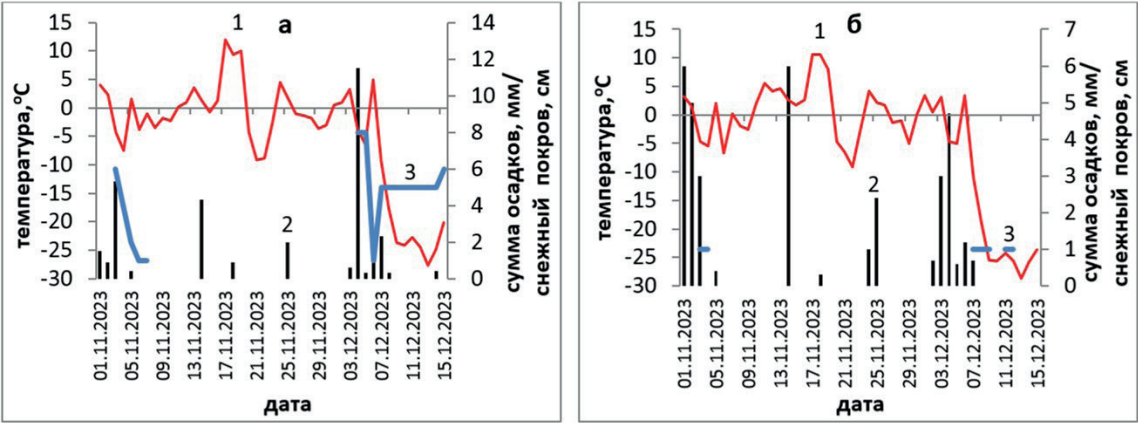


Рис. 2. Метеорологические условия начала зимы 2023 г.: а – Чарышское, б – Краснощеково.
1 – среднесуточная температура, °C; 2 – суточная сумма осадков, мм; 3 – высота снежного покрова, см
Fig. 2. Meteorological conditions of the beginning of winter 2023: a – Charyshskoye, b – Krasnoshchekovo.
1 – average daily temperature, °C; 2 – daily amount of precipitation, mm; 3 – snow depth, cm

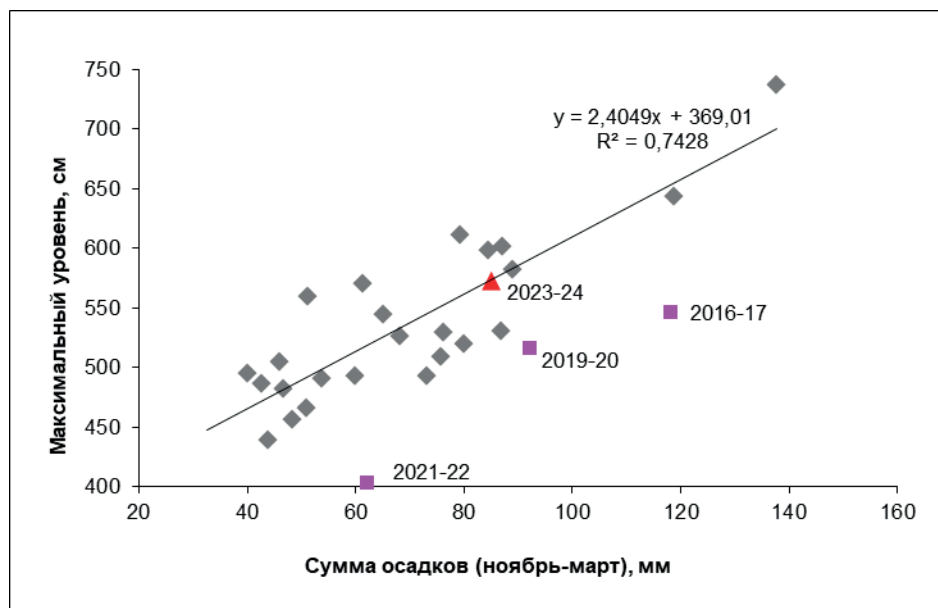


Рис. 3. График связи максимальных уровней воды в створе р. Обь – г. Барнаул и осадков за зиму – (XI–III). Годы без значительного промерзания почвогрунтов показаны квадратами (в зависимость не включались). Треугольником показан прогнозный 2024 г.

Fig. 3. Graph of the relationship between maximum water levels at the river site. Ob – Barnaul and precipitation during the winter – (XI–III). Years without significant soil freezing are shown by squares (not included in the statistics). The triangle shows the forecast year 2024

Выводы

1. Формирование максимальных уровней воды на р. Обь у г. Барнаула в наибольшей степени зависит от зимних осадков, что подтверждается коэффициентом детерминации, характеризующим связь этих параметров $R^2=0.74$.

2. В качестве показателя водопоглощающей емкости бассейна, по аналогии с предыдущими работами, выбрана качественная характеристика степени промерзания почвогрунтов в предгорной и низкорной частях бассейна. При этом определяющее значение имеют метеословия начала зимы – высота снежного покрова до понижения

среднесуточных температур ниже 10°C . Свежевыпавший снег высотой 20–25 см оказывает теплоизоляционные свойства и препятствует промерзанию почвогрунтов. Сравнительный анализ условий формирования половодья за последние 10 лет показал, что в годы со слабым промерзанием почвогрунтов уровни воды не достигали критических отметок, даже несмотря на значительное количество твердых осадков.

3. Прогноз максимального уровня от таяния снега на р. Обь у г. Барнаула в 2024 году оправдался. Абсолютное совпадение прогнозного и наблюдаемого уровня следует считать случайным.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00157, <https://rscf.ru/project/24-27-00157/>

Список литературы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 01.04.2024).

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 01.04.2024).

Галахов В.П. Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах. Новосибирск: Наука, 2003. 104 с.

Галахов В.П. Средняя многолетняя сумма твердых осадков Верхней Оби // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2016. №1 (40). С. 27–33.

Галахов В.П., Мардасова Е.В., Люцигер Н.В., Самойлова С.Ю. Влияние осеннего промерзания на максимальные уровни бассейна реки Чарыш // Известия АО РГО. 2018. №2 (49). С. 54–57.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Реки и каналы. Том 1. Российская Федерация. Выпуск 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. Новосибирск. 1967–1988.

Кузнецова Д.Е., Самойлова С.Ю. Опасные гидрологические явления на территории Барнаула // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та. 2024. Вып. 32. С.156–164.

Расписание Погоды [Электронный ресурс]. URL: <http://rp5.ru/> (дата обращения: 01.04.2024).

СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Москва, 2021. 124 с.

Galakhov V.P., Lovtskaya O.V., Mardasova E.V. Stochastic model for calculation of maximum flood stage in Charysh river using the data of annual winter precipitation // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2018. Vol. 6, no. 3. P. 34–44.

Galakhov V.P., Samoylova S.Yu., Mardasova E.V. Assessment of the amount of winter precipitation in mountain basins and their influence on flood formation (Charush and Anui river basins, Altai as a case study) // Earth's Cryosphere. 2021. Vol. XXV, no. 6. P. 42–51.

References

Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh obektov (AIS GMVO) [Automated information system for state monitoring of water bodies]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (accessed: 01.04.2024). (in Russian).

Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov [Course of hydrological forecasts]. M.: Gidrometeoizdat, 1974. 422 p. (in Russian).

Vserossiiskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informacii –

Mirovoj centr dannyh (VNIIGMI-MCD) [All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center]. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (accessed: 01.04.2024). (in Russian).

Galakhov V.P. Usloviya formirovaniya i raschet maksimalnyh snegozapasov v gorah [Conditions for Maximum Mountain Snow Reserves Accumulation and Their Calculations]. Novosibirsk: Nauka, 2003. 104 p. (in Russian).

Galakhov V.P. Srednyaya mnogoletnyaya summa tverdyh osadkov Verhnej Obi [Average long-term total solid precipitation in the Upper Ob] // Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. 2016. No. 1 (40). P. 27–33. (in Russian).

Galakhov V.P., Mardasova E.V., Lyuciger N.V., Samojlova S.Yu. Vliyanie osennego promerzaniya na maksimalnye urovni bassejna reki Charysh [Influence of fall freezing on maximum levels of Charysh river basin] // Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. 2018. No. 2 (49). P. 54–57. (in Russian).

Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Chast 1. Reki i kanaly. Tom 1. Rossijskaya Federaciya. Vypusk 10. Bassejny Obi (bez bassejna Irtysha), Nadyma, Pura, Taza [Annual data on the regime and resources of land surface waters. Part 1. Rivers and canals. Tom 1. Russian Federation. Issue 10. Pools of the Ob (without the Irtysh basin), Nadym, Pura, Taza]. Novosibirsk. 1967–1988. (in Russian).

Kuznecova D.E., Samojlova S.Yu. Opasnye gidrologicheskie yavleniya na territorii Barnaula [Dangerous hydrological phenomena in Barnaul]. Geografiya i prirodopolzovanie Sibiri [Geography and environmental management of Siberia]. Barnaul: Izd-vo Alt. gos. un-ta. 2024. Vol. 32. P.156–164. (in Russian).

Raspisanie Pogody [Weather Schedule]. URL: <http://rp5.ru/> (accessed: 01.04.2024). (in Russian).

SP 131.13330.2020 «Stroitel'naya klimatologiya» [SP 131.13330.2020 «Building climatology»]. Moskva, 2021. 124 p. (in Russian).

Galakhov V.P. Lovtskaya O.V., Mardasova E.V. Stochastic model for calculation of maximum flood stage in Charysh river using the data of annual winter precipitation // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2018. Vol. 6, no. 3. P. 34–44.

Galakhov V.P., Samoylova S.Yu., Mardasova E.V. Assessment of the amount of winter precipitation in mountain basins and their influence on flood formation (Charush and Anui river basins, Altai as a case study) // Earth's Cryosphere. 2021. Vol. XXV, no. 6. P. 42–51.

MEDIUM-TERM FORECAST OF MAXIMUM WATER LEVELS IN THE RIVER OB NEAR BARNAUL IN 2024

S.Yu. Samoilova, E.V. Mardasova, V.A. Kazantseva

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: bastet@iwep.ru, mardasova_ev@mail.ru, vol.vasilisa.kaz@gmail.com

The article presents a medium-term forecast of maximum flood levels on the river Ob in the area of Barnaul in 2024; its feasibility was analyzed. The forecast was made using a physical-statistical model based on the relationship between maximum water levels and winter precipitation, calculated using the method of V.P. Galakhov. When calculating the maximum levels, a correction for the state of soils in the foothill and flat parts of the basin was also taken into account. To assess the degree of their freezing, meteorological conditions at the initial stage of snow cover formation were analyzed according to data from representative weather stations. A statistically significant dependence (R^2 more than 0.7) of maximum water levels on the amount of winter precipitation was obtained. Forecast of the maximum level from snow melting on the river. The Ob near Barnaul in 2024 was justified.

Key words: Ob River; maximum water levels; Barnaul; winter precipitation; medium-term forecast.

Received: August 10, 2024. Accepted: September 3, 2024

Сведения об авторах

Самойлова Светлана Юрьевна – кандидат географических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Мардасова Елена Владимировна – научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-5755-7983. E-mail: mardasova_ev@mail.ru.

Казанцева Василина Александровна – лаборант Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: vol.vasilisa.kaz@gmail.com.

Information about the authors

Samoilova Svetlana Yurievna – PhD in Geographical Sciences, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Mardasova Elena Vladimirovna – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5755-7983. E-mail: mardasova_ev@mail.ru.

Kazantseva Vasilina Aleksandrovna – Laboratory assistant of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: vol.vasilisa.kaz@gmail.com.