

## ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ СНЕГОЗАПАСОВ И ВОДООТДАЧИ СЕВЕРНОГО КРАЯ РОССИИ

Хаустов В.А.<sup>1</sup>, Ромашова К.В.<sup>2</sup>, Хренов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, vhaustov@rshu.ru, ruellighting@yandex.ru

<sup>2</sup> – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия, Romashova.kv@hotmail.com

**Аннотация.** Рассматривается модель формирования снегозапасов, параметризуемая по данным маршрутных снегосъемок, характеристикам снежного покрова, температуре воздуха и осадкам. Дается оценка прогностических свойств модели, достоверности расчетов. Анализируются изменения температуры, осадков и водоотдачи из снега за многолетний период.

Ключевые слова: основные метеорологические параметры, снегозапасы, водоотдача из снежного покрова, моделирование, прогноз

Роль снегозапасов и интенсивности водоотдачи из снежного покрова в формировании максимального речного стока рек Северного края России является определяющей, поэтому моделирование процесса их формирования и прогноз являются актуальными для многих отраслей водного хозяйства [1]. Продолжительность разделения осадков на жидкую и твердую фазу, интенсивность водоотдачи из снега регулируется температурой воздуха. Как следствие, решение комплекса вопросов, связанных с оценкой основных факторов приводящих к перераспределению внутригодового речного стока вызванного климатическими изменениями, несомненно, представляет научный и практический интерес.

В публикации [2] сделан анализ основных направлений в области изучения снежного покрова. В докладе для оценки основных факторов формирования речного стока и в целом оценки последствий гидроклиматических изменений для экономики и общества в работе повторно рассматриваются следующие характеристики снежного покрова применительно к Северному краю: продолжительность залегания, максимальное снегонакопление, динамика общих запасов воды в снеге и водоотдача. Целью настоящего исследования является разработка методов расчета и прогноза водоотдачи из снежного покрова, основанного на двух метеорологических параметрах – температуре и осадках, как наиболее доступных в метеопрогнозах и климатических сценариях. Моделирование водоотдачи из снежного покрова имеет большое значение для решения прогностических задач речного стока в период половодья, а также решения экономических проблем, связанных с влиянием изменения характеристик снежного покрова на сельское хозяйство, транспорт и строительство. Отдельно рассмотрен вопрос многолетних изменений исследуемых характеристик.

В работе использована база данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (мировой центр данных ГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») [3] включающая приземную температуру воздуха, осадки, общий запаса воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок и характеристики снежного покрова на метеостанциях. В работе рассмотрены 18 станций: Мурманск, Калевала, Мезень, Койнас, Реболы, Онега, Сура, Шенкурск, Сортавала, Петрозаводск, Каргополь, Котлас, Выборг, Великий Устюг, Хоседа-Хард, Печора, Троицко-Печорское, Белогорка.

Расчеты интегральных характеристик температуры и осадков выполнены за весь период наблюдений, а запасов воды в снеге и водоотдачи – за период с 1966 по 2017 гг.

Алгоритм моделирования снегозапасов основан на суммировании твердых осадков

за холодный период представлен в материалах конференции [2]. По специально разработанной методике определялись даты устойчивого перехода температуры через 0 °С. Начиная с даты устойчивого перехода температур к отрицательным значениям выполнялось суммирование твердых осадков (снега,  $X$ ) с коэффициентом потерь ( $kf$ ), который, к примеру, учитывает испарение [4]. В период оттепелей потери снегозапасов рассчитывалась произведением температурного коэффициента ( $kt$ ) на положительные температуры ( $t^+$ ).

Формула для расчета снегозапасов на каждый ( $i$ -ый) день:

$$S_i = \sum_{i=1}^m kf \cdot X_i - kt \cdot t_i^+ \quad (1)$$

Параметры модели (1)  $kf$  и  $kt$  определялись решением обратной задачи по известным запасам воды в снежном покрове (по данным снегомерных наблюдений), температуре и осадкам. Оптимизация параметров выполнялась с помощью процедуры «поиск решения» MS Excel и решения системы линейных уравнений с переопределенной матрицей (ПСЛУ). Поскольку модель формирования снегозапасов является линейным уравнением, в работе для каждого зимнего периода решалась система с числом уравнений (1) равным числу измеренных запасов воды в снеге. В настоящей работе дополнительными данными являлись начало и окончание залегания снега на метеостанции, что привело к существенному уточнению результатов.

Интегральными характеристиками (см. [5]) метеорологических параметров являлись: 1) сумма ежедневных температур за многолетний период и отклонения сумм от тренда, соединяющего начальное и конечное значение суммы выбранного периода; 2) сумма температур холодного и теплого периодов и сумма температур двух смежных периодов; 3) разностная интегральная кривая температуры воздуха; 4) продолжительности холодного и теплого периодов, а также общая продолжительность двух смежных периодов.

По 18-ти станциям Северного края России выявлена общая тенденция к повышению температуры воздуха и уменьшению холодного периода. Дана первичная оценка изменений сумм твердых осадков и водоотдачи из снега за 50-летний период.

Работа частично финансировалась грантом Министерства образования и науки РФ в рамках государственного контракта: «Чувствительность многолетнего речного стока и основных водозависимых отраслей экономики к изменениям климата» № 5.6293.2017/8.9.

### Литература

1. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Викторова Н.В., Хаустов В.А., Громова М.Н., Девятков В.С., Шевнина Е.В. Влияние изменения климата на многолетний слой сток весеннего половодья рек Арктической зоны России // Ученые записки РГГМУ, № 14, 2010. – С. 14–19.
2. Моделирование процесса формирования снегозапасов Российской части бассейна Северного Ледовитого океана // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». – СПб.: Аграф+, 2017. – 470-473 с.
3. Интернет ресурс [meteo.ru](http://meteo.ru)
4. Гайдукова Е.В., Шаночкин С.В., Москалюк М.А. Учет испарения при математическом моделировании речного стока // Ученые записки РГГМУ, № 52, 2018. – С. 79–87.
5. Винников С.Д., Викторова Н.В. Физика вод суши. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 430 с.

## **ASSESSMENT OF LONG-TERM CHANGES IN THE MAXIMUM SNOW RESERVES AND WATER YIELD OF THE NORTHERN REGION OF RUSSIA**

**Khaustov V.A.<sup>1</sup>, Romashova K.V.<sup>2</sup>, Khrenov A.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> - *Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, vhaustov@rshu.ru, ruellighting@yandex.ru*

<sup>2</sup> - *Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia, Romashova.kv@hotmail.com*

**Abstract.** The model of formation of snow reserves, parameterized according to route snow surveys, characteristics of snow cover, air temperature and precipitation is considered. The estimation of prognostic properties of the model, reliability of calculations is given. The changes in temperature, precipitation and water yield from snow over a long period of time are analyzed.