

Динамика и пространственное распределение снеготазов в крупном городе в бассейне Волги (на примере Нижнего Новгорода)

© 2022 г. С.В. Ясинский*, М.В. Сидорова, М.Б. Алиева, Р.А. Чернов, А.Н. Нарыков

Институт географии РАН, Москва, Россия

*yasisergej@yandex.ru

Dynamics and spatial distribution of snow storage in a large city in the Volga River basin (the case study of Nizhny Novgorod)

S.V. Yasinskiy*, M.V. Sidorova, M.B. Alieva, R.A. Chernov, A.N. Narykov

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*yasisergej@yandex.ru

Received September 9, 2021 / Revised December 17, 2021 / Accepted December 23, 2021

Keywords: *snow storage, monitoring, statistical characteristics, landscape structure, catchments, snow melting.*

Summary

Processes of formation and melting of snow cover in large cities remain poorly studied, for example, one of those is Nizhny Novgorod, the largest city in the Volga River basin. Using the relationship between the amount of precipitation, falling over the cold season, and the snow storage, formed on the whole territory of the city, that was built taking account of the influence of thaws, a continuous series of values of the snow water equivalent (snow storage) for the time of the snowmelt beginning was restored for the period 1965–2019. Thaws were taken into account through the use of the sums of positive air temperatures for the cold period, calculated for each individual year of observation. During the period under consideration, the maximum snow storage occurred in 2011, while the minimum – in 1998; and it was close to the average value in 1973. Field snow-measuring surveys in the city and its environs, carried out in 2020, showed that the classical notion of the snow-storm transport is not true in the urban landscapes rather than in the environs. The use of the results of field snow surveys performed in different parts of the city in 2021, as well as the statistical characteristics of the above series of snow storage values, allowed estimating the distribution of the snow water equivalent in catchments of six small rivers in the city Nizhny Novgorod. The assessment is detailed for different types of urban landscapes and for years of different snow conditions, including the extreme ones.

Citation: Yasinskiy S.V., Sidorova M.V., Alieva M.B., Chernov R.A., Narykov A.N. Dynamics and spatial distribution of snow storage in a large city in the Volga River basin (the case study of Nizhny Novgorod). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2022, 62 (2): 217–226. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422020127, edn: eoxdyt.

Поступила 9 сентября 2021 г. / После доработки 17 декабря 2021 г. / Принята к печати 23 декабря 2021 г.

Ключевые слова: *снеготазы, мониторинг, статистические характеристики, ландшафтная структура, водосборы, снеготаяние.*

На основе метеорологических характеристик (включая данные о зимних оттепелях) восстановлены отсутствующие значения в ряду снеготазов на начало весеннего снеготаяния в г. Нижний Новгород с 1965 по 2019 г. Оценена однородность этого ряда с помощью критериев Фишера и Стьюдента, рассчитаны основные статистические характеристики, а также определена теоретическая функция распределения вероятностей, удовлетворительно аппроксимирующая эмпирическую кривую вероятностей снеготазов. С использованием результатов полевых снеготазовых работ, выполненных в разных частях города в 2021 г., а также статистических характеристик многолетнего ряда снеготазов на начало весеннего снеготаяния оценено пространственное распределение запаса воды в снежном покрове для шести водосборов малых рек города, в том числе и для расположенных в их пределах территорий с различным видом подстилающей поверхности для каждого года исследуемого ряда.

Введение

Рост антропогенных нагрузок, начавшийся в середине XX в., вызвал необходимость анализа их влияния на все компоненты природной среды, в том числе и на снежный покров, который представляет собой отличный индикатор выявления зон их распространения и мощно-

сти. Исследования многих авторов показали, что в сильно урбанизированных районах снег тает раньше и стекает быстрее, чем в парках и лесных массивах, поскольку более сильное длинноволновое излучение сочетается с уменьшенным альбедо снега [1], т.е. режим залегания и таяния снега в городах значительно отличается от естественного [2]. В работе [3] показано, что пико-

вый сток в городах холодных регионов обычно связан с весенним снеготаянием. Таким образом, накопление и таяние снега имеют решающее значение при проектировании систем или сооружений для управления ливневыми стоками. В Северной Скандинавии и других холодных регионах системы сточных и ливневых вод были построены в соответствии со стандартами, установленными для климата с преобладанием дождевого стока. Это приводит к тому, что городские дренажные системы часто не справляются с большими объёмами талой воды, которые могут быть в течение нескольких недель [4, 5]. Именно изучение стока талых вод в городских районах имеет важное значение для моделирования и проектирования надёжных дренажных систем. В настоящее время используют физическо-математическое моделирование процессов накопления и таяния снега в городских условиях [6, 7].

Кроме того, снег в условиях городского антропогенного загрязнения может накапливать зимой различные вещества, высвобождая их во время весеннего таяния снега, что приводит к высокой нагрузке загрязняющими веществами в короткий весенний период [8]. Необходимость расчёта стока загрязняющих веществ с территорий городов в водные объекты также делает актуальными оценку весеннего стока и особенностей формирования снеготаяния на территории города. Глобальные и региональные изменения климата существенно трансформировали структуры гидрологического цикла речных водосборов на всей территории РФ. В результате значительно сократился объём весеннего половодья, но при этом увеличился приток в реки подземных вод и вод дождевых паводков в летне-осенние периоды [9, 10]. Этот факт также указывает на необходимость уточнения и развития наших представлений о формировании весеннего стока в современных условиях.

Отметим, что постоянный мониторинг снежного покрова — измерение его характеристик (толщины и плотности), оценка запаса воды в нём в зимний период и на начало снеготаяния, определение степени его загрязнения химическими элементами — ни в одном городе Российской Федерации не проводится. Между тем отсутствие такого мониторинга на урбанизированных территориях (в более широком плане — геоэкологического) не позволяет научно-обоснованно управлять город-

ским хозяйством, в том числе в наиболее сложный зимне-весенний период года, реализовывать природоохранную политику и прогнозировать её эффективность для улучшения качества окружающей среды и жизни населения в городах.

Один из примеров крупного города в бассейне Волги, где отсутствует геоэкологический мониторинг, в том числе и мониторинг снежного покрова, — Нижний Новгород. Этот город расположен в месте слияния двух крупнейших рек Восточно-Европейской равнины — Волги и Оки, на границе лесной и лесостепной ландшафтных зон. Волга здесь зарегулирована, и город стоит, по сути, на берегу Чебоксарского водохранилища. Площадь города — около 460 км², численность населения — 1,3 млн человек. На территории города формируется сток семи малых рек, впадающих в Оку и Чебоксарское водохранилище. Поверхность города представляет собой мощный источник диффузного загрязнения. Зимой в каждом районе города загрязнённый снег, убраный с улиц, складывается на полигонах, а затем, во время снеготаяния, никак не очищаясь, поступает в почву и городские реки, формируя локальные диффузные источники загрязняющих веществ. На реках города отсутствуют гидрохимические и гидрологические посты мониторинга Росгидромета. Отбор проб воды проводится Горкомэкологией г. Нижний Новгород в случае фиксируемых аварийных сбросов. Периодически качество воды в городских водных объектах анализируют научные и образовательные учреждения города [11, 12]. Однако в целом проблемы формирования гидролого-геохимического стока с территории этого города практически не изучены, а следовательно, никто точно не знает, сколько воды и загрязняющих веществ формируется на его территории в разные фазы гидрологического года и в разные по водности годы, сколько поступает в существующую здесь сеть малых рек и с их стоком и с территории самого города — в Чебоксарское водохранилище.

Задача настоящей работы — определение особенностей формирования снеготаяния к началу весеннего снеготаяния на различных ландшафтах в городских условиях как источника поступления талых вод для всего города Нижний Новгород, а также их пространственного распределения по водосборам основных городских малых рек с учётом разных по снежности лет.

Исходные данные и методика исследований

В качестве исходных данных был выбран определённый набор показателей.

1. Суммы осадков и температуры воздуха, рассчитанные по ежедневным значениям за холодный период года, ежегодные величины запасов воды в снеге на начало снеготаяния (мм в.э.), полученные на агрометеостанции «Нижний Новгород» с 1965 по 2019 г. [13]. При этом с 1977 по 1995 г. и с 2001 по 2004 г. данных по снегозапасам на начало весеннего снеготаяния не было, что потребовало их восстановления для получения полноценного ряда.

2. Результаты полевых измерений толщины и плотности снега и расчётов запасов воды в снеге на шести экспериментальных площад-

ках размером в среднем 100×200 м, приуроченных к разным водосборам рек Нижнего Новгорода. Из этих шести площадок три выбраны для открытой местности, а три – для залесённой (парки, сады). Полевые снегомерные работы проведены 28 февраля – 4 марта 2021 г. на момент формирования максимальных в этом году снегозапасов. Расположение этих площадок на территории города Нижний Новгород приведено на рис. 1, а основные результаты измерений толщины снежного покрова и запаса воды в нём – в табл. 1. Число точек измерения толщины снега составляло 50–80 на каждой площадке. Плотность измерялась в каждой 10-й точке.

3. По данным космических снимков со спутников Sentinel-2 за 2019 г. с пространственным разрешением 10 м была выявлена ландшафтная

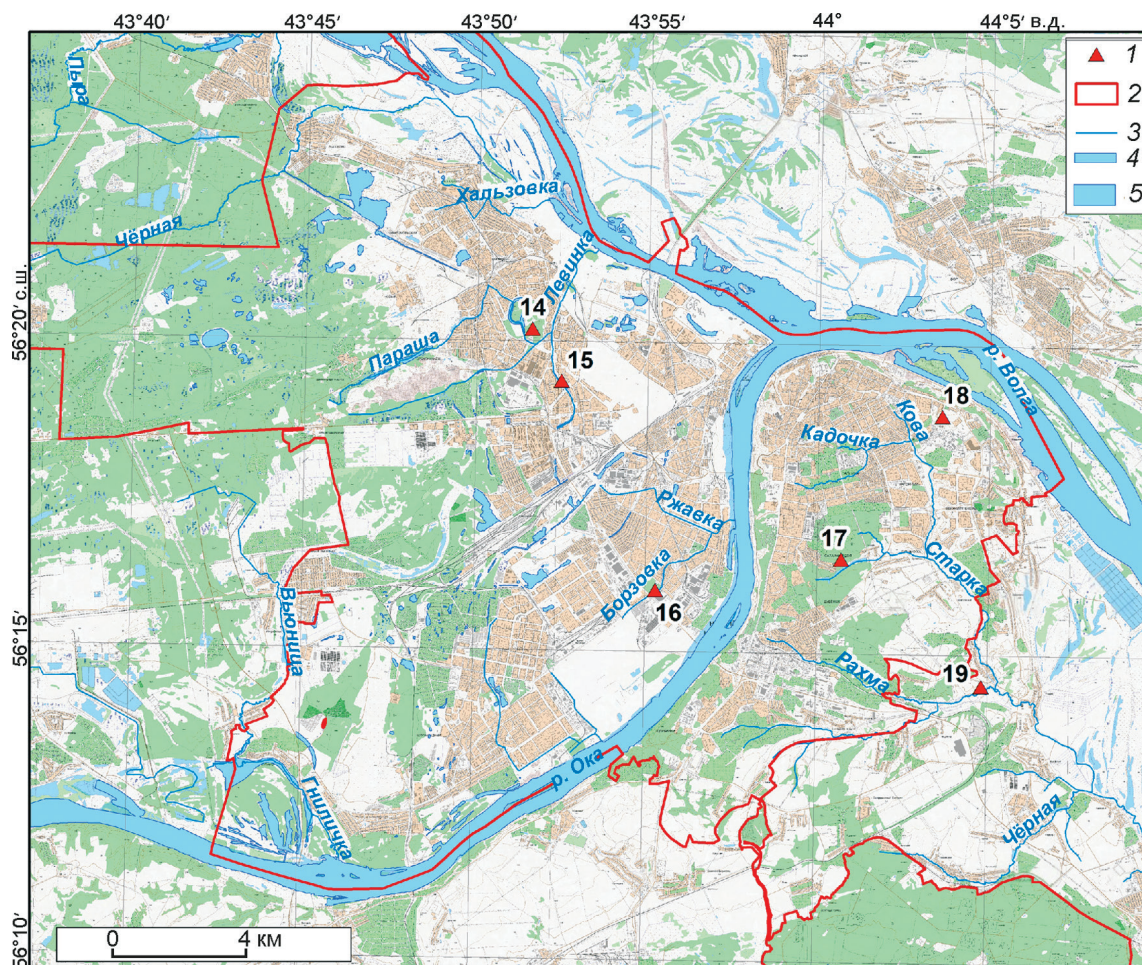


Рис. 1. Расположение площадок проведения снегомерных съёмок в г. Нижний Новгород (февраль–март 2021 г) (1) с обозначением административных границ (2), рек (3, 4), озёр и водохранилищ (5)

Fig. 1. Location of snow survey sites in Nizhny Novgorod (February–March 2021) (1) with designation of administrative boundaries (2), rivers (3, 4), lakes and reservoirs (5)

Таблица 1. Средние толщина снега, плотность и запас воды (по данным снегомерной съёмки в г. Нижний Новгород в феврале–марте 2021 г.); номера точек см. на рис. 1

Характеристики	Номера точек, адрес и бассейн реки					
	14 Сормовский парк (лес), р. Левинка	15 долина р. Ле- винка (поле), р. Левинка	16 парк Дубки (лес), р. Борзовка	17 Щелоковский хутор (лес), р. Старка (Рахма)	18 ул. Радионова, д. 45 (поле), р. Старка (Рахма)	19 поле около д. Утечино (поле), р. Рахма
Толщина снега на площадке, см	66,7	64,3	68	88	89,2	70,1
Плотность снега на площадке, кг/м ³	0,18	0,19	0,19	0,15	0,14	0,13
Запас воды в снеге, мм в.э.	120,1	122,2	127,56	132,0	121,9	91,1

структура основных водосборов малых рек города и определена площадь каждого ландшафта на их территории.

В настоящей работе использовались статистические и картографические методы, в том числе ГИС-технологии, а также метод географических аналогий и сопоставлений.

Результаты исследований

Построение зависимости снегозапасов на начало снеготаяния от осадков холодного периода.

Основной источник формирования снегозапасов – твёрдые осадки холодного периода. Однако использовать данные только о суммах этих осадков для восстановления отсутствующих данных о снегозапасах нельзя, так как в течение холодного периода, особенно в последнее время, часто возникают оттепели, когда выпавшие осадки частично тают и учесть их уменьшение в это время довольно трудно. Кроме того, за холодный период снег заметно уплотняется и его плотность к началу снеготаяния становится больше, чем у свежевыпавшего снега. Для восстановления ряда снегозапасов в Нижнем Новгороде за многолетний период на начало снеготаяния была построена и использована следующая зависимость:

$$S = f(\sum X, T_0), \quad (1)$$

где S – величина снегозапасов на начало весеннего снеготаяния; X – значение осадков за холодный период года; T_0 – положительные температуры воздуха в этот период.

При построении зависимости (1) учитывалось изменение снегозапасов во время оттепелей за каждый год наблюдений. Для этого были

получены суточные данные температур воздуха за период залегания снега за каждый отдельный год, из этих данных выделены дни с положительными значениями температур, а затем посчитана сумма положительных суточных температур за весь холодный период. Также вычислена сумма осадков за холодный период каждого года. Полученные величины сумм осадков и положительных температур воздуха использованы для вычисления величины снегозапаса на начало весеннего снеготаяния следующим образом:

$$S = \sum X - k \sum T_0,$$

где $\sum X$ и $\sum T_0$ – соответственно суммы осадков и положительных температур воздуха за холодный период года; k – коэффициент стаивания – снег (в водном эквиваленте), который стаивает на каждый градус положительной температуры воздуха за одни сутки, мм/°С.

В простейших аппроксимациях коэффициент стаивания считается величиной постоянной. В настоящей работе использован коэффициент стаивания равный 5 мм/°С. В различных литературных источниках отмечается, что для районов с многоснежными зимами, примерно для территории к северу от 54–55° с.ш., коэффициент стаивания k равен в среднем именно этому значению [14, 15]. Приведём расчётное выражение:

$$S = 0,83 \sum X - 12,3, \quad (2)$$

где $\sum X$ – сумма осадков за холодный период с учётом коэффициента стаивания, мм.

С использованием зависимости (2) (рис. 2) были восстановлены отсутствующие данные и сформирован обобщённый ряд максимальных снегозапасов в г. Нижний Новгород за многолетний период (рис. 3) и определены его статистические

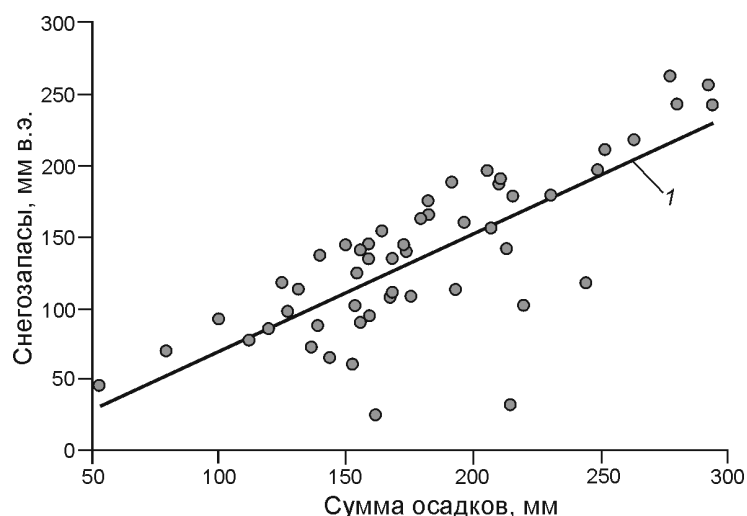


Рис. 2. Зависимость снегозапасов на начало снеготаяния от суммы общих осадков за холодный период года по данным за 1966–2019 гг. с учётом стаивания снега во время оттепелей по материалам метеостанции «Нижний Новгород» с указанием линии тренда (1)

Fig. 2. Dependence of snow reserves at the beginning of snow melting on the total precipitation for the cold period of the year according to data for the period 1966–2019 years, taking into account snow melting during thaws, according to the materials of the «Nizhny Novgorod» meteorological station, the trend line (1)

параметры. Аналогичный подход, т.е. учёт влияния положительной температуры воздуха во время оттепелей на уменьшение снегозапасов на территории Русской равнины, был использован при разработке более сложного алгоритма их расчёта [16].

Анализ однородности ряда снегозапасов в Нижнем Новгороде на начало снеготаяния. Для использования полученного ряда данных о временных изменениях снегозапасов в Нижнем Новгороде в статистических расчётах его необходимо проверить на однородность, т.е. отсутствие систематических различий между результатами наблюдений за разные промежутки времени на протяжении исследуемого периода наблюдений. Для оценки ряда на однородность,

как правило, используют критерий Стьюдента (t -критерий) о равенстве средних значений двух отрезков ряда и Фишера (F -критерий) о равенстве их дисперсий [18]. Для расчёта этих критериев обобщённый ряд снегозапасов разбивался на два: с 1966 по 1995 г. и с 1996 по 2019 г. Принимался 5%-й уровень значимости. Результаты расчётов критериев однородности ряда показывают, что по критерию Стьюдента (расчётное значение – 0,4, критическое – 2,0), как и по критерию Фишера (расчётное значение – 1,5, критическое – 1,9), расчётные значения меньше критических, поэтому ряд снегозапасов в Нижнем Новгороде – однородный как по выборочным средним, так и по дисперсиям.

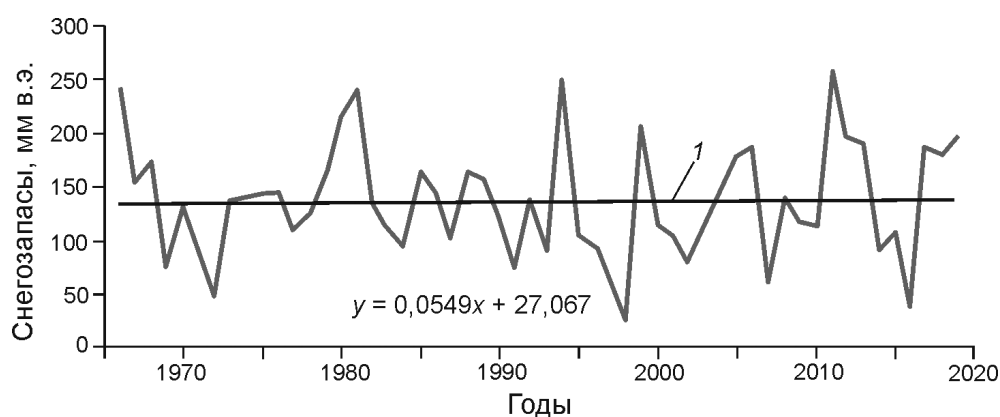


Рис. 3. Динамика снегозапасов на начало снеготаяния с учётом стаивания снега в период оттепелей холодного времени года в Нижнем Новгороде за период 1966–2019 гг. по данным метеостанции «Нижний Новгород» и расчётным данным с указанием линии тренда (1)

Fig. 3. Dynamics of snow reserves at the beginning of snow melting during thaws of the cold season in Nizhny Novgorod for the period 1966–2019 years according to the «Nizhny Novgorod» meteorological station and calculated data, indicating the trend line (1)

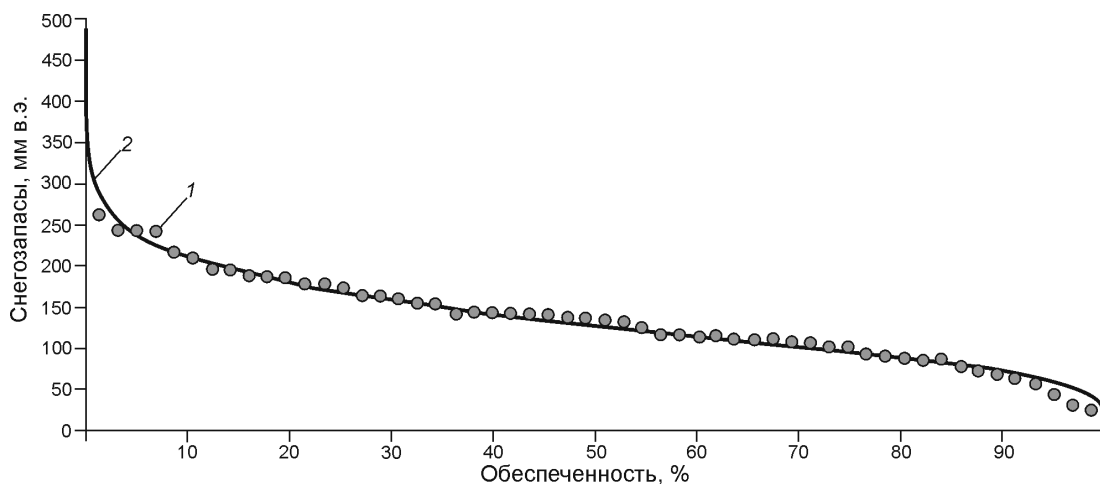


Рис. 4. Эмпирическая функция распределения вероятности снеготаяния на начало весеннего снеготаяния в Нижнем Новгороде (1) и её аппроксимация теоретическим распределением С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (2) (при коэффициенте асимметрии C_s равном коэффициенту вариации C_v)

Fig. 4. The empirical distribution function of the probability of snow storage at the beginning of spring snow melting in Nizhny Novgorod (1) and its approximation by the theoretical distribution S.N. Kritsky and M.F. Menckel (2) (with the asymmetry coefficient C_s equal to the coefficient of variation C_v)

Построение функции распределения вероятностей максимальных снеготаяний в Нижнем Новгороде. На рис. 4 приведена совмещённая эмпирическая функция распределения вероятностей ряда снеготаяний на начало весеннего снеготаяния в Нижнем Новгороде, аппроксимированная трёхпараметрическим гамма-распределением С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля. Использование аналитической кривой распределения позволяет сглаживать эмпирическое распределение, выделяя при этом наиболее закономерные черты рассматриваемой статистической совокупности и исключая случайные флуктуации эмпирических данных [17]. Для оценки соответствия эмпирической кривой распределения снеготаяний теоретической функцией распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля использовались критерии согласия Колмогорова–Смирнова [18]:

$$\Lambda = Dn^{1/2},$$

где Λ – расчётное значение критерия согласия Колмогорова; n – объём совокупности; D – критерий, выражающий наибольшее по абсолютной величине расхождение между эмпирической и теоретической функциями распределения и имеющий следующий вид:

$$D = \max |P^*(x) - P(x)|,$$

где $P^*(x)$ – эмпирическая функция распределения; $P(x)$ – теоретическая функция распределения.

Расчётное значение критерия согласия при уровне значимости 95% составляет 0,58, при критическом значении – 1,36. Поскольку расчётное значение меньше критического, следует признать, что эмпирические распределения снеготаяний соответствуют выбранной теоретической функции распределения вероятностей. Заметим, что среднее значение снеготаяний, равное 136 мм в.э., приходится на 50%-ю обеспеченность, т.е. распределение максимальных снеготаяний почти симметричное.

Пространственное распределение снеготаяний по территории Нижнего Новгорода. По итогам полевых измерений толщины и плотности снега и расчётов запасов воды в снеге на шести экспериментальных площадках, приуроченных к разным водосборам рек Нижнего Новгорода, и данным площадей водосборов шести рек города были рассчитаны величины снеготаяний на каждом типе ландшафта водосборов. Результаты приведены в табл. 2. Для выявления закономерностей изменения снеготаяний по территории Нижнего Новгорода использовался метод географических аналогий и сравнений. Применительно к данной задаче сущность метода заключалась в следующем. Имелись результаты расчёта снеготаяний по данным снегомерных измерений 2021 г. на открытых и залесённых территориях города. По многолетнему ряду ди-

Таблица 2. Распределение снеготазпасов для разных типов ландшафтов (числитель, мм в.э.) на водосборах рек в пределах Нижнего Новгорода с указанием их площадей для этих типов ландшафтов (знаменатель, площадь, км²) на начало снеготаяния в 2021 г.

Реки (в скобках дана общая площадь водосбора, км ²)	Типы ландшафта			
	залесённый	открытый	малоэтажная застройка	с высокой долей непроницаемых поверхностей
Рахма (23,6)	132/3,7	91/1,7	112/10	109/8,2
Левинка (7,5)	120/0,7	122/0,1	121/0,2	119/6,5
Черная (77,1)	120/50,3	122/3,9	121/16,8	119/6,1
Хальзовка (7,9)	120/0,7	122/0,03	121/3,9	119/3
Ржавка (18,2)	128/1,9	122/0,4	125/2,6	122/13,3
Борзовка (56,3)	128/14,6	122/1,6	125/13,2	122/26,9

намики снеготазпасов на начало весеннего снеготаяния для всего города были определены годы с максимальным (262 мм в.э. – 2011 г.), минимальным (26 мм в.э. – 1998 г.), близкому к среднему по снежности значению (136 мм в.э.) году (137 мм в.э. – 1973 г.).

Для водосборов шести рек и отдельных типов городских ландшафтов, указанных в табл. 2, рассчитаны снеготазпасы за разные по снежности годы, исходя из следующих допущений. Для водосбора каждой реки и каждого типа ландшафта в него входящего (см. табл. 2) по измеренным данным снеготазпасов этого года были получены переводные коэффициенты, которые представляли собой отношение среднего по всему городу снеготазпаса в 2021 г. (120 мм в.э.) к значению измеренного снеготазпаса на конкретном типе ландшафта и конкретном водосборе. Таким образом были получены подобные отношения для всех типов ландшафта на каждом водосборе для 2021 г. Данная процедура необходима, чтобы дальше можно было установить распределение снеготазпасов по территории города для других лет ряда данных, для которых распределение снеготазпасов по типам ландшафта неизвестны, а известно только их одно значение для всей территории.

Используя полученные на основе 2021 г. отношения для каждого типа ландшафта во всех водосборах, мы оценили распределение снеготазпасов по территории для нужных нам лет: с максимальными, минимальными и близкими к среднему величинами снеготазпасов – 2011, 1998 и 1973 г. соответственно. При этом для территорий с малоэтажной застройкой снеготазпас рассчитывался как полусумма между открытыми и залесёнными участками. Для территорий с вы-

сокой долей непроницаемых поверхностей принималось, что часть снега вывозится с территории города на полигоны за городом. На сайте мэрии Нижнего Новгорода приведена следующая информация об объёмах снега, вывозимого с исследуемых водосборов: к концу марта 2019 г. из города вывезено 1 млн 230 тыс., за всю зиму 2018 г. было убрано 1 млн 50 тыс., в 2016 г. – 550 тыс., а в 2015 г. – 500 тыс. м³ снега [19]. Исходя из этих данных, был рассчитан объём снега, вывозимого с исследуемых водосборов. Предполагалось, что снег вывозится только с территории города с высокоэтажной застройкой (территории с высокой долей непроницаемых поверхностей) равномерно по районам. Доля снега, убираемого с территории города, в среднем по шести исследуемым водосборам составила 2% общего снеготазпаса на начало снеготаяния, рассчитанного ранее для каждого из рассматриваемых лет. Для расчётов принят коэффициент уборки $K_y = 0,02$, следовательно, оставшаяся часть снега (98% снеготазпасов, рассчитанных для территорий с малоэтажной застройкой) остаётся на данной территории и участвует в снеготаянии и формировании стока. Результаты расчётов приведены в табл. 3.

На основе данных табл. 3 рассчитаны запасы воды, аккумулированные в снеге на разных видах ландшафтов во всём городе за рассматриваемые годы. Из полученных данных следует, что наибольшие снеготазпасы во все эти годы формируются на залесённых участках и территориях с высокой долей непроницаемых поверхностей, которые занимают в городе наибольшие площади. Эти данные могут служить основой при планировании мероприятий по благоустройству города и уборке снега в зимний

Таблица 3. Расчётное распределение снеготаяния на начало весеннего снеготаяния для разных типов ландшафта территории водосборов малых рек Нижнего Новгорода в год проведения снегомерных съёмок (а – 2021 г.), в годы с максимальным количеством снега (б – 2011 г.), минимальным (в – 1998) и близким к среднему по снежности (г – 1973 г.). Среднемноголетнее значение – 136 мм в.э.

Реки	Типы ландшафта															
	залесённый				открытый				малоэтажная застройка				с высокой долей непроницаемых поверхностей			
	а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г
Рахма	151	28	289	132	104	19	199	91	127	24	244	112	127	24	239	109
Левинка	137	26	263	120	139	26	267	122	138	26	265	121	138	26	260	119
Черная	137	26	263	120	139	26	267	122	138	26	265	121	138	26	260	119
Хальзовка	137	26	263	120	139	26	267	122	138	26	265	121	136	25	260	119
Ржавка	146	27	279	128	139	26	267	122	143	27	273	125	143	27	268	122
Борзовка	146	27	279	128	139	26	267	122	143	27	273	125	143	27	268	122

период с разных территорий при наличии долгосрочного прогноза объёма выпадения снега в конкретном году.

Обсуждение результатов

Один из важных результатов данного исследования – учёт влияния оттепелей в холодный период года при расчёте снеготаяния на начало снеготаяния. Это позволило получить несколько более точную зависимость $S = f(X)$ и использовать её для заполнения пропусков ряда снеготаяния на начало весеннего снеготаяния в Нижнем Новгороде за многолетний период, а также определить его статистические характеристики и функцию распределения вероятностей. Анализ данных этого ряда показал, что его тренд незначим, и позволил выявить годы и значения наблюдаемых экстремальных (максимальных и минимальных) значений снеготаяния на начало весеннего снеготаяния. Анализ их эмпирической функции распределения и её аппроксимация распределением С.Е. Крицкого и М.Ф. Менкеля показывают, что наблюдаемые в 2011 г. снеготаяния характеризовались обеспеченностью в 1%, т.е. подобные величины наблюдаются раз в 100 лет. Полученную теоретическую функцию распределения вероятностей необходимо учитывать при планировании новых и реконструкции уже существующих систем ливневой канализации для предотвращения затопления значительных территорий города.

Применение метода географического анализа и сопоставлений позволило распределить

средние снеготаяния на начало весеннего снеготаяния, рассчитанные для всего города, по водосборам шести рек и типам составляющих их территории ландшафтов за разные по экстремальности годы. Исходные данные для такого анализа – материалы непосредственных полевых снегомерных съёмок, выполненных в разных местах города на открытых и залесённых участках. Во все годы наибольшие снеготаяния на начало весеннего снеготаяния характерны для бассейна р. Черная, так как она имеет наибольшую площадь водосбора и залесённость, наименьшие – для рек Левинка и Хальзовка. Бассейны шести исследуемых рек значительно отличаются по ландшафтной структуре. Наиболее урбанизированные – бассейны рек Левинка, где высотная застройка занимает 87% водосбора, и Ржавка (73,5%). Эти бассейны вносят не самый большой вклад в суммарный объём максимальных снеготаяний г. Нижний Новгород, однако они наиболее интересны как самые загрязнённые территории. Кроме того, полученная карта ландшафтов в сочетании с характерным распределением снеготаяний может использоваться для оценок воздействия конкретного района города или предприятия.

Выводы

1. Зависимость между суммой осадков, выпавших за холодный период года, и максимальными снеготаяниями, сформировавшимися на территории всего Нижнего Новгорода, построенная с учётом изменения снеготаяний во время

оттепелей с помощью использования сумм температур воздуха за этот период, рассчитанных за каждый год наблюдений, позволила восстановить пропущенные значения в ряду снегозапасов. Проверка периодов с 1966 по 1995 г. и с 1996 по 2019 г. с помощью критериев Стьюдента и Фишера подтвердила однородность рассматриваемых периодов.

2. На основе анализа полученного непрерывного ряда максимальных снегозапасов определены разные по снежности годы: 2011 г. характеризовался максимальными снегозапасами за анализируемый период, 1998 г. — минимальными, а 1973 г. был близок к средней величине снегозапасов. Эмпирическая функция распределения ряда удовлетворительно описывается кривой распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля при $C_s = C_v$.

3. Полевые снегомерные съёмки, выполненные на начало весеннего снеготаяния 2021 г. для шести площадок, расположенных в разных частях города, три из которых находились на открытых территориях, а ещё три — на залесённых (парки, сады), показали, что наибольшие снегозапасы характерны для залесённых территорий. Максимальное значение соответствует 132 мм в.э. на лесной площадке Щелковский хутор, а минимальное — на поле рядом с д. Утечино — 91,1 мм в.э., что соответствует классическому представлению о распределении снега в естественных ландшафтах

за счёт метелевого переноса. Для городских ландшафтов характерно более равномерное распределение между «лесными» и «полевыми» ландшафтами — около 120 мм в.э.

4. С использованием данных о распределении снегозапасов по бассейнам и расположенным на них ландшафтам основных малых рек города рассчитаны снегозапасы за разные по снежности годы, включая экстремальные, для всего Нижнего Новгорода.

Все перечисленные данные могут быть положены в основу планирования мероприятий по благоустройству города в зимний период в зависимости от долгосрочного прогноза объёма выпадения снега в конкретном году, а также как основание для расчётов стока диффузного загрязнения с территории города.

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50082 Микромир «Диффузный перенос микрочастицами загрязняющих веществ с территории крупного города в водные объекты бассейна Волги (на примере Нижнего Новгорода)».

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the implementation and with the support of the RFBR grant № 19-05-50082 Mikromir «Diffuse transfer of pollutants by microparticles from the territory of a large city to the water bodies of the Volga basin (by the example of Nizhny Novgorod)».

Литература

1. Bengtsson L., Westerström G. Urban snowmelt and runoff in northern Sweden // *Hydrological Sciences Journal*. 1992. V. 37. № 3. P. 263–275.
2. Oberts G.L., Marsalek J., Viklander M. Review of water quality impacts of winter operation of urban drainage // *Water Quality Research Journal*. 2000. V. 35. № 4. P. 781–808.
3. Farrell A.C., Scheckenberger R.B., Guther R.T. A Case in support of continuous modelling for stormwater management system design // *Journ. of Water Management Modeling*. 2001. V. 7. P. 113–130.
4. Matheussen B.V., Thorolfsson S.T. Simulation errors due to insufficient Ojitetujen soiden kestävä käyttö and temporal resolution in urban snowmelt models // *Proc. 8th Intern. Conf. Urban Storm Drainage*. Sydney, Australia, 2008. P. 1–8.
5. Semádeni-Davies A.F. Representation of snow in urban drainage models // *Journ. of Hydrologic Engineering*. 2000. V. 5. № 4. P. 363–370.

References

1. Bengtsson L., Westerström G. Urban snowmelt and runoff in northern Sweden. *Hydrological Sciences Journal*. 1992, 37 (3): 263–275.
2. Oberts G.L., Marsalek J., Viklander M. Review of water quality impacts of winter operation of urban drainage. *Water Quality Research Journal*. 2000, 35 (4): 781–808.
3. Farrell A.C., Scheckenberger R.B., Guther R.T. A Case In Support Of Continuous Modelling For Stormwater Management System Design. *Journ. of Water Management Modeling*. 2001, 7: 113–130.
4. Matheussen B.V., Thorolfsson S.T. Simulation errors due to insufficient Ojitetujen soiden kestävä käyttö t temporal resolution in urban snowmelt models. *Proc. 8th Intern. Conf. Urban Storm Drainage*. Sydney, Australia, 2008: 1–8.
5. Semádeni-Davies A.F. Representation of snow in urban drainage models. *Journ. of Hydrologic Engineering*. 2000, 5 (4): 363–370.
6. Ho Ing., Lee Carrie. Urban Snow Hydrology and Modelling. *Geomatics Engineering*. 2002: 162 p.

6. Ho Ing., Lee Carrie. Urban Snow Hydrology and Modelling // Geomatics Engineering. 2002. 162 p.
7. Sarkkola S., Päivänen J. Hydrologia—suon synnyn ja kehityksen ohjaaja // Ojitettujen soiden kestävä käyttö. Helsinki, 2020. Suo. 71. № 2. S. 125–139.
8. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall // Science of the Total Environment. 2006. V. 362. № 1–3. P. 143–156.
9. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод европейской части России: Формирование, распределение, использование / Ред. Р.Г. Джамалова, Н.Л. Фролова. М.: ГЕОС, 2015. 320 с.
10. Ясинский С.В., Какутина Е.А. Влияние региональных колебаний климата и хозяйственной деятельности на изменение гидрологического режима водосборов и стока малых рек // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 3. С. 269–291.
11. Баянов Н.Г., Кочеткова М.Ю. Состояние малых рек заречной части г. Горького по наблюдениям 1934–1935 г. // Малые реки города. Проблемы и перспективы развития. Материалы 15 Междунар. форума «Великие реки – 2013». Нижний Новгород, 2014. С. 5–18.
12. Гелашивили Д.Б., Охачкин А.Г., Доронина А.И., Колкутин В.И., Иванов Е.Ф. Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. 414 с.
13. Электронный ресурс: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>.
14. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.
15. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Михайлюкова П.Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды // Лёд и Снег. 2019. Т. 59. № 4. С. 494–508.
16. Сидорова М.В. Методика расчета стока половодья по данным климатических моделей // Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях XXI века. М.: Макс-Пресс, 2008. С. 218–230.
17. Акименко Т.А., Евстигнеев В.М. Реакция стока рек Верхне – Волжского бассейна на изменение климата в последней четверти XX века // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2002. № 5. С. 50–55.
18. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.
19. Электронный ресурс: <https://admgor.nnov.ru/news/695>.
7. Sarkkola S., Päivänen J. Hydrologia—suon synnyn ja kehityksen ohjaaja. Ojitettujen soiden kestävä käyttö. Helsinki. 2020, 71 (2): 125–139.
8. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall. Science of the Total Environment. 2006, 362 (1–3): 143–156.
9. Sovremennyye resursy podzemnykh i poverkhnostnykh vod yevropeyskoy chasti Rossii: Formirovaniye, raspredeleniye, ispol'zovaniye. Modern resources of ground and surface waters of the European part of Russia: Formation, distribution, use. Ed. R.G. Dzhamalova, N.L. Frolova. Moscow: GEOS, 2015: 320 p. [In Russian].
10. Yasinsky S.V., Kashutina E.A. Influence of regional climate fluctuations and economic activities on changes in the hydrological regime of catchments and runoff of small rivers. Vodnyye resursy. Water resources. 2012, 39 (3): 269–291. [In Russian].
11. Bayanov N.G., Kochetkova M.Yu. The state of small rivers in the trans-riverine part of the city of Gorky according to observations in 1934–1935. Malyye reki goroda. Problemy i perspektivy razvitiya. Materialy 15 Mezhdunarodnogo foruma «Velikiye reki – 2013». Small rivers of the city. Problems and development prospects. Materials of the 15th Intern. Forum «Great Rivers – 2013». Nizhny Novgorod, 2014: 5–18. [In Russian].
12. Gelashvili D.B., Okhapkin A.G., Doronina A.I., Kolkutin V.I., Ivanov E.F. Ekologicheskoye sostoyaniye vodnykh ob'yektov Nizhnego Novgoroda. Ekologicheskoye sostoyaniye vodnykh ob'yektov Nizhnego Novgoroda. Ecological state of water bodies in Nizhny Novgorod Nizhny Novgorod: Publishing house of NNSU, 2005: 414 p. [In Russian].
13. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>.
14. Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov. Hydrological Forecasting Course. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974: 419 p. [In Russian].
15. Pyankov S.V., Shikhov A.N., Mikhaylyukova P.G. Simulation of snow accumulation and snow melting in the river basin Kama with the use of data from global weather forecast models. Led i Sneg. Ice and Snow. 2019, 59 (4): 494–508. [In Russian].
16. Sidorova M.V. Methodology for calculating flood runoff according to climatic models. Prognoz klimaticheskoy resursoobespechennosti Vostochno – yevropeyskoy ravniny v usloviyakh XXI veka. Forecast of the climatic resource availability of the East European Plain in the conditions of the 21st century. Moscow: Max-Press, 2008: 218–230. [In Russian].
17. Akimenko T.A., Evstigneev V.M. The reaction of river runoff in the Upper Volga basin to climate change in the last quarter of the twentieth century. Vestnik MGU. Ser. 5. Geografia. Vestnik of the Moscow State University. Ser. 5. Geography. 2002, 5: 50–55. [In Russian].
18. Rozhdestvensky A.V., Chebotarev A.I. Statisticheskiye metody v gidrologii. Statistical methods in hydrology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974: 422 p. [In Russian].
19. <https://admgor.nnov.ru/news/695>.