

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СНЕГОТАЯНИЯ НА ВОДОСБОРАХ РЕК УРАЛЬСКОГО ПРИКАМЬЯ

Шихов А.Н.

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет

Интенсивность поступления воды на водосборы рек в период снеготаяния в значительной мере определяет объем стока, максимальные расходы и уровни весеннего половодья. В связи с этим, исследованию процессов снеготаяния уделяется большое внимание как в России, так и за рубежом. В последнее время, повышение достоверности моделирования снеготаяния возможно на базе применения геоинформационных технологий, цифровых моделей рельефа и карт типов подстилающей поверхности, составленных на основе космической съемки, а также данных оперативного спутникового мониторинга.

Цель данного исследования - оценка возможностей применения методов пространственного моделирования в ГИС, для анализа процессов снегонакопления, снеготаяния и поступления талых вод на водосборы рек Уральского Прикамья. Расчеты выполнены за период 2010-2012 гг.

Теоретической основой расчета интенсивности снеготаяния является уравнение теплового баланса снежного покрова [1]. В связи с отсутствием ряда исходных данных, необходимых для решения данного уравнения строгими методами, предложено несколько упрощенных подходов к расчету снеготаяния, основанных на эмпирических зависимостях.

При выборе метода расчета снеготаяния в данной работе учтены следующие факторы:

- Значительная залесенность исследуемой территории (более 65%);
- Ориентация на данные стандартной наблюдательной сети;
- Возможность использования метода для краткосрочного прогноза

Расчет интенсивности снеготаяния для открытых участков территории выполнен по формулам Е.Г. Попова. Формулы Е.Г. Попова позволяют определить радиационную и адвективную составляющие снеготаяния с шагом 0,5 суток, на основе данных о суточном ходе температуры воздуха и скорости ветра [3].

Для дневной части суток интенсивность снеготаяния вычисляется как:

$$H_d = k(T_{max} - T_{mean}) - 1,4(T_{mean} - T_{min}) + 0,65V_d(T_d - 0,5) \quad (1)$$

Для ночной части суток:

$$H_n = 0,65V_n(T_n - 0,5) - 1,4(T_{mean} - T_{min}) \quad (2)$$

Где H_d и H_n , T_d и T_n , V_d и V_n - соответственно интенсивность снеготаяния, температура воздуха и скорость ветра за дневные и ночные часы, T_{mean} , T_{max} и T_{min} - среднесуточная, максимальная и минимальная температура воздуха; k - коэффициент, зависящий от альбедо снежного покрова. Для залесенных участков интенсивность снеготаяния вычислялась по среднесуточной температуре воздуха.

Расчеты интенсивности снеготаяния и поступления талых вод на водосборы рек Пермского края выполнены на основе следующих исходных данных:

- Цифровая модель рельефа водосбора;
- Карта типов растительного покрова GlobCover-2009 [7];
- Максимальный запас воды в снежном покрове, рассчитанный по данным снегомерных съемок, или же по данным о суммах осадков холодного периода;
- Данные метеорологических наблюдений за температурой воздуха, осадками и ветром.

Серьезную проблему при подготовке исходных данных представляет восстановление полей гидрометеорологических элементов. Используемые в ГИС методы интерполяции (сплайн, ОВР, различные виды кригинга) обычно дают некорректные результаты. Для корректной интерполяции данных гидрометеорологических наблюдений необходимо учитывать их зависимости от характера подстилающей поверхности (высота, уклон, экспозиция макросклона, тип растительного покрова). Для этого нами использован подход, предложенный в работах В.А Шутова и С.Г. Яковченко [5,6].

Восстановление полей температуры воздуха выполняется по данным наземных измерений, радиозондирования атмосферы, и цифровой модели рельефа.

Восстановление поля снеготаяния может быть выполнено двумя способами:

- На основе данных снегомерных съемок;
- На основе данных об осадках холодного периода.

Интерполяция данных снегомерных съемок выполнялась отдельно для лесных и безлесных территорий. Интерполяции подвергались значения запаса воды в снежном покрове, приведенные к высоте 200 м по формуле

$$N_{200} = N + dN/dZ (Z - 200) \quad (3)$$

Где N_{200} – снеготаяние, приведенный к высоте 200 м, N – снеготаяние, по данным снегомерной съемки (средний), dN/dZ – вертикальный градиент снеготаяния, (в соответствии с рекомендацией, приведенной в Справочнике по Климату [4], принят равным 10%/100 м высоты), Z – высота, на которой расположена метеостанция или гидропост.

Затем в полученное поле вводится зависимость снеготаяния от высоты, а также поправки на характер подстилающей поверхности, уклон и экспозицию макросклонов. Мезомасштабная и микромасштабная изменчивость снеготаяния учитывается с помощью кривой распределения снеготаяния.

В случае отсутствия данных снегомерных съемок, существует возможность приближенного восстановления поля снеготаяния по данным об осадках холодного периода. При этом учитываются значительные различия в продолжительности периода снеготаяния между равнинными и горными участками исследуемой территории.

Запас воды в снежном покрове за период устойчивого снеготаяния, можно восстановить интерполяцией данных о накопленных осадках, с учетом высоты местности, уклона и экспозиции макросклонов, типа растительного покрова. Введение поправок на ветровой недоучет и испарение (рекомендованных в Справочнике по климату [4]), в условиях Пермского края, приводит к значительному завышению снеготаяния.

В период неустойчивого снеготаяния происходит увеличение снеготаяния в горах и на возвышенностях, а на равнинной территории – неоднократное установление и сход снежного покрова. В связи с этим, необходимо учитывать долю твердых и жидких осадков, и снеготаяние при оттепелях. Для определения фазы осадков использовано уравнение:

$$N = -0,179T_p - 0,0343T_{925} - 0,078T_{850} + 0,372121 \quad (4)$$

Где N – доля осадков, выпавших в твердом виде, T_p – приземная температура воздуха, T_{925} и T_{850} – температура на изобарических поверхностях 925 гПа, и 850 гПа соответственно.

Снеготаяние при оттепелях рассчитывается по температурному коэффициенту стаивания. Суммируя запас воды в снежном покрове за период неустойчивого и устойчивого снеготаяния, можно получить поле максимальных запасов воды в снежном покрове. Наибольшие расхождения расчетных и фактических снеготаяний наблюдаются на севере исследуемой территории, в связи с низкой плотностью наблюдательной сети.

Расчет интенсивности снеготаяния на открытых участках выполняется по формулам Е.Г. Попова. Для залесенных участков используется коэффициент стаивания, значения которых изменяются от 1,5 мм/1° положительной среднесуточной температуры - для темнохвойного леса, до 2,5 мм – для лиственного. Величина альбедо снежного покрова задается равной 0,8 в первые дни снеготаяния и после снегопадов, 0,6...0,7 в период схода основной массы снега, 0,5 – в период завершения снеготаяния. В результат расчета вводится поправка на уклон и экспозицию макросклона.

Выходными данными модели являются площадь снежного покрова, водоотдача и остаточный снеготаяние. Площадь снежного покрова в период снеготаяния определяется по кривой распределения снеготаяния. Параметры кривых распределения для лесной и безлесной части территории получены из работы [2]. При расчете водоотдачи снега водоудерживающая способность принимается равной 30% в лесу и 20% в поле.

Суточное поступление воды на водосбор складывается из водоотдачи снежного покрова и выпадающих в период снеготаяния жидких и твердых осадков (с учетом формирования и таяния временного снежного покрова).

Расчет интенсивности снеготаяния ведется с шагом 0,5 суток, расчет водоотдачи – с суточным шагом. Для автоматизации вычислений разработан программный инструмент на языке Visual Basic, реализующий дополнительные функции растровой алгебры.

Верификация результатов расчетов снеготаяния выполнена по данным снегомерных съемок (сопоставление фактического и расчетного запаса воды в снеге), и по данным космической съемки (сопоставление фактической и расчетной заснеженности территории).

В связи с тем, что снегомерные маршруты могут проходить на удалении до 3 км от пункта наблюдений, сопоставлению с данными снегомерных съемок подвергались значения расчетного запаса воды в снежном покрове, осредненные в радиусе 3000 м от метеостанции. Достоверность результатов расчета оценивалась по величине среднеквадратических ошибок, которые приведены в табл. 1. Для определения характера расхождений построены гистограммы распределения абсолютных ошибок расчетного запаса воды в снежном покрове (рис. 1). По результатам расчетов за 2011 и 2012 гг, распределение одномодальное, и мода лежит вблизи нуля, что указывает на преобладание случайного характера сходимостей, а в 2010 г. выявлено систематическое занижение снегозапаса.

Таблица 1 - Оценка достоверности расчета запаса воды в снежном покрове, мм

2010 г.			2011 г.			2012 г.		
Лес	Поле	Среднее для станций с двумя маршрутами	Лес	Поле	Среднее для станций с двумя маршрутами	Лес	Поле	Среднее для станций с двумя маршрутами
54,3	33,5	36,3	49	34	43,1	28	27,8	26,4

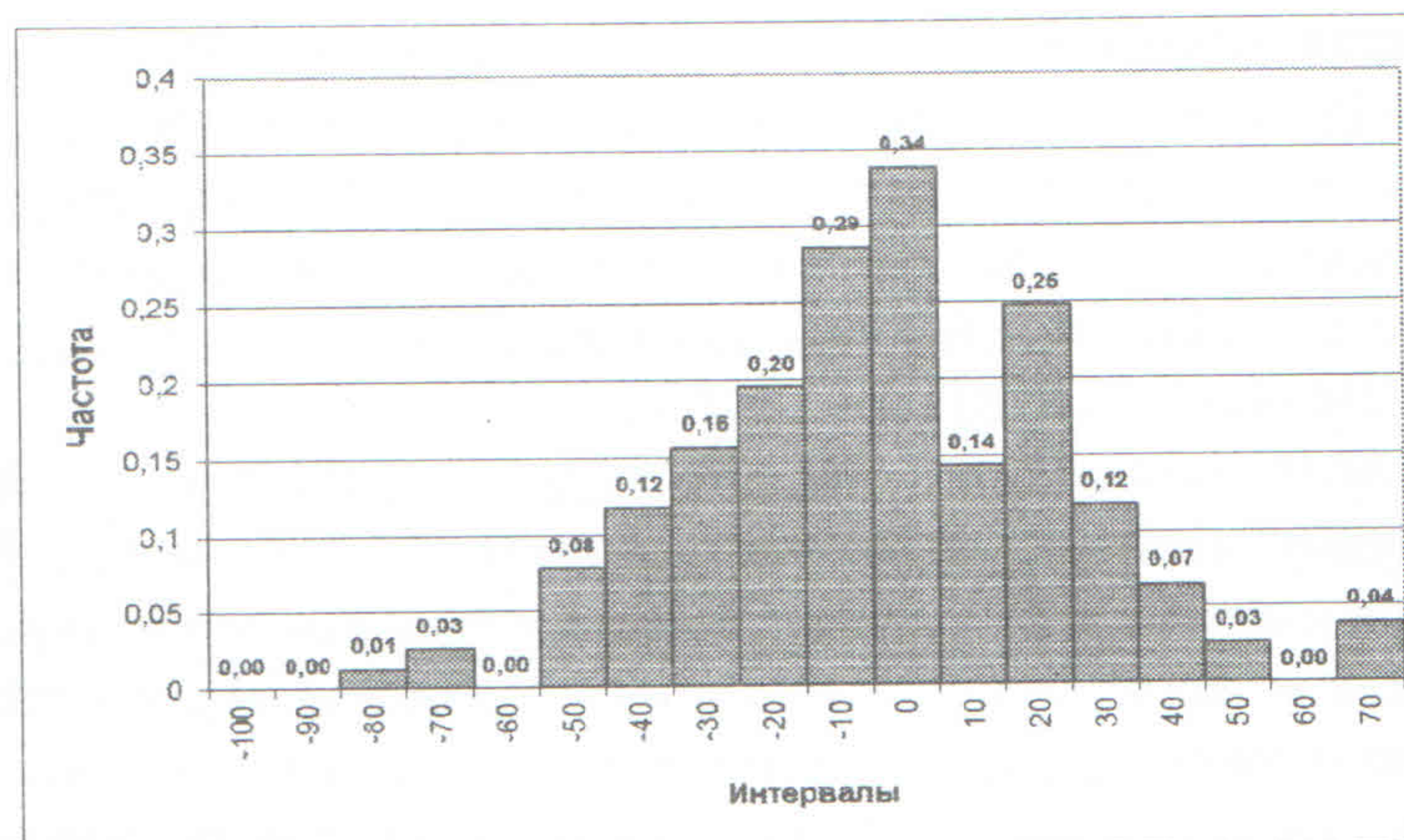


Рисунок 1 - Гистограмма распределения ошибок расчетного снегозапаса (мм слоя), 2010 г.

Основными причинами отклонений расчетного снегозапаса от фактического являются:

- Завышение интенсивности снеготаяния (особенно для безлесных территорий);
- Недооценка водоудерживающей способности снега (для безлесных территорий);
- Неверная оценка максимального накопленного снегозапаса;
- Нерепрезентативность некоторых снегомерных маршрутов;

Верификация результатов по данным ДЗЗ выполнена на двух масштабных уровнях.

- По всей исследуемой территории – на основе данных Terra/Aqua MODIS.
- На детальном уровне - по снимкам среднего разрешения (LANDSAT 5/7, SPOT-4).

В большинстве случаев получено хорошее совпадение фактической и расчетной заснеженности территории, в том числе и в горных районах с редкой сетью снегомерных наблюдений (рис. 2). Это указывает на объективность используемых при расчете оценки зависимости снегозапаса от высоты местности.

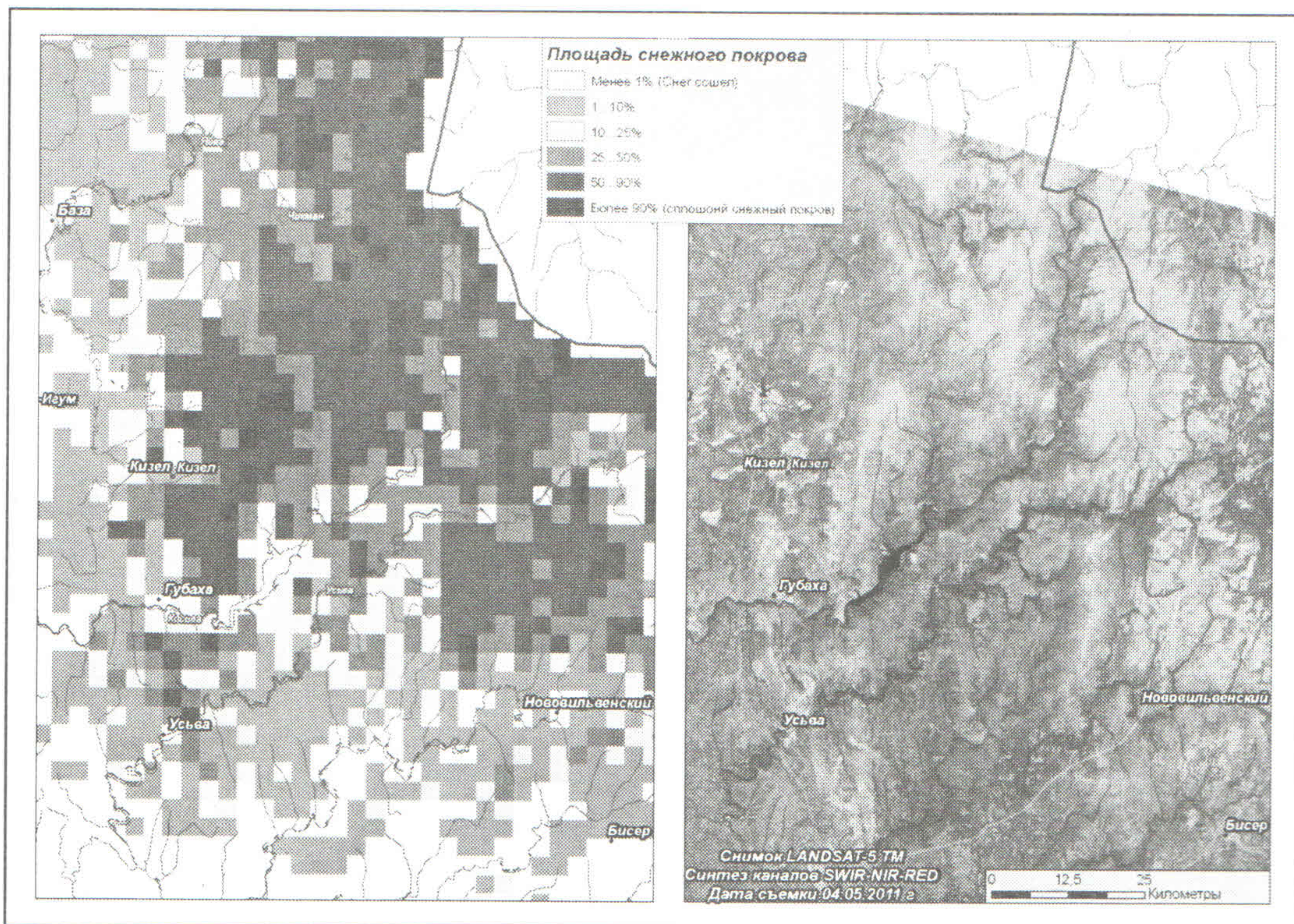


Рисунок 2 - Сопоставление фактической и расчетной площади снежного покрова, 04.05.2011 г., водосборы рек. Усьва, Косьва

В целом предложенная методика расчета интенсивности снеготаяния применима для территории Уральского Прикамья. Достоверность расчета площади снежного покрова существенно выше, чем водоотдачи и запаса воды в снеге. Расхождения фактического (по данным снегомерных съемок) и расчетного запаса воды в снежном покрове имеют значительную случайную составляющую, возникающую при сопоставлении данных маршрутной снегосъемки со средними значениями снегозапаса в ячейках раstra. В годы с соляренным типом снеготаяния происходит систематическое завышение его интенсивности на открытых участках местности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00858-а.

Литература

1. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л., Гидрометеоиздат, 1961. 346 с.
2. Лебедева Н.Д. Методика краткосрочного прогноза гидрографа притока воды к водохранилищу Камской ГЭС // Труды ЦИП. Л. Гидрометеиздат, 1963. Вып. 130. С. 87-125.
3. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Гидрометеиздат, 1963, 394 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области и Башкирская АССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Л., Гидрометеиздат, 1968. 372 с.
5. Шутов В.А. Методы анализа пространственной изменчивости снегозапасов // Известия РАН, серия Географическая, 1998, №1, С. 122-132.
6. Яковченко С.Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 25.00.35. - Барнаул, 2007. 406 с.
7. Bontemps S., Defourny P. and Van Bogaert E. GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report. ESA, 2010. URL: http://globcover.s3.amazonaws.com/LandCover2009/GLOBCOVER2009_Validation_Report_1.0.pdf