

Научная статья

УДК 630.2

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.04

Методические аспекты оценки запаса воды в снеге на основе данных со спутника Канопус-В

Виктор Михайлович Сидоренков¹*кандидат сельскохозяйственных наук***Даниил Олегович Астапов²****Юлия Сергеевна Ачиколова³****Юрий Юрьевич Алентьев⁴**

Аннотация. Рассмотрены методические подходы к оценке запаса воды в снеге на основе результатов лесотаксационного дешифрирования, полученных по данным съемки со спутника Канопус-В. Исследования базируются на результатах экспериментальных работ по снегосъемке на территории Истринского стационара Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), а также данных таксации 28 пробных площадей. Запасы воды в снеге определены на основе взаимосвязи данного показателя с полнотой, запасом, возрастом и количеством деревьев в насаждении. Результаты исследований имеют важное значение при расчете запасов воды в снеге с использованием спутниковой съемки в летний и зимний периоды для определения основных таксационных характеристик насаждений. По итогам проведенной работы выполнено зонирование территории изучаемого района по запасам воды в снеге в феврале–марте 2021 г.

Ключевые слова: запас воды в снеге, снегосъемка, спутниковая съемка, Канопус-В, лесные насаждения, лесотаксационное дешифрирование, таксационные показатели, запас, полнота, количество деревьев.

Для цитирования: Сидоренков В.М., Астапов Д.О., Ачиколова Ю.С., Алентьев Ю.Ю. Методические аспекты оценки запаса воды в снеге на основе данных со спутника Канопус-В. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 55–65. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.04.

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель директора (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), lesvp@yandex.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заведующий лабораторией лесной таксации и лесоустройства (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), astdann09@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ведущий инженер отдела лесоводства и лесоустройства (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), pipintook@yandex.ru

⁴ Институт географии РАН, инженер-исследователь лаборатории гидрологии (Москва, Российская Федерация), alentev49@mail.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.04

Methodological Aspects of Snow Water Supplies Assessment Based on Kanopus-V Satellite Imagery Data

Victor M. Sidorenkov¹

Candidate of Agricultural Sciences

Daniil O. Astapov²

Iulija S. Achikolova³

Yuri Yu. Alentiev⁴

Abstract. The article discusses methodological approaches to assessing water supplies in snow cover using forestry interpretation data of Kanopus-V satellite imagery. The study analyses materials of snow survey implemented on the territory of Istra research station of All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization (FBU VNIILM), along with forest inventory data of 28 sampling plots. Determination of snow water supplies was carried out concerning its relationships with forest density, standing volume and number of trees. The research results are crucial while estimating snow water supplies using summer and winter satellite imagery to determine the main forest characteristics. Based on the study results zoning study area according to water content in snow cover for the period of February-March 2021 was implemented.

Key words: snow water supply, snow survey, snow cover, satellite imagery, Kanopus-V, forest stands, imagery interpretation, forest characteristics, standing volume, forest density, number of trees.

For citation: Sidorenkov V., Astapov D., Achikolova I., Alentiev Yu. Methodological Aspects of Snow Water Supplies Assessment Based on Kanopus-V Satellite Imagery Data // Forestry information. 2023. № 2. P. 55–65. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.04.

¹ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Director (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), lesvn@yandex.ru

² Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Head of Laboratory for Forest Inventory and Management (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), astdann09@yandex.ru

³ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Lead Engineer of Department for Silviculture and Forest Management (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), pipintook@yandex.ru

⁴ Geography Institute RAS, Research Engineer of Laboratory for Hydrology (Moscow, Russian Federation), alentev49@mail.ru

Введение

Запас воды в снежном покрове имеет ключевое значение при формировании поверхностного и внутрипочвенного стока, режима рек. Накопление снега на поверхности почвы оказывает существенное влияние на различные элементы ландшафта, определяет устойчивость лесных экосистем к негативному воздействию ранних весенних засух.

В настоящее время имеются трудности в оценке накопления снега в различных лесных экосистемах, одной из причин которых является диспропорция распределения снежного покрова в пределах разных ландшафтных элементов растительности. По существующим методическим рекомендациям оценка запасов снега осуществляется на основе экспериментальных исследований путем прокладки маршрута с использованием некорректных методов фиксации растительности, без привязки к их точным характеристикам [1]. Полученные таким образом данные имеют значительную погрешность в оценке запасов снега и накопленной в нем воды. Следствием сокращения количества наземных обследований является сложность определения ежегодной динамики аккумуляции снега, отсутствие данных по различным системам мониторинга гидрологической ситуации. Возникающие проблемы можно решить при помощи внедрения и апробации новых геоинформационных технологий, в том числе лесотаксационного дешифрирования спутниковых снимков, позволяющего при незначительном объеме экспериментальных исследований получить данные по запасам снега и содержащейся в нем воды для больших территорий на основе связей этих показателей с полнотой, запасом, количеством деревьев, породным составом и возрастом насаждения.

Проведенные на базе Истринского стационара ФБУ ВНИИЛМ исследования позволили разработать методические основы определения запасов содержащейся в снеге воды, объединяя данные экспериментальных работ по изучению запасов снега и его плотности

с анализом спутниковой съемки с аппарата Канопус-В.

Дистанционные методы в мониторинге снежного покрова стали применять с конца 1960-х гг. с запуском первых метеорологических спутников. Совершенствование этих методов осуществлялось посредством определения запасов воды с помощью микроволновых радиометров и радиометрической диагностики. В данной области разработана значительная теоретическая база. Стремительное развитие упомянутых выше направлений началось с запуском в 1987 г. 7-канального микроволнового радиометра Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I), а также последующим вводом в эксплуатацию радиометров AMSR-Earth Observing System (AMSR-E) на американском спутнике Aqua (2002 г.) и Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) на японском спутнике ADEOS-II – Advanced Earth Observing Satellite (2002 г.).

Перечисленные технологии эффективны при мониторинге снежного покрова на глобальном уровне, однако на региональном уровне не позволяют достаточно точно определять запасы снега и объемы воды в нем из-за различий атмосферных условий и особенностей ландшафта (рельефа, растительности). Анализ ранее проведенных исследований показывает, что определение запасов воды в снеге с помощью пассивной микроволновой радиометрии во время оттепелей – довольно сложная задача: влажный снег может восприниматься как абсолютно черное тело [2], что приводит к существенным ошибкам оценки запасов воды. Учитывая эту особенность, проведены исследования возможности оценки накопления снежного покрова в зависимости от таксационных характеристик лесной растительности. По данной проблеме более чем за 100-летний период наблюдений собран значительный объем материалов, изучены вопросы накопления и переноса снега в зависимости от типов растительности [3–8].

Ранее проведенные исследования не позволяли сгруппировать все полученные данные в единую систему, провести оценку запасов

снега и объемов воды в нем на обширных территориях с учетом лесного покрова. Развитие методов лесотаксационного дешифрирования спутниковых снимков дает возможность в практическом плане объединить результаты работ по изучению зависимостей накопления снега от таксационных характеристик лесной растительности.

Цель исследования – рассмотреть методические аспекты оценки запаса воды в снеге на основе данных спутниковой съемки с аппарата Канопус-В.

Объекты и методы исследований

При проведении работ использовали утверждённые методы исследований [9–11]. Основной целью являлась разработка метода определения запасов воды в снеге по данным лесотаксационного дешифрирования снимков со спутника Канопус-В. Для достижения цели решали следующие задачи:

- ✓ проведение экспериментальных измерений в феврале–марте 2021 г. в разных лесных насаждениях и на открытых пространствах;
- ✓ получение таксационных характеристик лесных насаждений;
- ✓ разработка моделей определения таксационных характеристик насаждений по данным спутниковой съемки;
- ✓ зонирование исследуемой территории по запасам накопленной в снеге воды на основе данных лесотаксационного дешифрирования.

Перечисленные задачи исследований логически основаны на анализе данных ранее проведенных исследований в области оценки переноса снега, его плотности и накопления в зависимости от таксационных характеристик лесной растительности и рельефа. Сбор полевого материала проводился на территории Истринского стационара ФБУ ВНИИЛМ (Московская обл., городской округ Истра, деревня Жилкино). Снегосъемка осуществлялась на маршрутах,

проложенных в разных по породному составу, возрасту и полноте насаждениях, а также на открытых участках: по полянам, прогалинам, сельскохозяйственным землям без растительности (в общей сложности на 28 различных участках). Определение веса и плотности снега проводили снегомером весовым ВС-43 в соответствии с Наставлением по гидрологическим станциям и постам [1]. Таксационные характеристики насаждений определяли по методу реласкопических площадок [10]. Измерение высот осуществлялось лазерным высотомером у средних деревьев каждой породы; измерение диаметров деревьев – электронной мерной вилкой. Возраст деревьев определяли путем подсчета годичных слоев с помощью приростного бурава Пресслера. Для установления связей таксационных показателей со спектрально-отражательными характеристиками насаждения использовали данные 28 пробных площадей, заложенных в разнообразных насаждениях на территории Истринского и Рузского районов Московской обл. (рис. 1).

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием пакета Statistica 13.0. При анализе применяли материалы мультиспектральной съемки со спутника Канопус-В (табл. 1). По каждой пробной площади получены средние показатели спектрально-отражательных характеристик насаждений. На основе летних снимков установлены зависимости, которые позволили определить накопление воды в снеге по экспериментальным данным 2021 г.

Анализ экспериментальных данных спутниковой съемки показал связь относительной полноты, запаса, возраста, количества деревьев в насаждении со спектрально-отражательными характеристиками насаждений в видимой и инфракрасной области спектра (рис. 2–5). При установлении взаимосвязей использовали модели на основе множественной факторной регрессии.

Модель связи запаса насаждений с его спектрально-отражательными характеристиками в видимом и инфракрасном диапазонах можно описать формулой регрессии:

Карта закладки пробных площадей в Московской области



Рис. 1. Места закладки пробных площадей

Таблица 1. Данные спутниковой съемки, используемые при получении связи таксационных показателей насаждений с их спектрально-отражательными характеристиками

№	КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ	АППАРАТУРА	ДАТА СНИМКА	УРОВЕНЬ ОБРАБОТКИ	НАИМЕНОВАНИЕ СНИМКА
1	Канопус-В3	МСС	28.07.2018	2A1	fr_KV3_02700_02692_01_3NP2_08_T_S_080117_200420
2	Канопус-В4	МСС	25.08.2018	2A1	KV4_03126_03118_02_3NP2_08_T_S_130417_130320
3	Канопус-В5	МСС	04.06.2019	2A1	KV5_02427_02419_04_3NP2_08_T_S_180617_130320

$$M = 1407,13983872 - 33116,6904907 \times B1 + 221140,868584 \times B1^2 + 8895,47675546 \times B2 - 122769,038726 \times B2^2 + 3141,57289464 \times B3 - 17437,2065216 \times B3^2 - 845,261223141 \times B4 + 1013,01085737 \times B4^2,$$

где:

- B1 – синий спектральный канал;
- B2 – зеленый спектральный канал;
- B3 – красный спектральный канал;
- B4 – инфракрасный спектральный канал;
- M – запас насаждения, м³.

Модель характеризуется высоким коэффициентом корреляции между наблюдаемыми и прогнозными значениями (R = 0,87), а также высоким уровнем значимости (p = 0,001), что подтверждает перспективность ее использования для целей лесотаксационного дешифрирования снимков.

Показатель относительной полноты насаждения также имеет значительный уровень связи с его спектрально-отражательными характеристиками в видимом и ближнем

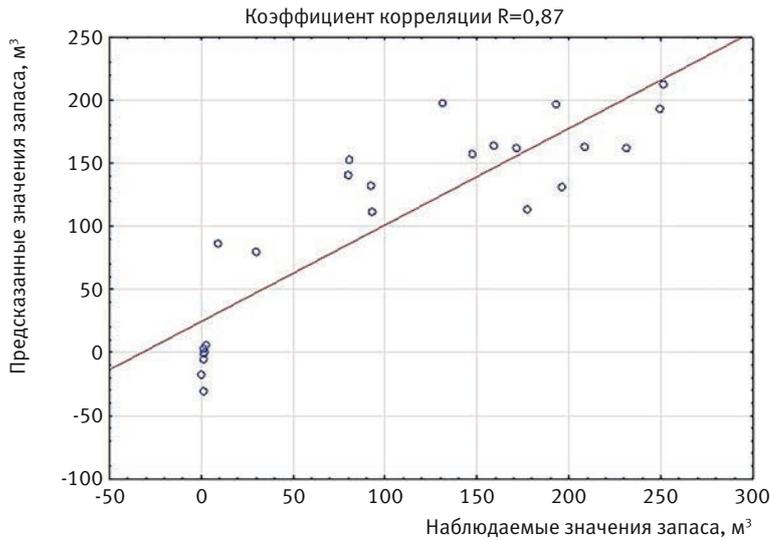


Рис. 2. Оценка эффективности модели определения запаса насаждений по спектрально-отражательным характеристикам лесных насаждений в видимой и инфракрасной области спектра

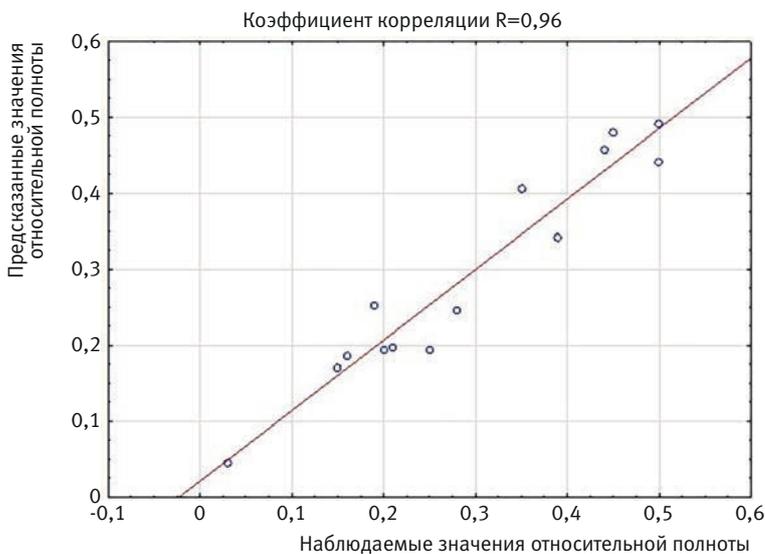


Рис. 3. Оценка эффективности модели определения относительной полноты насаждений по спектрально-отражательным характеристикам лесных насаждений в видимой и инфракрасной области спектра

инфракрасном диапазоне спектра. Модель характеризуется высоким коэффициентом корреляции ($R = 0,96$) и уровнем значимости ($p = 0,01$) (рис. 3). Связь относительной

полноты со спектрально-отражательными характеристиками насаждения можно описать формулой множественной регрессии:

$$P = 24,2580539866 - 1067,39160518 \times B1 + 6166,63553692 \times B1^2 + 567,856485516 \times B2 - 3913,04724888 \times B2^2 + 87,3815913667 \times B3 - 837,845255608 \times B3^2 - 6,94256817031 \times B4 + 10,3617757418 \times B4^2,$$

где:

- B1 – синий спектральный канал;
- B2 – зеленый спектральный канал;
- B3 – красный спектральный канал;
- B4 – инфракрасный спектральный канал;
- P – полнота насаждения.

Показатель относительной полноты насаждений является производным от количества деревьев. Результаты статистического анализа, как и следовало предполагать, показывают высокий уровень связи количества деревьев в насаждении со спектрально-отражательными характеристиками в ближнем и инфракрасном диапазонах. Коэффициент корреляции между наблюдаемыми и прогнозными значениями составляет $R = 0,93$, уровень значимости $p = 0,007$ (рис. 4). Модель можно описать формулой:

$$N = -297378,034974 + 12223836,4479 \times B1 - 71372276,016 \times B1^2 - 6087752,08443 \times B2 + 42753800,4067 \times B2^2 - 356586,365012 \times B3 + 2439049,15563 \times B3^2 + 67877,6669034 \times B4 - 101877,706003 \times B4^2,$$

где:

- B1 – синий спектральный канал;
- B2 – зеленый спектральный канал;
- B3 – красный спектральный канал;
- B4 – инфракрасный спектральный канал;
- N – количество деревьев в насаждении, шт.

Проведенные ранее исследования показывают, что в результате антропогенной деятельности или стихийных явлений на значительных территориях формируются одновозрастные насаждения, ход роста которых по ключевым

показателям (запас, полнота) характеризуется параболой. Учитывая высокий уровень связи этих показателей со спектрально-отражательными характеристиками формируемых одно-возрастных насаждений, появляется возможность по спектральным данным насаждений определить и их возраст. Исходя из специфики развития однопородных насаждений можно установить возраст по спектрально-отражательным характеристикам с коэффициентом корреляции $R = 0,91$ и высоким уровнем значимости $p = 0,004$ (рис. 5).

Связь возраста насаждений со спектрально-отражательными характеристиками можно описать уравнением:

$$A = 1354,52092515 - 89565,4512153 \times B1 + 500114,713305 \times B1^2 + 66523,1260706 \times B2 - 406565,037799 \times B2^2 + 279,789467536 \times B3 - 3420,12982985 \times B3^2 - 47,9116385322 \times B4 - 860,196845633 \times B5^2,$$

где:

- B1 – синий спектральный канал;
- B2 – зеленый спектральный канал;
- B3 – красный спектральный канал;
- B4 – инфракрасный спектральный канал;
- A – возраст деревьев, лет.

Проведенные исследования позволяют получить информацию о таксационных характеристиках насаждений по данным спутниковой съемки с Канопус-В в летний период. Определение связей таксационных показателей насаждения, полученных по результатам лесотаксационного дешифрирования, с данными запасов воды в снеге в зимний период дает возможность разработать карты зонирования территорий по запасам воды в снеге не только на основе данных зимней съемки, но и летней, если данные зимней съемки отсутствуют.

Результаты статистического анализа показывают возможность определения запасов воды в снеге по связи этого показателя с полнотой, возрастом, высотой насаждений (рис. 6). Коэффициент корреляции между наблюдаемыми и прогнозными значениями составляет $R =$

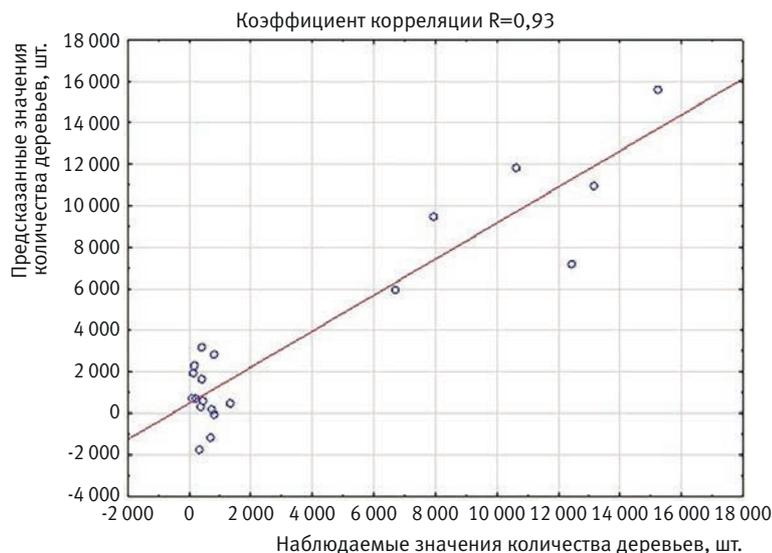


Рис. 4. Оценка эффективности модели определения количества деревьев в насаждении по спектрально-отражательным характеристикам лесных насаждений в видимой и инфракрасной области спектра

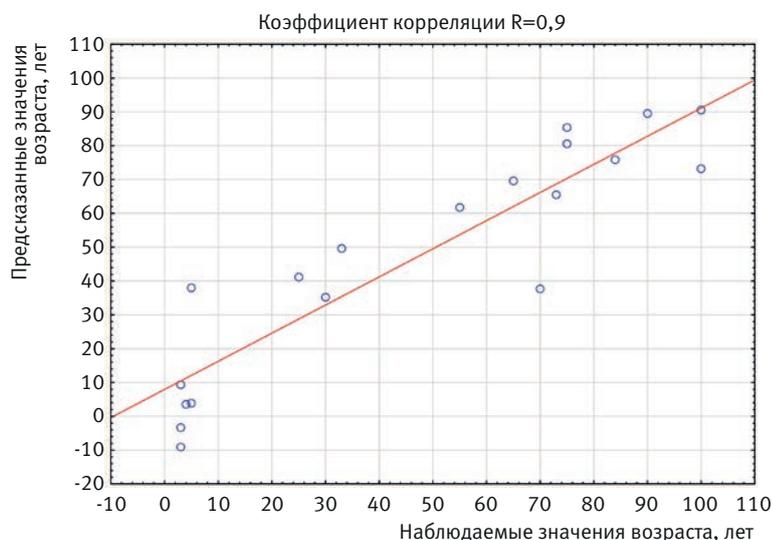


Рис. 5. Оценка эффективности модели определения возраста насаждения по спектрально-отражательным характеристикам лесных насаждений в видимой и инфракрасной области спектра

$0,83$, уровень значимости $p = 0,0001$. Модель определения запаса воды в снеге на основе связи этого показателя с таксационными характеристиками насаждения можно описать уравнением:

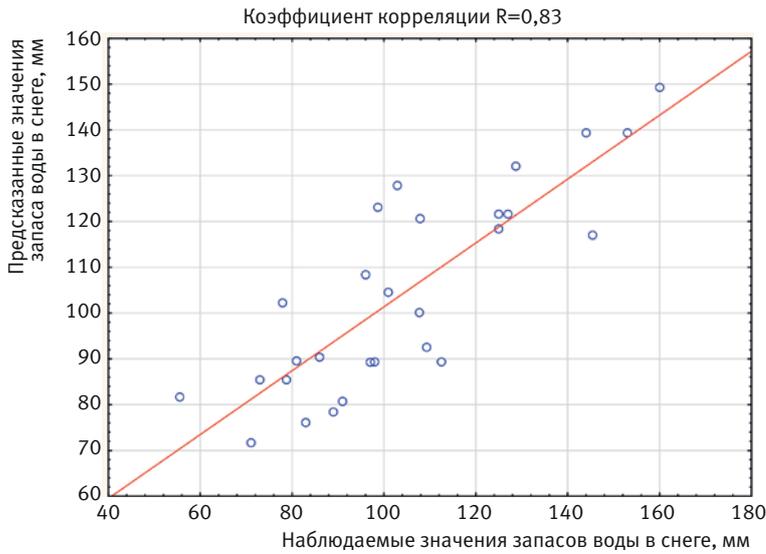


Рис. 6. Оценка эффективности модели определения запаса воды в снеге, мм, на основе данных таксации (полноты, возраста, высоты)

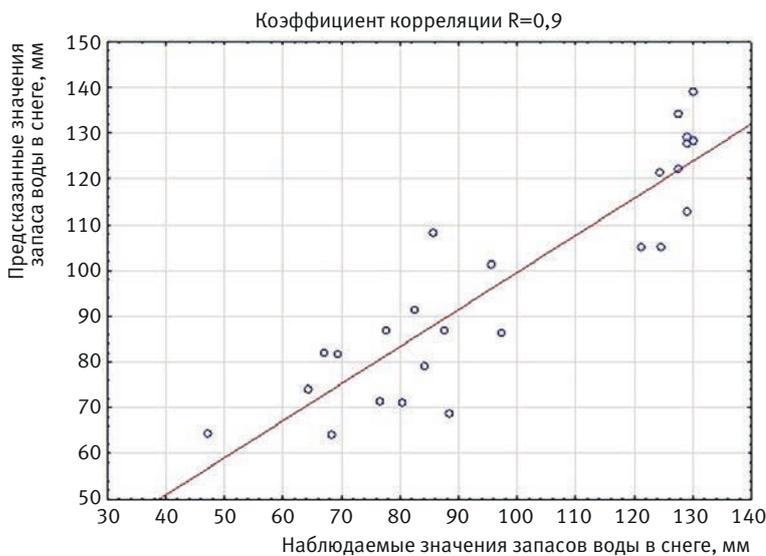


Рис. 7. Оценка эффективности модели определения запаса воды в снеге на основе спектрально-отражательных характеристик насаждений в видимой и инфракрасной области спектра

$$Z = 139,383120353 + 106,841179358 \times P - 80,0489647005 \times P^2 - 1,71371093151 \times A + 0,0076011046643 \times A^2 - 5,57330682021 \times H + 0,229480722034 \times H^2,$$

где:

- Z – запас воды в снеге, мм;
- P – полнота насаждения;
- A – возраст насаждения, лет;
- H – высота насаждения, м.

Полученная зависимость подтверждает, что по данным полноты, запаса и возраста насаждения можно прогнозировать запасы воды в снеге. Следовательно, определить запасы воды в снеге можно по спектрально-отражательным характеристикам насаждения. Проведенный статистический анализ показывает высокий уровень связи объема воды в снеге со спектрально-отражательными характеристиками насаждения – коэффициент корреляции $R = 0,9$, уровень значимости $p = 0,04$ (рис. 7).

Модель определения запаса воды в снеге на основе спектрально-отражательных характеристик насаждений можно описать уравнением:

$$\begin{aligned} Z = & -2360,951725 - 20483,9255605 \times B1 + 104174,789245 \times B2 - 124161,857069 \times B3 + \\ & 10457,5722989 \times B4 - 538503,803108 \times B1 \times B2 + 2687044,69202 \times B1 \times B3 - 1475587,73829 \times B2 \times B3 + \\ & 164359,874481 \times B1 \times B4 - 493926,015697 \times B2 \times B4 + 340069,518513 \times B3 \times B4 - \\ & 1943891,15768 \times B1 \times B2 \times B3 + 1977449,94296 \times B1 \times B2 \times B4 - \\ & 10966189,3666 \times B1 \times B3 \times B4 + 8504631,05473 \times B2 \times B3 \times B4, \end{aligned}$$

где:

- B1 – синий спектральный канал;
- B2 – зеленый спектральный канал;
- B3 – красный спектральный канал;
- B4 – инфракрасный спектральный канал;
- Z – запас воды в снеге, мм.

На основе модели связи запасов воды в снеге со спектрально-отражательными характеристиками насаждений, полученными по данным спутниковой съемки с Канопус-В, было выполнено зонирование района исследований (рис. 8 и 9).

По результатам работы можно сделать вывод, что большие запасы снега сосредоточены на открытых пространствах, представленных полями, прогалинами, полянами, несомкнутыми лесными насаждениями. Распределение запасов снега в сомкнутых насаждениях зависит от их полноты, породного состава и возраста.

Выводы

Результаты проведенных исследований показывают зависимость накопления и распределения снега от полноты, породного состава, возраста насаждения. Прогнозировать запасы воды в снеге на значительных территориях можно на основе взаимосвязей данного показателя с таксационными характеристиками насаждений. Учитывая высокую связь показателя по запасам воды в снеге с полнотой, породным составом и возрастом насаждений, а также связь этих показателей со значениями каналов в видимой и инфракрасной частях спектра, прогноз запасов воды в снеге можно получить по данным спутниковой съемки, осуществляемой в летний или зимний период.

Важной основой предложенного метода определения запасов воды в снеге являются экспериментальные данные, проведенные измерения высоты снежного покрова, веса и плотности снега в различных условиях – от лесных насаждений до открытых пространств, представленных полянами, прогалинами, сельскохозяйственными землями.

Исследование демонстрирует возможность создания карт зонирования значительных территорий по запасам воды в снеге на основе обработки данных спутниковой съемки. Результаты работы подтверждают данные о значительном накоплении снега на открытых пространствах, в несомкнутых насаждениях. Накопление снега и запасы содержащейся в нем воды в сомкнутых насаждениях в большей степени зависят от полноты, породного состава и возраста насаждений.



Рис. 8. Исходный снимок с Канопус-В для анализа (летний период) и получения таксационных характеристик насаждения

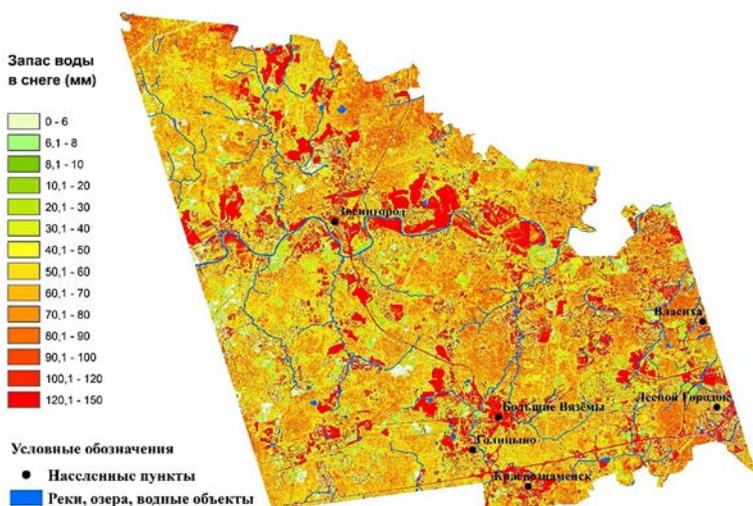


Рис. 9. Зонирование района исследований по запасам воды в снеге на основе модели связи данного показателя со спектрально-отражательными характеристиками насаждений, полученными по данным спутниковой съемки с Канопус-В

Список источников

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 3. – Ч. 1. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 296 с.
2. Носенко, О.А. Снежный покров центра Европейской части России по данным AMSR-E и SSM/I / О.А. Носенко, Н.А. Долгих, Г.А. Носенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – № 1. – С. 296–300.
3. Воейков, А.И. Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду и способы исследования: Записки императорского русского географического общества по общей географии / А.И. Воейков. – Т. 18. – Типография Императорской Академии наук, 1889. – Вып. 2. – 213 с.
4. Побединский, А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов / А.В. Побединский. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2013. – 208 с.
5. Рихтер, Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства / Г.Д. Рихтер. – Москва : изд-во Академии наук СССР, 1945. – 120 с.
6. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers / editors: Vijay P. Singh, Pratap Singh, Umesh K. Haritashya. – Springer Science+Business Media Dordrecht, 2011. – 672 p.
7. Gray, D.M. Densities of prairie snow packs / D.M. Gray, D.I. Norum, G.E. Dyck // West Snow Conf. Proc. – 1970.
8. Gray, D.M. Handbook of snow: principles, processes, management & use / D.M. Gray, D.H. Male. – Pergamon Press, 1981. – 776 с.
9. Методическое руководство по закладке таксационно-дешифровочных участков для целей камерального дешифрирования аэроснимков. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1974. – 32 с.
10. Об утверждении Лесоустроительной инструкции. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.03.2018 № 122.
11. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки / В.И. Сухих, Ю.А. Кукуев, А.Н. Шульгин, В.Д. Сенько. – Москва : ЦБНТИлесхоз, 1983.

References

1. Nastavlenie gidrometeorologicheskim stanciyam i postam. – Vyp. 3. – Ch. 1. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1985. – 296 s.
2. Nosenko, O.A. Snezhnyj pokrov centra Evropejskoj chasti Rossii po dannym AMSR-E i SSM/I / O.A. Nosenko, N.A. Dolgih, G.A. Nosenko // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2006. – T. 3. – № 1. – С. 296–300.
3. Voejkov, A.I. Snezhnyj pokrov, ego vliyanie na pochvu, klimat i pogodu i sposoby issledovaniya: Zapiski imperatorskogo russkogo geograficheskogo obshchestva po obshchej geografii / A.I. Voejkov. – T. 18. – Tipografiya Imperatorskoj Akademii nauk, 1889. – Vyp. 2. – 213 s.
4. Pobedinskij, A.V. Vodoohrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov / A.V. Pobedinskij. – Pushkino : VNIILM, 2013. – 208 s.
5. Rihter, G.D. Snezhnyj pokrov, ego formirovanie i svojstva / G.D. Rihter. – Moskva : izd-vo Akademii nauk SSSR, 1945. – 120 s.
6. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers / editors: Vijay P. Singh, Pratap Singh, Umesh K. Haritashya. – Springer Science+Business Media Dordrecht, 2011. – 672 p.
7. Gray, D.M. Densities of prairie snow packs / D.M. Gray, D.I. Norum, G.E. Dyck // West Snow Conf. Proc. – 1970.

8. Gray, D.M. Handbook of snow: principles, processes, management & use / D.M. Gray, D.H. Male. – Pergamon Press, 1981. – 776 s.
9. Metodicheskoe rukovodstvo po zakladke taksacionno-deshifrovochnyh uchastkov dlya celej kameral'nogo deshifirovaniya aerosnimkov. – Pushkino : VNIILM, 1974. – 32 s.
10. Ob utverzhdenii Lesoustroitel'noj instrukcii. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 29.03.2018 № 122.
11. OST 56-69–83 Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki / V.I. Suhih, Yu.A. Kukuev, A.N. Shul'gin, V.D. Sen'ko. – Moskva : CBNTIleskhoz, 1983.