

УДК 551.582, 551.583

ДИНАМИКА ВЫСОТЫ И ВЛАГОЗАПАСА В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ БЕССТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ЗА ПЕРИОД 1971-2020 ГГ.

А.В. Головин

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com

В статье приводится анализ изменения параметров снежного покрова (высоты и влагозапаса) на территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья в границах Алтайского края и Новосибирской области с 1971 по 2020 гг. Установлено изменение климатических норм наибольших декадных значений влагозапасов в снежном покрове на $-6.4...+20.2$ мм; высоты снежного покрова на $-0.9...+9.7$ см в разных частях междуречья к периоду 1991–2020 гг. Скорости изменения влагозапасов за 10-летние периоды составляют $-2.3...+11.6$ мм; высот снежного покрова $-0.6...+5.2$ см. Большинство построенных трендов достоверны по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 5\%$. Тренды с наибольшим R^2 по влагозапасу: Татарск (март, $+11.4$ мм / 10 лет, $R^2 = 0.36$) Барабинск (февраль, $+11.9$ мм / 10 лет, $R^2 = 0.32$); по высоте снежного покрова: Чулым (январь, $+4.8$ см / 10 лет, $R^2 = 0.5$), Татарск (март, $+4.7$ см / 10 лет, $R^2 = 0.47$).

Ключевые слова: климатические изменения; влагозапас; высота снега; многолетняя динамика.

DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17403

Дата поступления: 13.08.2024. Принята к печати: 3.09.2024

В последние годы уделяется большое внимание климатическим изменениям, проблемам потепления и опустынивания. Исследования в области климатических изменений ведутся на глобальном [IPPC, 2022], национальном [Третий..., 2022], региональном уровнях. В частности, в пределах бессточной области Обь-Иртышского междуречья, юга Западной Сибири, Алтайского края климатические изменения изучались В.В. Паромовым с соавторами [1999], И.И. Ипполитовым [2003], Н.Ф. Харламовой [2013]. В работах этих авторов анализируются изменения температуры воздуха и количества осадков, получены результаты по повторяемости опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений. Исследования высоты и влагозапасов снежного покрова, зимних осадков, а также их влияния на формирование стока в бассейнах рек Алтайского края изучалось В.П. Галаховым, С.Ю. Самойловой [2017, 2020, 2022, 2023], Д.В. Черных, Н.И. Быковым [2019, 2022]. Вместе с тем региональный отклик геосистем на процессы климатических изменений остается не до конца изученным. Достаточно уязвимы к изменению климатических параметров бессточные водоемы внутриконтинентальных областей из-за чувствительности к равновесию меж-

ду притоками воды и испарением [Бэйтс и др., 2008]. Изменение метеорологических параметров на территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья может иметь существенные последствия: обмеление или полное исчезновение водных объектов (рек, озер, прудов), усиление в них процессов эвтрофикации и заиливания, что, в свою очередь, лимитирует социально-экономическое развитие территории и комфортность проживания местного населения.

Оценка изменения метеорологических элементов, влияющих на водный баланс, имеет большое значение для социально-экономического развития территории, исследований и прогнозов стока [Догановский, Мякишева, 2015; Догановский, Нестерева, 2015]. Основными элементами водного баланса бессточных озер являются жидкие и твердые осадки, испарение, в этой связи цель настоящего исследования – анализ и оценка изменений снежного покрова и общего запаса воды в нем (как элемента водного баланса) на примере бессточной территории Обь-Иртышского междуречья Новосибирской области и Алтайского края.

Материалы и методы

Фактические сведения о запасе воды в снежном покрове традиционно получают на основе маршрутных снегомерных наблюдений. Такие измерения являются самыми точными и репрезентативными, но в силу трудоемкости они не могут обеспечить требуемую детализацию по времени и оперативность предоставления информации. В то же время существующие

международные проекты на основе спутниковых данных рассчитывают высоту и плотность снежного покрова с большими погрешностями на территориях с частыми оттепелями и лесной растительностью [Чурюлин и др., 2018; Крючков, 2021]. В этой связи необходимо комбинирование наземных и спутниковых наблюдений как одного из основных способов повышения точности расчетов влагозапасов [Пьянков, Шихов, 2016]. На первом этапе анализа снежного покрова бессточной области использованы открытые данные Росгидромета по средней высоте и влагозапасам маршрутных снегомерных съемок [Всероссийский..., 2023].

В работе использованы данные 30 метеостанций за период с 1971 по 2020 гг. [Всероссийский..., 2023], охватывающий начало современного «глобального потепления», которое приурочено ко второй половине 1970-х годов [Харламова, 2013; Третий оценочный..., 2022]. Метеостанции расположены как в пределах, так и за территорией бессточной области Алтайского края и Новосибирской области. Анализ данных метеостанций за территорией бессточной области был необходим для проведения интерполяции в программе QGIS методом обратностепенных расстояний.

Климатические изменения анализировались методами статистической обработки многолетних рядов данных. С использованием метода наименьших квадратов были построены линейные тренды и уравнения линейной регрессии (по данным с 1971 по 2020 гг.), определялись направление и скорость изменения

метеопараметров. Достоверность коэффициентов детерминации полученных уравнений оценивалась по критерию Фишера ($\alpha=5\%$). С помощью 10-летней скользящей средней графически интерпретировались циклические периоды мало-, многоснежных зим. В качестве дополнительной характеристики изменения высоты снежного покрова и влагозапасов рассчитаны климатические нормы за периоды 1971–2000 гг. и 1991–2020 гг. Статистическая значимость различий климатических норм определялась по критерию Стьюдента ($\alpha=5\%$).

Результаты и обсуждение

Холодный период года в бессточной области начинается, в среднем, в начале ноября, с вторжения холодных воздушных масс с севера и востока. Атмосферные процессы в значительной мере определяются воздействием азиатского антициклона и его отрога (сибирского антициклона над Восточной Сибирью) и областью низкого давления, смещающейся к северным морям, в район Арктики. Барические области высокого и низкого давления поочередно распространяют свое влияние на территорию бессточной области. Чередование преимущественно сохраняется за антициклонической циркуляцией, т.е. погода ясная или малооблачная, сухая и умеренно-холодная или морозная. При развитии циклонической деятельности над Западной Сибирью погода становится неустойчивой: с оттепелями, снегопадами, сильными ветрами, затем снова сменяется антициклональной морозной и малооблачной [Сляднев, 1958].

Устойчивый снежный покров образуется, как правило, в начале ноября, хотя его появление может быть намного раньше, особенно в северной части бессточной области. По маршрутным снегомерным съемкам отмечено наличие временного снежного покрова в отдельные годы за первую декаду октября высотой несколько сантиметров.

После установления снежного покрова наблюдается ускоренный рост его высоты в первой половине зимы. С октября по конец декабря высота снежного покрова достигает 70% и 64% от средней за зиму в Новосибирской области и в Алтайском крае соответственно (рис. 1), что связано с активной, неустойчивой циклонической погодой в этот период.

Максимальная высота снежного покрова достигается в конце февраля на юге, начале марта на севере (рис. 2). После происходит оседание и таяние снега, вода уходит и застаивается в нижележащих слоях снежного покрова. Высота снежного покрова уменьшается, но влагозапас почти не меняется. Активное снеготаяние начинается в середине первой декады – середине второй декады марта на юге, во второй декаде марта на севере бессточной области. Пятидневное снижение высоты снежного покрова составляет около 5–7 см на севере и 3–6 см на юге. Именно в этот период отмечается резкое снижение общего запаса воды в снежном покрове. Немаловажную роль на снеготаяние играет сложившиеся погодные условия холодного и весеннего периодов. При таянии вода стекает в нижележащие слои снежного покрова, затем попадает на поверхность почвы.

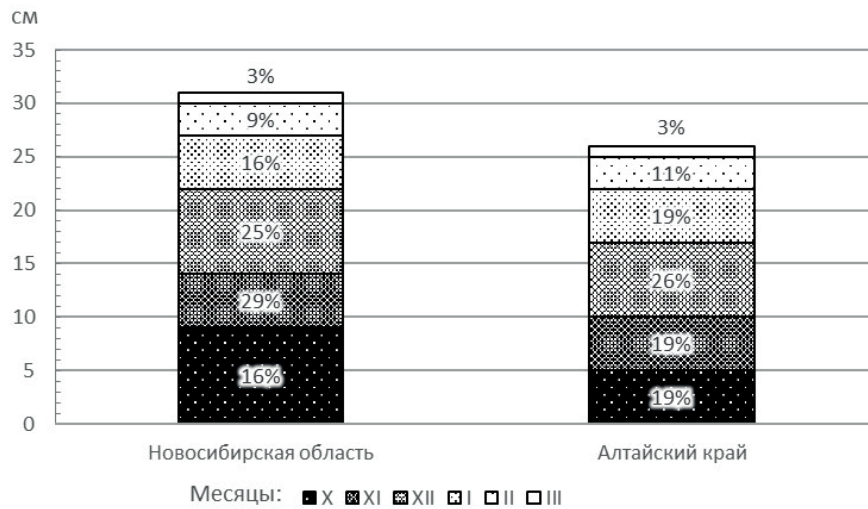


Рис. 1. Средняя многолетняя наибольшая декадная высота (см) снежного покрова за период X–III

Fig. 1. Average long-term (cm) maximum decade snow thickness (X–III)

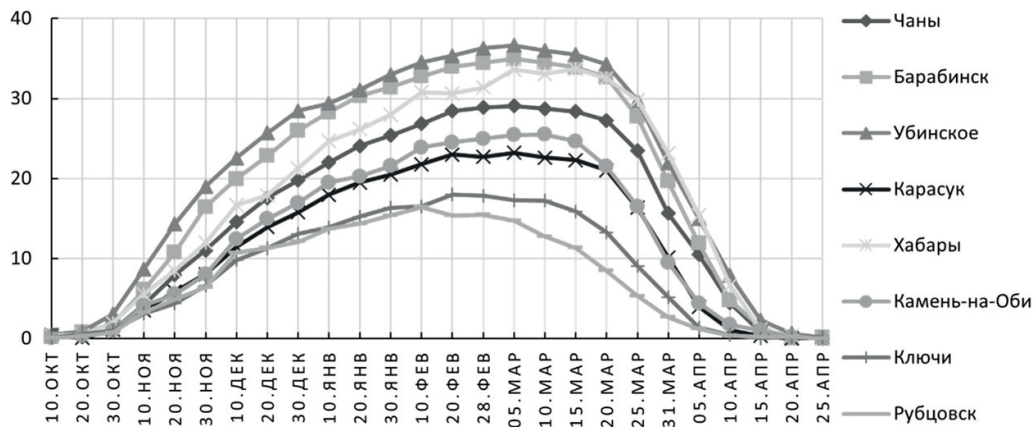


Рис. 2. Годовой ход средней многолетней высоты снежного покрова на метеостанциях Новосибирской области и Алтайского края

Fig. 2. Annual variation of average long-term snow thickness (weather stations of Novosibirsk Oblast and Altai Krai)

Часть воды просачивается в почву, часть уходит по уклону в западины и понижения. Именно неглубокое промерзание почвы, независимо от снеготпасов и влажности почвы, способствует постепенному просачиванию в нее талой воды [Петелько, Выпова, 2022]. Разрушение снежного покрова начинается в конце марта – начале апреля, а полный сход наблюдается обычно в середине апреля.

Снежный покров неравномерно распространен по территории бессточной области. В таблице 1 представлены

многолетние значения влагозапасов и высот, усредненных по метеостанциям Новосибирской области и Алтайского края. Отмечена зональная закономерность залегания снежного покрова. В южной части бессточной области наибольшие декадные высоты снежного покрова и влагозапасы несколько ниже, чем в северной. Средние многолетние значения высоты снежного покрова изменяются от 20 см на юго-западе (метеостанция Ключи) до 40 см на севере (Убинское). Влагозапасы изменяются от 49 мм на юге (Рубцовск) до 98 мм (Барабинск, Хабары).

Таблица 1

Средние многолетние наибольшие декадные значения влагозапасов (мм)
и высот (см) снежного покрова

Table 1

Average long-term maximum decade values of moisture reserves (mm)
and snow thickness (cm)

Параметр	Влагозапас, мм								Высота, см							
Месяц	X	XI	XII	I	II	III	IV	X–IV	X	XI	XII	I	II	III	IV	X–IV
Новосибирская область																
Средний	2	25	45	62	74	81	26	82	5	14	22	27	30	31	14	32
Min	1	19	34	52	66	69	12	71	3	9	16	21	24	24	8	25
Max	4	31	55	74	88	96	49	98	6	20	29	34	37	38	20	40
Алтайский край																
Средний	2	21	37	51	63	71	17	73	5	10	17	22	25	26	11	28
Min	1	16	27	36	43	45	3	49	4	8	13	16	18	16	5	20
Max	3	27	46	68	83	96	54	98	7	12	23	29	33	36	20	37

Азональное залегание снежного покрова наблюдается в центральной части бессточной области по трансекте Убинское–Хабары–Волчиха (рис. 3). Вероятно, такое распределение снега связано с условиями выпадения твердых осадков и их перераспределения. Повышение высоты местности от Кулундинской равнины до Приобского плато, изменение ландшафтов от степных к лесостепным в восточном направлении усиливает шероховатость земной поверхности и способствует выпадению большего количества осадков. Открытые пространства Кулундинской равнины создают благоприятные условия для ветрового переноса снега в восточном направлении до лесостепной зоны.

Полученные средние многолетние значения (1971–2020 годы) были сопоставлены с климатическими данными (1940–1970 годы) по бессточной области из атласа Алтайского региона [1978]. Сравнение показало, что в пределах Алтайского края местами происходит увеличение высоты снежного покрова на +1...+10 см с максимумом на метеостан-

ции Хабары. Для влагозапасов тенденция немного иная: наблюдается уменьшение на метеостанциях Рубцовск (-12 мм) и Камень-на-Оби (-7 мм); увеличение на метеостанции Славгород (+10 мм).

Изменение климатических норм высоты снежного покрова и влагозапасов. На территории бессточной области отмечено как уменьшение, так и увеличение климатических норм влагозапаса и высоты снежного покрова на метеостанциях (табл. 2). Сравнение климатических норм 1971–2000 гг. и 1991–2020 гг. показало, что для бессточной области в пределах Новосибирской области статистически значимое по критерию Стьюдента ($\alpha=5\%$) изменение влагозапаса колеблется от -20.2 мм (Убинское) до +22.9 мм (Барабинск) в разные месяцы, а изменение высоты снежного покрова – от -8.8 см (Убинское) до +9.2 см (Чулым, Купино). Для Алтайского края изменение влагозапаса колеблется от -2.4 мм (Камень-на-Оби) до +15.6 мм (Алейская), изменение высоты снежного покрова – от -5.3 см (Камень-на-Оби) до +11.1 см (Хабары) в разные месяцы.

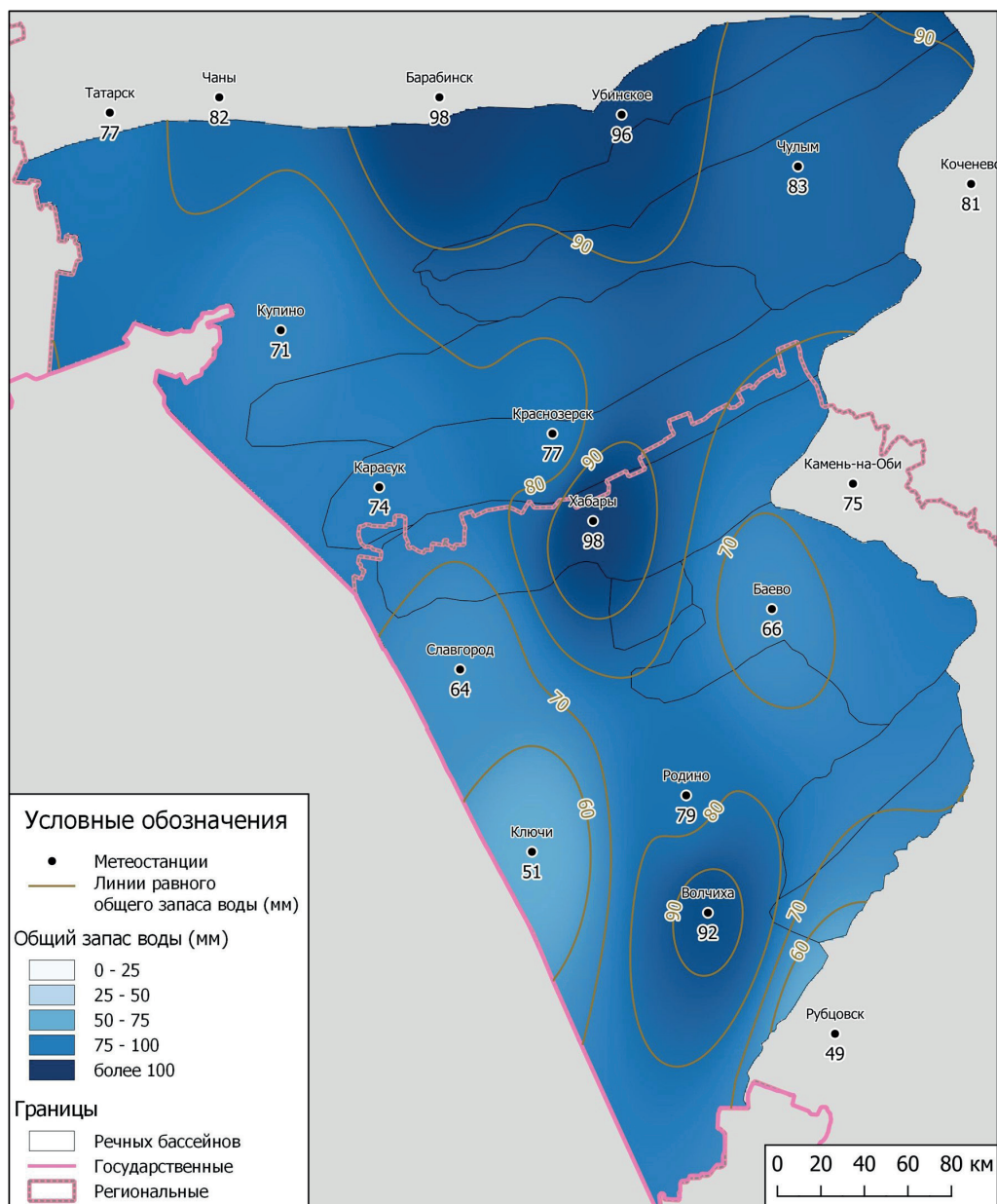


Рис. 3. Средние многолетние наибольшие декадные влагозапасы в снежном покрове за период X–IV
Fig. 3. Average long-term maximum decade moisture reserves in a snow cover (X–IV)

Статистически значимое уменьшение влагозапасов отмечено на метеостанциях: Убинское (-20.2 мм в апреле; -2.7 мм в октябре), Карасук (-9.0 мм в апреле), Камень-на-Оби (-2.4 мм в октябре). Уменьшение высоты снежного покрова: Убинское (-8.8 см в апреле), Камень-на-Оби (-5.3 см в апреле; -1.2 см в октябре), Карасук (-3.3 в апреле), Ключи (-1.4 см в апреле). В остальные месяцы значения параметров снежного покрова увеличиваются. Наибольшее

увеличение влагозапасов наблюдается на метеостанциях Новосибирской области (Татарск, Барабинск, Купино) и достигает +20.0...+22.9 мм в феврале и марте. Стоит отметить тот факт, что рост приземной температуры воздуха приводит к сдвигу дат устойчивых переходов средней суточной температуры воздуха через 0°C. Даты переходов весной наступают раньше, осенью – позже. Это способствует к более позднему установлению снежного покрова и более раннему его сходу.

Таблица 2

Статистически значимые изменения климатических норм наибольших декадных значений влагозапасов (мм) и высот (см) снежного покрова с 1971–2000 гг. по 1991–2020 гг.

Table 2

Statistically significant dynamics of climatic norms of maximum decade moisture reserves (mm) and snow thickness (cm) in 1971–2000 and 1991–2020

Индекс	Метеостанция Месяц	Влагозапас. мм								Высота. см							
		X	XI	XII	I	II	III	IV	X-IV	X	XI	XII	I	II	III	IV	X-IV
Новосибирская область																	
29602	Чаны	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+3.5	–	–	–
29605	Татарск	–	–	–	+11.8	+18.1	+21.8	–	+20.2	–	+4.5	+6.6	+7.5	+8.1	+8.8	–	+7.5
29612	Барабинск	–	–	–	+16.1	+22.2	+22.9	–	+19.6	–	–	+5.4	+7.8	+9.1	+8.5	–	+7.4
29613	Убинское	-2.7	–	–	–	–	+1.2	-20.2	–	–	+3.4	+5.6	+3.8	+3.9	–	-8.8	–
29625	Чулым	–	–	+9.5	+13.2	+14.4	+17.9	–	+15.7	–	+5.4	+8.6	+9.2	+8.8	+8.1	–	+8.2
29706	Купино	–	–	+5.3	+14.2	+20.0	+20.1	–	+17.6	–	+2.6	+4.7	+6.7	+9.2	+8.9	–	+7.8
29813	Краснозерск	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+3.0	+2.9	+4.5	–	–	+3.1
29814	Карасук	–	–	–	–	–	–	-9.0	–	–	–	–	–	–	–	-3.3	–
29926	Коченево	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+5.1	+4.1	+4.1	+3.3	–	+4.5
Алтайский край																	
29816	Хабары	–	–	–	–	+13.3	+12.9	–	–	–	+3.9	+7.8	+8.8	+11.1	+10.3	–	+9.7
29822	Камень-на-Оби	-2.4	–	–	–	–	+9.9	–	–	-1.2	–	–	–	+3.2	–	-5.3	–
29838	Барнаул	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+6.2	+8.0	+8.7	–	+6.2
29915	Славгород	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+3.2	–	–	–	–	–
29937	Алейская	–	–	–	+15.6	–	–	–	–	+1.4	+2.8	–	–	+6.1	+8.4	–	+5.3
36020	Родио	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
36021	Ключи	–	–	–	+8.8	–	–	–	+5.7	–	–	–	–	–	–	-1.4	–
36022	Волчиха	–	–	–	–	–	–	–	+12.4	–	–	–	–	–	–	–	–
36034	Рубцовск	–	+5.6	–	+8.8	–	–	–	+8.3	–	+2.2	–	+3.3	–	–	–	+2.4

Примечания: 1) критическое значение критерия Стьюдента $t_{\text{крит}} = 2.01$ при уровне значимости $\alpha=5\%$ [Митропольский, 1971];
2) «–» статистически незначимые изменения

Анализ линейных трендов высоты снежного покрова и влагозапасов. Построены линейные тренды для временных рядов (1971–2020 гг.) высоты снежного покрова и влагозапасов. С ноября по март наблюдаются в основном положительные статистически значимые тренды, а в апреле и октябре – отрицательные.

На основе значимых трендов определены скорости изменения влагозапасов и высот снежного покрова. Скорость изменения максимального за год влагозапаса в снеге Новосибирской области колеблется в пределах $+8.9...+11.6$ мм / 10 лет, высоты снежного покрова – $+1.7...+4.6$ мм / 10 лет. В Алтайском крае эти же значения соответственно равны для максимального за год влагозапаса – $+4.1...+7.6$ мм / 10 лет, для высоты снежного покрова – $+0.4...+5.2$ мм / 10 лет.

Десятилетнее снижение наибольших

декадных значений влагозапаса наблюдается в отдельные месяцы на метеостанциях Карасук (-2.8 мм / 10 лет, ноябрь), Коченево (-1.6 мм / 10 лет, октябрь), Камень-на-Оби (-1.1 мм / 10 лет, октябрь; -5.2 мм / 10 лет, апрель); наибольшее увеличение – Барабинск ($+12.1$ мм / 10 лет, март; $+11.2$ мм / 10 лет, октябрь–апрель), Татарск ($+11.6$ мм / 10 лет; октябрь–апрель; $+11.4$ мм / 10 лет, март) (рис. 4а). Десятилетнее снижение наибольших декадных значений высоты снежного покрова отмечается в отдельные месяцы на метеостанции Карасук (-1.4 см / 10 лет; апрель; -0.7 см / 10 лет, октябрь), Камень-на-Оби (-2.3 см / 10 лет, апрель; -0.6 см / 10 лет, октябрь), Ключи (-0.8 см / 10 лет, апрель); наибольшее увеличение – Хабары ($+5.8$ см / 10 лет; февраль; $+5.3$ см / 10 лет, март), Татарск ($+4.7$ см / 10 лет, март), Барабинск ($+4.8$ см / 10 лет, февраль), Чулым ($+4.8$ см / 10 лет, январь).

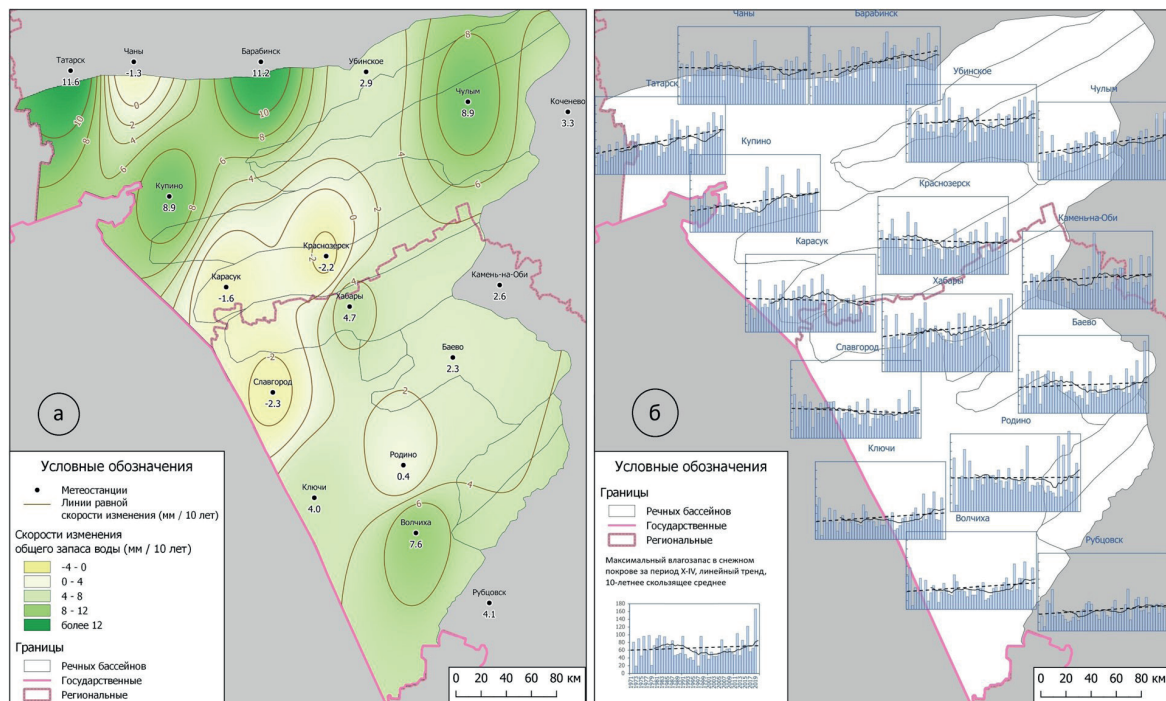


Рис. 4. Изменение сезонного максимума влагозапасов.

а) 10-летние скорости изменения максимального влагозапаса; б) годовая динамика изменения сезонного максимума (X–IV) влагозапасов, линейные тренды и 10-летние скользящие средние

Fig. 4. Dynamics of seasonal maximum moisture reserves

а) 10-year rates dynamics of moisture reserve maximum; б) Annual dynamics of seasonal maximum (X–IV) of moisture reserves, linear trends and 10-year moving averages

В таблицах 3 и 4 представлены скорости изменения влагозапасов (при $R^2 > 0.1$) и высоты снежного покрова (при $R^2 > 0.3$).

Построение 10-летних скользящих средних позволило определить, что на большинстве метеостанций закончился период снижения влагозапасов в снежном покрове, который наблюдался до 1997–2001 гг. (Убинское, Хабары, Баево, Ключи, Волчиха) или до 2009–2013 гг. (Чаны, Татарск, Барабинск, Родино). На сегодняшний день влагозапасы в снежном покрове увеличиваются, о чем свидетельствуют графики на рис. 4б.

Исключение составляет метеостанция Карасук, где в конце 90-х зарегистрирован пик сезонного максимума влагозапасов, а с начала 2000-х отмечается их снижение.

Коэффициент детерминации (R^2) линейных трендов для влагозапаса и высоты снежного покрова изменяется от 0 до 0.36 и от 0 до 0.50 соответственно. R^2 достоверен по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 5\%$ для большинства полученных данных. Критическое значение критерия Фишера [Митропольский, 1971] составляет 4.03. Ему соответствует значение коэффициента детерминации $R^2 = 0.08$.

Таблица 3

Статистически значимые тренды средних многолетних наибольших декадных значений влагозапасов (мм) за 10-летний интервал на основе уравнения регрессии ($R^2 > 0.1$)

Table 3

Statistically significant trends of long-term maximum decade values of moisture reserves (mm) for the 10-year interval based on the regression equation with tightness of a bond force ($R^2 > 0.1$)

Индекс	Метеостанция	Изменение влагозапаса. мм								
		X	XI	XII	I	II	III	IV	X–IV	
Новосибирская область										
29605	Татарск	/ 10 лет	–	–	–	+6.3	+9.8	+11.4	+8.0	+11.6
		R ²	–	–	–	0.18	0.28	0.36	0.13	0.35
29612	Барабинск	/ 10 лет	–	–	–	+8.8	+11.9	+12.1	–	+11.2
		R ²	–	–	–	0.23	0.32	0.26	–	0.24
29625	Чулым	/ 10 лет	–	–	+4.8	+7.2	+7.8	+9.5	–	+8.9
		R ²	–	–	0.12	0.23	0.17	0.22	–	0.21
29706	Купино	/ 10 лет	–	–	+2.6	+6.2	+9.0	+8.6	–	+8.9
		R ²	–	–	0.11	0.15	0.23	0.19	–	0.21
Алтайский край										
29816	Хабары	/ 10 лет	–	–	–	+6.2	+7.8	+7.3	–	+6.7
		R ²	–	–	–	0.12	0.14	0.12	–	0.10
29822	Камень-на-Оби	/ 10 лет	-1.1	–	–	–	–	–	-5.2	–
		R ²	0.11	–	–	–	–	–	0.10	–
36021	Ключи	/ 10 лет	–	–	–	+4.6	+4.5	–	–	–
		R ²	–	–	–	0.14	0.10	–	–	–
36034	Рубцовск	/ 10 лет	+0.9	+3.3	–	+4.1	–	–	–	–
		R ²	0.10	0.13	–	0.13	–	–	–	–

Примечание: «–» – коэффициент детерминации (R^2) трендов меньше 0.1

Таблица 4

Статистически значимые тренды средних из наибольших декадных значений высоты снежного покрова (см) за 10-летний интервал на основе уравнения регрессии ($R^2 > 0.3$)

Table 4

Statistically significant trends of long-term maximum decade values of snow thickness (cm) for a 10-year interval based on the regression equation with tightness of a bond force ($R^2 > 0.3$)

Индекс	Метеостанция	Изменение высоты снежного покрова, мм								
		X	XI	XII	I	II	III	IV	X–IV	
Новосибирская область										
29605	Татарск	/ 10 лет	–	–	+3.6	+4.0	+4.4	+4.7	–	+4.6
		R ²	–	–	0.32	0.39	0.41	0.47	–	0.43
29612	Барабинск	/ 10 лет	–	–	–	+4.1	+4.8	+4.5	–	+4.3
		R ²	–	–	–	0.35	0.41	0.34	–	0.33
29625	Чулым	/ 10 лет	–	–	+4.3	+4.8	+4.6	+4.4	–	+4.6
		R ²	–	–	0.38	0.50	0.41	0.34	–	0.41
29706	Купино	/ 10 лет	–	–	–	–	+4.3	+4.1	–	+4.1
		R ²	–	–	–	–	0.34	0.31	–	0.31
Алтайский край										
29816	Хабары	/ 10 лет	–	–	+4.2	+4.7	+5.8	+5.3	–	+5.2
		R ²	–	–	0.45	0.37	0.43	0.39	–	0.38

Примечание: «–» – коэффициент детерминации (R^2) трендов меньше 0.3

Закключение

В настоящем исследовании выполнен актуальный анализ средних многолетних данных по высоте и влагозапасам снежного покрова на территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья за период 1971–2020 гг.

Отмечено зональное и а зональное распределение снежного покрова на территории бессточной области. Высота снежного покрова и влагозапасы увеличиваются с юга на север от подзоны сухой степи до южной тайги. Возрастают с запада на восток при повышении высоты местности от Кулундинской равнины к Приобскому плато и при смене ландшафтов от степных к лесостепным.

Выполнено сравнение климатических норм высоты снежного покрова и

влагозапасов за периоды 1971–2000 гг. и 1991–2020 гг. Отмечено статистически значимое повышение влагозапасов (до +22.9 мм) и высот (до +11.1 см) снежного покрова с ноября по март на большинстве метеостанций. Уменьшение параметров снежного покрова зафиксировано в октябре и апреле, что связано со смещением дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова.

Построены линейные тренды высоты снежного покрова и влагозапасов за период 1971–2020 годы. Получены значимые тренды, в основном, для северной части бессточной области, для которой характерно увеличение влагозапасов (кроме метеостанции Чаны) в снежном покрове до +12.1 мм / 10 лет, высот до +4.8 см / 10 лет.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares that he has no conflict of interest.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 21-55-75002), а также в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№0306-2021-0002).

Список литературы

Алтайский край. Атлас. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР. Москва-Барнаул, 1978. Т. 1. 235 с.

Быков Н.И., Черных Д.В., Першин Д.К., Лубенец Л.Ф., Золотов Д.В. Пространственная и временная изменчивость снежного покрова в южной лесостепи Верхней Оби // Лёд и Снег. 2022. № 3. С. 343–359. doi: 10.31857/S2076673422030136

Бэйтс Б.К., Кундцевич З.В., Палютикоф Ж.П. Изменение климата и водные ресурсы. Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Секретариат МГЭИК. Женева. 2008. 228 с.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 05.06.2023).

Галахов В.П., Ловцкая О.В., Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В. Сравнительный анализ методик прогноза максимальных уровней и объема стока периода половодья горной реки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. № 2. С. 193–203. doi: 10.18799/24131830/2022/2/3438

Галахов В.П., Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В. Влияние условий формирования снежного покрова на сток половодья горной реки (на примере бассейна реки Ануй) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2020. № 1 (56). С. 24–33. doi: 10.15372/KZ20210605

Галахов В.П., Шереметьева Р.Т., Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В. Средние многолетние осадки на территории горного узла Белухи (Центральный Алтай) // Криосфера Земли. 2017. № 5. С. 99–106. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(99-106)

Догановский А.М., Мякишева Н.В. Водный баланс и внешний водообмен озер России и сопредельных территорий // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 41. С. 63–75.

Догановский А.М., Нестерева М.И. Водный баланс и внешний водообмен озер Якутии // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 40. С. 15–29.

Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Задде Г.О. Региональные особенности современных климатоэкологических изменений в Сибири // Вестник ТГУ. Серия «Науки о Земле». 2003. № 3 (4). С. 174–178.

Крючков А.Д. Пространственно-временное распределение характеристик снежного

покрова на территории Пермского края: Дис... канд. географических наук. Пермь. 2021. 223 с.

Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.

Паромов В.В., Нарожный Ю.К., Нарожная О.В. Тенденции современных изменений приземной температуры воздуха и атмосферных осадков на юге Западной Сибири // Вопросы географии Сибири. Томск. 1999. № 23. С. 124–140.

Петелько А.И., Выпова А.В. Показатели водного баланса на различных агрофонах в лесостепной зоне Нечерноземья // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 58–65. doi: 10.34736/FNC.2022.119.4.009.58-65

Пьянков С.В., Шихов А.Н. Моделирование пространственного распределения снегозапасов на крупном водосборе с применением спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. № 4. С. 29–41. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-29-41

Самойлова С.Ю., Ловцкая О.В., Кудишин А.В., Арнаут Д.В. Анализ факторов формирования максимального стока реки Чумыш (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. 2023. № 5. С. 116–128. doi: 10.18799/24131830/2023/5/3983

Сляднев А.П. Очерки климата Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1958. 140 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Росгидромет. Научные технологии, 2022. 124 с.

Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2013. 156 с.

Черных Д.В., Золотов Д.В., Першин Д.К., Бирюков Р.Ю. Пространственно-временная дифференциация снежного покрова в бассейне р. Касмалы (Алтайский край) // Водные ресурсы. 2019. № 4. С. 359–369. doi: 10.31857/S0321-0596464359-369

Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Розинкина И.А., Фролова Н.Л., Чурилина А.Г. Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2. С. 120–143.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844

Reference

Altajskij kraj. Atlas. Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri soveteministrov SSSR [Altai Territory. Atlas. Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR]. Moskva-Barnaul, 1978. 235 p. (in Russian).

Bykov N.I., Chernyh D.V., Pershin D.K., Lubenets L.F., Zolotov D.V. Prostranstvennaya i

vremennaya izmenchivost' snezhnogo pokrova v yuzhnoi lesostepi Verkhnei Obi [Spatial and temporal variability of snow cover in the southern forest-steppe of the Upper Ob River] // Ice and Snow. 2022. No. 3. P. 343–359. doi:10.31857/S2076673422030136. (in Russian).

Bejts B.K., Kundcevich Z.V., Palyutikof Zh.P. *Izmenenie klimata i vodnye resursy* [Climate change and water resources]. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 228 p. (in Russian).

Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mirovoi tsentr dannykh [All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI–WDC)]. URL: <http://meteo.ru/> (accessed on: 05.06.2023).

Galahov V.P., Lovckaya O.V., Samojlova S.Yu., Mardasova E.V. *Sravnitel'nyi analiz metodik prognoza maksimal'nykh urovnei i ob'ema stoka perioda polovod'ya gornoj reki* [Comparative analysis of methods for forecasting maximum levels and volumes of flood runoff of a mountain river] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2022. No. 2. P. 193–203. doi: 10.18799/24131830/2022/2/3438. (in Russian).

Galahov V.P., Samojlova S.Yu., Mardasova E.V. *Vliyanie uslovii formirovaniya snezhnogo pokrova na stok polovod'ya gornoj reki (na primere basseina reki Anui)* [Effect of a ratio of large morphological units of a mountain basin on snowmelt runoff (river basin Anuy)] // Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. 2020. No. 1 (56). P. 24–33. doi: 10.15372/KZ20210605. (in Russian).

Galahov V.P., Sheremet'eva R.T., Samojlova S.Yu., Mardasova E.V. *Srednie mnogoletnie osadki na territorii gornogo uzla Belukhi (Tsentral'nyi Altai)* [Mean annual precipitation at the Belukha Mountain knot (Central Altai)] // Earth's Cryosphere. 2017. No. 5. P. 99–106. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(99-106). (in Russian).

Doganovskij A.M., Myakisheva N.V. *Vodnyi balans i vneshnii vodoobmen ozer Rossii i sopredel'nykh territorij* [Water balance and external water exchange of lakes of Russia and adjacent territories] // Scientific notes of the RSHU. 2015. No. 41. P. 63–75. (in Russian).

Doganovskij A.M., Nestereva M.I. *Vodnyi balans i vneshnii vodoobmen ozer Yakutii* [Water balance and external water exchange of lakes in Yakutia] // Scientific notes of the RSHU. 2015. No. 40. P. 15–29. (in Russian).

Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Zadde G.O. *Regional'nye osobennosti sovremennykh klimatologicheskikh izmenenij v Sibiri* [Regional features of modern climate-ecological changes in Siberia] // Tomsk State University Journal «Geosciences». 2003. No. 3 (4). P. 174–178. (in Russian).

Kryuchkov A.D. *Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie harakteristik snezhnogo pokrova na territorii Permskogo kraya* [Spatial and temporal distribution of snow cover characteristics on the territory of Perm Krai]: PhD (PhD of Geogr.) thesis. Perm. 2021. 223 p. (in Russian).

Mitropol'skij A.K. *Tekhnika statisticheskikh vychislenij* [Statistical computing technique]. Moscow: publishing house Science, 1971. 576 p. (in Russian).

Paromov V.V., Narozhnyj Yu.K., Narozhnaya O.V. *Tendentsii sovremennykh izmenenij prizemnoi temperatury vozdukha i atmosferynykh osadkov na yuge Zapadnoi Sibiri* [Trends in

modern dynamics of the surface air temperature and precipitation in the south of Western Siberia] // Questions of geography of Siberia. 1999. No. 23. P. 124–140 (in Russian).

Petelko A.I., Vypova A.V. Pokazateli vodnogo balansa na razlichnykh agrofonakh v lesostepnoi zone Nechernozem'ya [Indicators of Water Balance at Various Agrob backgrounds in the Forest-Steppe Zone of the Non-Chernozem Region] // Scientific agronomy journal. 2022. No. 4 (119). P. 58–65. doi: 10.34736/FNC.2022.119.4.009.58-65. (in Russian).

Pyankov S.V., Shihov A.N. Modelirovanie prostranstvennogo raspredeleniya snegozapasov na krupnom vodosbore s primeneniem sputnikovoi informatsii [Modeling the spatial distribution of snow cover on a large catchment area using satellite data] // Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2016. No. 4. P. 29–41. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-29-41. (in Russian).

Samojlova S.Yu., Lovckaya O.V., Kudishin A.V., Arnaut D.V. Analiz faktorov formirovaniya maksimal'nogo stoka reki Chumysh (Zapadnaya Sibir') [Analysis of factors for formation of the chumysh river maximum runoff (Western Siberia)] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2023. No. 5. P. 116–128. doi: 10.18799/24131830/2023/5/3983. (in Russian).

Slyadnev A.P. Ocherki klimata Altajskogo kraia [Essays on Altai Krai climate]. Barnaul: Altai book publishing house, 1958. 140 p. (in Russian).

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezyume [Third estimation report on climate changes and their consequences on the territory of Russian Federation]. Saint Petersburg: Roshydromet, 2022. 124 p. (in Russian).

Harlamova N.F. Ocenka i prognoz sovremennykh izmenenij klimata Altajskogo regiona [Assessment and forecast of modern climate changes in Altai]. Barnaul: ASU press, 2013. 156 p. (in Russian).

Chernyh D.V., Zolotov D.V., Pershin D.K., Biryukov R.Yu. Prostranstvenno-vremennaya differentsiatsiya snezhnogo pokrova v basseine r. Kasmaly (Altaiskii krai) [Space and time differentiation of snow cover in the Kasmala river basin, Altai Krai] // Water Resources. 2019. No. 4. P. 359–369. doi: 10.31857/S0321-0596464359-369. (in Russian).

Churyulin E.V., Kopeikin V.V., Rozinkina I.A., Frolova N.L., Churilina A.G. Analiz kharakteristik snezhnogo pokrova po sputnikovym i model'nym dannym dlya razlichnykh vodosborov na Evropeiskoi territorii Rossiiskoi Federatsii [Analysis of snow cover characteristics by satellite and model data for different catchment areas are located on the territory of the Russian Federation] // Hydrometeorological Research and Forecasting. 2018. No. 2. P. 120–143. (in Russian).

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022. 3056 p. DOI:10.1017/9781009325844

DYNAMICS OF SNOW COVER THICKNESS AND MOISTURE RESERVE IN THE DRAINLESS OB-IRTYSH INTERFLUVE FOR 1971-2020

A.V. Golovin

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul,

E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com

The article presents an analysis of changes in snow cover parameters (snow thickness and moisture reserves) in the endorheic region of the Ob-Irtysh interfluve within the boundaries of the Altai Krai and Novosibirsk Oblast from 1971 to 2020. It was established that the climatic norms of the largest ten-day values of moisture reserves in the snow cover changed by $-6.4...+20.2$ mm; snow thickness by $-0.9...+9.7$ cm in different parts of the interfluve compared to the period 1991–2020. The rates of change in moisture content over 10-year periods are $-2.3...+11.6$ mm; snow depth $-0.6...+5.2$ cm. According to the Fisher's criterion, most of the constructed trends are significant at $\alpha = 5\%$. The most reliable trends of moisture reserves were revealed for Tatarsk (March, $+11.4$ mm / 10 years, $R^2 = 0.36$) and Barabinsk (February, $+11.9$ mm / 10 years, $R^2 = 0.32$, whereas for snow thickness – Chulym (January, $+4.8$ cm / 10 years, $R^2 = 0.5$) and Tatarsk (March, $+4.7$ cm / 10 years, $R^2 = 0.47$).

Keywords: climatic changes; moisture reserve; height of snow cover; long-term dynamics.

Received August 13, 2024. Accepted: September 3, 2024

Сведения об авторе

Головин Антон Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-0946-9393. E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com.

Information about the author

Golovin Anton Vladimirovich – Junior Researcher at the Laboratory of Water Resources and Water Management of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-0946-9393. E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com.