

## О РАСЧЕТАХ ПОТЕРЬ НА ИСПАРЕНИЕ В ПЕРИОД СНЕГОТАЯНИЯ

*А. А. Шайдулина, Р. А. Кетов<sup>1</sup> В. Г. Калинин*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация, e-mail: adelinash89@mail.ru, romaketov@mail.ru, vgkalinin@gmail.com*

На основе данных о скорости ветра и дефиците влажности воздуха рассчитаны потери на испарение в период снеготаяния на речных водосборах крупных притоков Камского водохранилища в весенний период 2020 г. и выявлена их пространственно-временная динамика. Установлено, что величина потерь связана с широтной и высотной зональностью и расчлененностью рельефа. Водосборы южной части территории теряют на испарение в среднем 22% объема накопленной снежной массы, а водосборы северной части территории – 5%.

*Ключевые слова:* испарение; снеготаяние; ГИС-технологии.

## ABOUT CALCULATIONS OF EVAPORATION LOSS DURING SNOW MELTING PERIOD

*A. A. Shaydulina, R. A. Ketov, V. G. Kalini*

*Perm State University,  
Perm, Russia, e-mail: adelinash89@mail.ru, romaketov@mail.ru,  
vgkalinin@gmail.com*

Based on data of wind speed and air humidity deficit, evaporative losses during the snowmelt period on the river catchment areas of large tributaries of the Kama reservoir in spring 2020 were calculated and their spatial-temporal dynamics were revealed. It has been established that the magnitude of evaporation is related to the latitudinal and altitudinal zonality and dissection of the relief. The watersheds of the southern part of the territory lose an average of 22% of the volume of accumulated snow mass to evaporation, and the watersheds of the northern part of the territory lose 5%.

*Keywords:* evaporation; snow melting; GIS-technologies.

Суммарная годовая величина испарения в районах избыточного увлажнения ограничивается ресурсами тепла, а в аридных зонах – недостатком влаги. Это обуславливает сравнительно малую пространственную изменчивость суммарного испарения. Большинство внутренних водных объектов РФ расположено в зонах умеренного или континентального климата с длительным (6 месяцев и более) периодом отрицательной температуры воздуха. В этот период формируется снежный покров, таяние которого весной определяет интенсивность половодья и уровень воды в водотоках и водоемах. Поэтому знания об испарении с поверхности снега явля-

ются важной составляющей прогноза речного стока и эксплуатации множества гидротехнических сооружений. На основе этих данных можно эффективно рассчитывать объемы водной массы, поступающей в русловую сеть в период весеннего половодья, с учетом потерь на испарение.

Испарение можно рассчитывать для водной поверхности, а также для водосбора в целом, используя при этом прямые (сами наблюдения) и косвенные (расчетные) методы. Они нашли отражение в работах М.И. Будыко [1], А.Р. Константинова [2], П.П. Кузьмина [3, 4], Ю.М. Нестеренко [5], А.Н. Постникова [6] и др.

На метеостанциях Пермского края не проводится прямого наблюдения за испарением с поверхности суши, поэтому для его оценки специалисты Пермского ЦГМС используют номограммы А.Р. Константинова [2].

Целью данной работы является оценка величины испарения в период весеннего снеготаяния для водосбора Камского водохранилища.

С помощью ГИС-технологий реализован расчет испарения по формуле П.П. Кузьмина [3]. Она позволяет вычислить величину испарения на каждый день, используя данные о скорости ветра и дефиците влажности воздуха:

$$E = (0,24 + 0,05u_{10})d$$

где  $u_{10}$  – скорость ветра на высоте 10 м, м/с,  $d$  – дефицит влажности воздуха, гПа.

Для определения потерь на испарение была разработана модель «M\_Ispor\_2», на базе ModelBuilder, в геоинформационной системе ArcGIS [8]. По модели рассчитывается суточная величина испарения в каждой ячейке растра (пространственное разрешение 3х3 км) в пределах водосбора Камского водохранилища (рис. 1). Расчеты выполнены на примере 2020 г., который был взят из-за особенностей климатических условий весны: аномально высокие температуры воздуха и интенсивное таяние снежного покрова в горной северо-западной части, которое пришлось на вторую декаду мая, привело к перекрытию исторических максимумов уровней воды на некоторых реках края.

Анализ рис. 1 показал, что наибольшие значения испарения с поверхности снега наблюдается в южной части водосбора Камского водохранилища, а наименьшие – в северо-восточной его части.

График хода вычисленных значений испарения и среднесуточной температуры воздуха за апрель 2020 г. представлен на рис. 2.

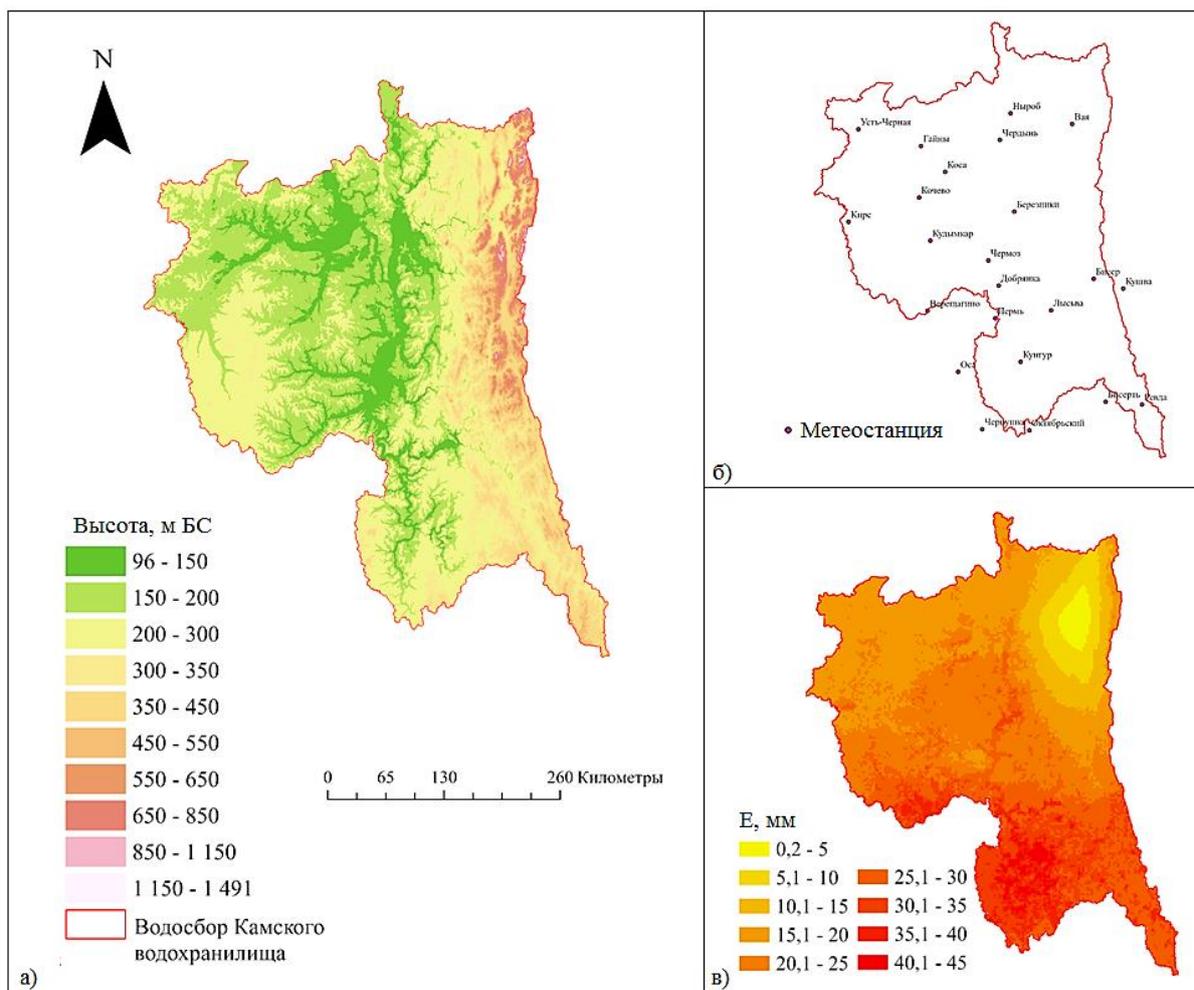


Рис. 1. Водосбор Камского водохранилища (а) с нанесенными метеорологическими станциями (б), и модельная карта суммарного испарения за апрель 2020 г. (в)

Как видно из рис. 2, ход величины испарения в целом соответствует ходу температуры воздуха за исключением периодов отрицательных температур. В эти периоды испарение минимально и реагирует на повышение температуры воздуха с неким запозданием. Максимальная величина испарения (1,57 мм) наблюдалась 10.04.2020. Увеличение температуры воздуха в последней пентаде апреля не привело к резкому увеличению испарения, поскольку снег уже практически растаял.

Для анализа потерь на испарение в период снеготаяния использовались данные о слоях стаивания снежного покрова [8] по водосборам крупных притоков. Так, для всего водосбора Камского водохранилища потери на испарение с поверхности снега в 2020 г. составили в среднем 11,6 % от всего объема стаявшей водной массы. Потери на испарение по водосборам крупных притоков до створов гидрологических постов (г/п) представлены в таблице.

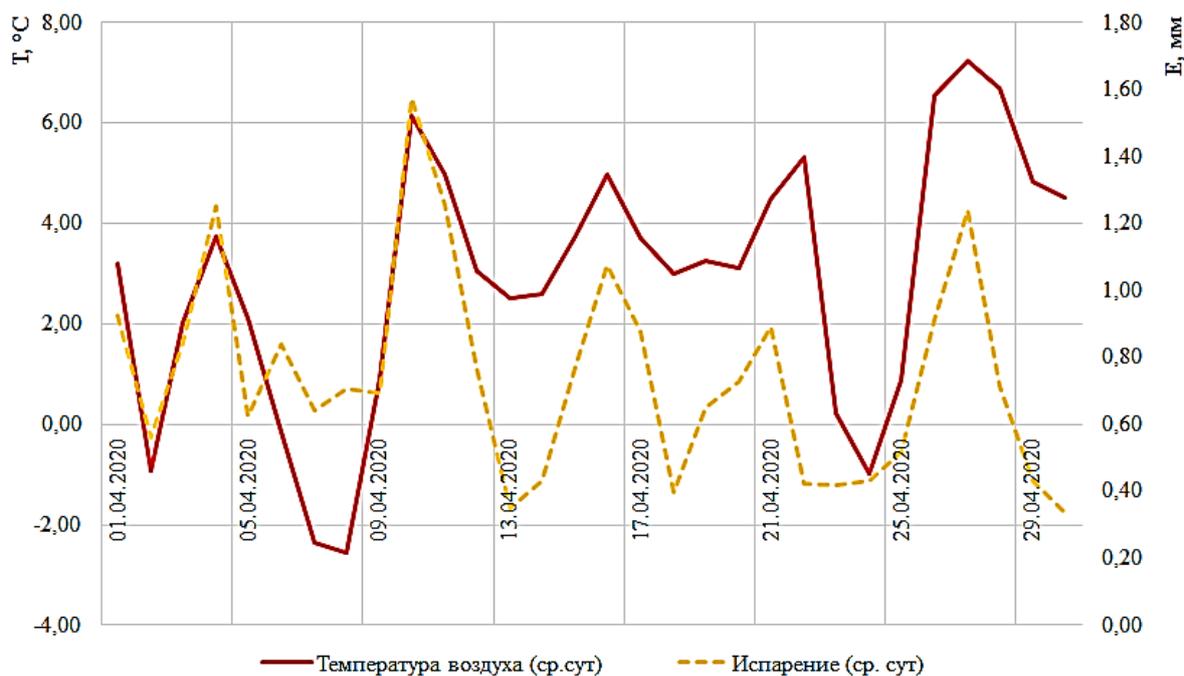


Рис. 2. График хода значений испарения и температуры воздуха за апрель 2020 г.

#### Величина потерь на испарение в период весеннего снеготаяния за 2020 г.

Водосбор	Объем стаявшей водной массы, км <sup>3</sup>	Потери на испарение, км <sup>3</sup>	Величина потерь на испарение от объема стаявшей водной массы, %
Кама-Бондюг	7,97	0,89	11,2
Чусовая-Лямино	4,60	0,57	12,5
Косьва-Перемское и Яйва-Усть-Игум	3,49	0,21	6,1
Сылва-Подкаменное	2,18	0,67	30,6
Вишера-Рябинино	9,04	0,38	4,2
Иньва-Слудка	1,07	0,31	29,0
Остаточная площадь до Камской ГЭС	3,96	0,68	17,1

Анализ таблицы показал, что водосборы северной части (г/п Вишера-Рябинино и Косьва-Перемское) теряют на испарение с поверхности снега в среднем 5 % всего объема стаявшего снега. Для водосбора г/п Кама-Бондюг величина потерь составила 11,2 %, что связано с меньшей высотой и расчлененностью рельефа по сравнению с северными горными водосборами.

Потери на испарение южных водосборов гораздо больше. Так, для г/п Сылва-Подкаменное и Иньва-Слудка (преимущественно равнинные территории, с большим количеством лугов и пашен) потери на испарение достигают до 30%. При этом на горном водосборе г/п Чусовая-Лямино они составляют 12,5 %.

#### **Выводы:**

1. Применение ГИС-технологий дает возможность выполнять расчеты потерь на испарение в период снеготаяния с учетом особенностей подстилающей поверхности (рельефа и растительного покрова) и пространственного распределения метеорологической информации.

2. Потери на испарение в период снеготаяния для водосбора Камского водохранилища за 2020 г. составили в среднем 11,6%. Водосборы северной горной части теряют на испарение с поверхности снега в среднем 5%, водосборы северной равнинной части – 11,2%. На южных горных водосборах потери составляют 12,5%, на равнинных – 30%.

#### **Библиографические ссылки**

1. Будыко М. И., Зубенок Л. И. Определение испарения с поверхности суши // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1961, № 6. С. 3–17.
2. Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 532 с.
3. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 348 с.
4. Кузьмин П.П. О расчетном и экспериментальном способах определения испарения с поверхности снежного покрова. // Материалы V закавказской научной конференции по изучению снежного покрова снежных лавин и ледников Кавказа Труды ЗАК НИГМИ Вып. 58 (64), Л.: Гидрометеиздат, 1974.
5. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: Экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург, 2006. 286 с.
6. Постников А.Н. Испарение с поверхности снежного покрова за период его залегания на территории России/ Постников А.Н. // Ученые записки РГГМУ, № 42, 2016. С. 55–63.
7. Шайдулина А.А., Калинин В.Г., Фасахов М.А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на речных водосборах верхней Камы // Географический вестник = Geographicalbulletin. 2022. No 1(60). С. 100–112.
8. [Электронный ресурс] Информация о версии для ArcGIS Pro 3.0 URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/3.0/get-started/release-notes.htm>.