

2. Исследование оптических и физико-химических свойств почвы Беларуси. Ч.1. Каталог спектральных и физико-химических свойств почвы Беларуси. Препринт №8. Мн., 1992.
3. Ковалев, А.А. Оптические свойства мелпированных торфяных почвы Полесья / А.А. Ковалев, З.А. Ничипорович, В.А. Зайцева, С.В. Никоненко. Препринт №30. Мн., 1995. 56 с.
4. Кравцова, В.И. Космические методы исследования почвы / В.И. Кравцова. М., 2005. 190 с.
5. Национальный доклад Республики Беларусь об осуществлении Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (деградацией земель). Мн., 2002. 41 с.
6. Помелов, А.С. Актуальные вопросы структурирования процессов деградации земель / А.С. Помелов // Земля Беларуси. 2006. №2. С. 10–15.
7. Kauth R.J. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT / R.J. Kauth, G.S. Thomas // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana. West Lafayette, Indiana, 1976. P. 4B-41–4B-51.

Комплексное исследование процессов снеготаяния с использованием ДДЗЗ и наземной сети метеостанций⁶

Ю.Н. Шаенина, А.Н. Шихов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, г. Пермь
shavninaj@psu.ru, and3131@inbox.ru

В настоящее время использование ДДЗЗ является важнейшим компонентом системы мониторинга снежного покрова и процессов снеготаяния. Прием данных со спутников TERRA и AQUA (сенсор MODIS), или с метеорологических спутников серии NOAA, позволяет (при условии незначительной облачности) в режиме реального времени 3–4 раза в сутки получать информацию о состоянии снежного покрова на интересующей территории.

В горных и малонаселенных местностях, где наземная сеть метеостанций отсутствует, дистанционное зондирование из космоса является единственным источником данных о состоянии снежного покрова и процессах снеготаяния. В районах с достаточно плотной сетью метеостанций при мониторинге процессов снеготаяния необходимо комплексное использование станционных данных и ДДЗЗ. По ДДЗЗ низкого разрешения получают ежедневную оперативную информацию о заснеженности водосборов и температуре поверхности, наземная сеть предоставляет данные о температуре воздуха и суммах осадков.

Более проблематично получение объективной информации о запасах воды в снежном покрове, поскольку данные снеготаяния часто недоступны. Для оценки запасов воды в снежном покрове может быть использована информация о фактических суммах осадков за период с устойчивыми морозами, получаемая с метеостанций, при этом вводятся разного рода поправки. В ряде работ [Шутов, 1997] утверждается, что именно такая информация будет наиболее корректной оценкой снеготаяния. Оценка запасов воды в снежном покрове по ДДЗЗ (в МКВ диапазоне) пока сталкивается с большими трудностями, в связи с низким пространственным разрешением таких снимков, и характеризуется очень высокой (до 73%) погрешностью [Китаев, 2010]. При исследовании горных районов применяют косвенные методы оценки снеготаяния на основе информации о заснеженности территории [Вершинина, 2010].

Для территории Пермского края актуально комплексное использование данных ДЗЗ и наземной сети при исследовании процессов снеготаяния. В настоящее время в пределах водосбора Воткинского водохранилища функционирует более 25-ти метеостанций, в открытом

⁶ при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00858-а

доступе данные наблюдений есть по 19-ти метеостанциям. Таким образом, данные наблюдательной сети являются основой для оценки снегозапасов и сумм осадков, а для анализа динамики снежного покрова используются ДДЗЗ.

Целью данной работы было сопоставление ДДЗЗ о снежном покрове с результатами расчетов интенсивности снеготаяния по методике Н.Д. Лебедевой, основанной на данных сети метеостанций. При этом оценивалась применимость данной методики для территории водосбора Воткинского водохранилища, а также зависимость между фактической (по ДДЗЗ) заснеженностью водосборов и расчетными (по данным метеостанций) снегозапасами.

С февраля 2011 г. в Пермском государственном университете установлены станции приема космических снимков УниСкан и Алиса-СК. На станцию УниСкан в настоящее время принимаются данные со спутников TERRA, AQUA и SPOT-4. ДДЗЗ низкого разрешения со спутников TERRA и AQUA (Modis) были использованы для ежедневного мониторинга процессов снеготаяния, начиная с 1 апреля до полного схода снежного покрова.

Детектирование снежного покрова по данным Modis основано на расчете нормализованного снежного индекса (NDSI), который рассчитывается как отношение разности и суммы яркостей в 4 и 6 каналах снимка (555 нм и 1640 нм соответственно). При этом учитывается маска облачности, поскольку облака, как и снег, хорошо отражают излучение видимой области спектра и поглощают в инфракрасной. Выделение облачности основано на разности яркостей излучения в 31 и 20 (11 нм и 3,7 нм соответственно) каналах снимка.

Для восстановления данных о снежном покрове на территориях занятых облачностью, использовался весь ряд ежедневных наблюдений (ДДЗЗ) за весенний период. Так, неизвестные значения (территория, покрытая облаками) находились с помощью анализа наблюдений за последующие дни. Если территория с неизвестными значениями, в следующие дни была свободна от облаков, и можно было наблюдать наличие или отсутствие снега, то данные значения добавлялись к маске снежного покрова за текущий день. Сравнение и восстановление значений масок за каждый день периода снеготаяния проводилось с помощью Калькулятора растров ArcGIS. Полученные изображения использованы для создания карт снежного покрова, вычисления площади и процента заснеженности в пределах основных водосборных бассейнов рек.

По восстановленным маскам в первых числах апреля можно увидеть нарушения сплошного снежности покрова (рис. 1). Прежде всего, это связано с наличием облачности на протяжении всего периода наблюдений над водосборами рек Кама (с. Бондюг), Коса (с. Коса) и Иньва (д. Слудка). Временные изменения снежности покрова по терри-

тории объясняются погодными условиями, а также рельефом местности (азональный фактор). На продолжительность снеготаяния влияет и наличие лесной растительности. Снежный покров на территориях, покрытых лесом, сохраняется дольше, чем на открытых безлесых. Общая тенденция для всех водосборов рек Пермского края – отступление границы снежного покрова происходит с юга на север и с запада на восток, за исключением областей, где абсолютные высоты являются максимальными по отношению к бассейну в целом.

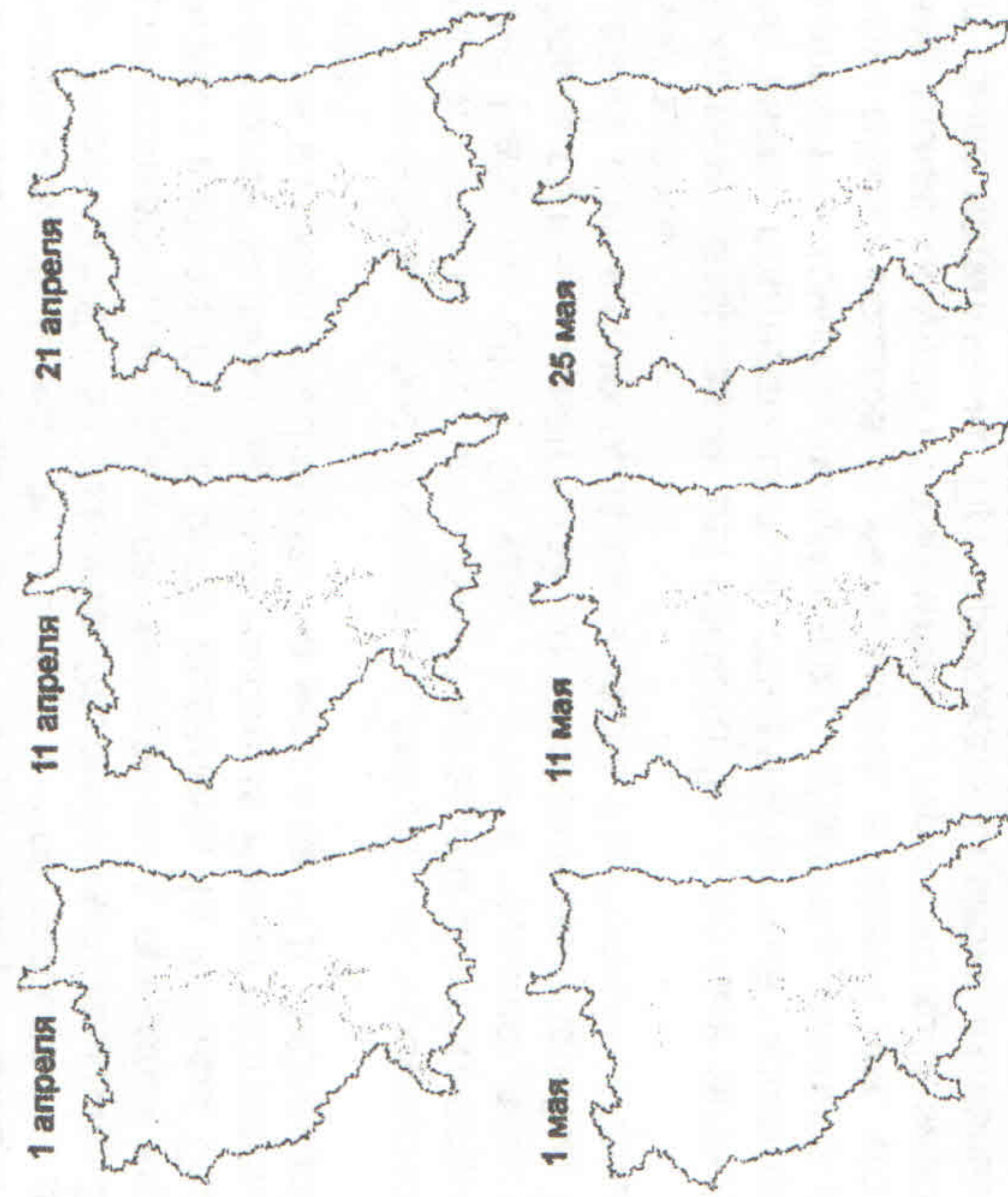


Рис. 1. Изменение снежного покрова в бассейне Воткинского водохранилища, 2011 г.

На основе данных сети метеостанций был проведен расчет ежедневного поступления на водосборы воды от снеготаяния и от жидких осадков. Расчет выполнен на основе методики [Лебедева, 1963].

Исходной для расчета была ежедневная информация о средней температуре воздуха и суммах осадков по метеостанциям, расположенным в пределах водосбора Воткинского водохранилища и на расстоянии менее 50 км от его границ (всего 25 метеостанций). Исходные данные о запасах воды в снежном покрове на 1 апреля 2011 г. на частных водосборах получены расчетным путем, на основе сумм осадков по метеостанциям за период с устойчивыми морозами.

С использованием модулей ArcGis Spatial Analyst и Geostatistical Analyst была проведена интерполяция данных о суммах зимних осадков на метеостанциях по площади водосбора Воткинского водохрани-

лица. Использованы данные за период с 20.11.2010 по 31.03.2011 по 22-м метеостанциям (три метеостанции были исключены по причине нерепрезентативности). Выбраны следующие способы интерполяции: натяжной сплайн (Spline Tension), оптимизированный метод взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting) и метод радиальных базисных функций (Inverse Multiquadric). С целью устранения недостатков этих трех методов с помощью инструмента Калькулятор растра был создан грид-слой средних значений суммы зимних осадков (рис. 2).

Запасы воды в снежном покрове, полученные расчетным путем с использованием инструментов ArcGis, были сопоставлены с данными Свердловского ЦГМС-Р за 20 марта. Различия не превышали 20%.

Для исследования процесса снеготаяния в пределах водосбора Воткинского водохранилища были выделены 14 частных бассейнов, различающихся по ландшафтным условиям. Расчет поступления воды на частные водосборы выполнен по методике Н.Д. Лебедевой [Лебедева, 1963].

Все расчеты выполнены отдельно для лесной и безлесной части. При этом использовались актуальные данные о залесенности каждого бассейна [Калинин, 2010]. За каждый день в пределах всех частных водосборов был вычислен слой поступившей на водосбор воды от снеготаяния и от жидких осадков, а также остаточные запасы воды в снежном покрове.

Исходным материалом для расчета были данные метеостанций, поэтому низкая плотность сети на севере и востоке территории негативно влияет на точность полученных результатов. Влияние рельефа на суммы зимних осадков не учитывалось, в связи с тем, что распределение зимних осадков по территории Пермского края зимой 2010–2011 гг. было нетипичным. При прохождении серии активных южных циклонов в период с 24.11.2010 по 7.12.2010 в южной части водосбора Воткинского водохранилища выпало до 80–100 мм осадков в виде снега, а на севере территории в 2–3 раза меньше. В результате, кроме основного максимума снегозапасов, приуроченного к северо-восточным горным водосборам, сформировался второй, на юго-западе территории, с самыми низкими высотными отметками рельефа. Таким образом, не наблюдалось зависимости сумм осадков от высотных отметок рельефа.

На основе расчетов были выделены периоды наиболее интенсивного снеготаяния в пределах каждого частного водосбора. Полученные расчетные значения интенсивности снеготаяния сопоставлены с ежедневными данными об уровнях и расходах воды на гидропостах. Выявленные зависимости в перспективе, при их уточнении на основе архивных данных, также могут быть использованы для краткосрочного прогноза резких подъемов уровней воды в реках в период весеннего половодья.

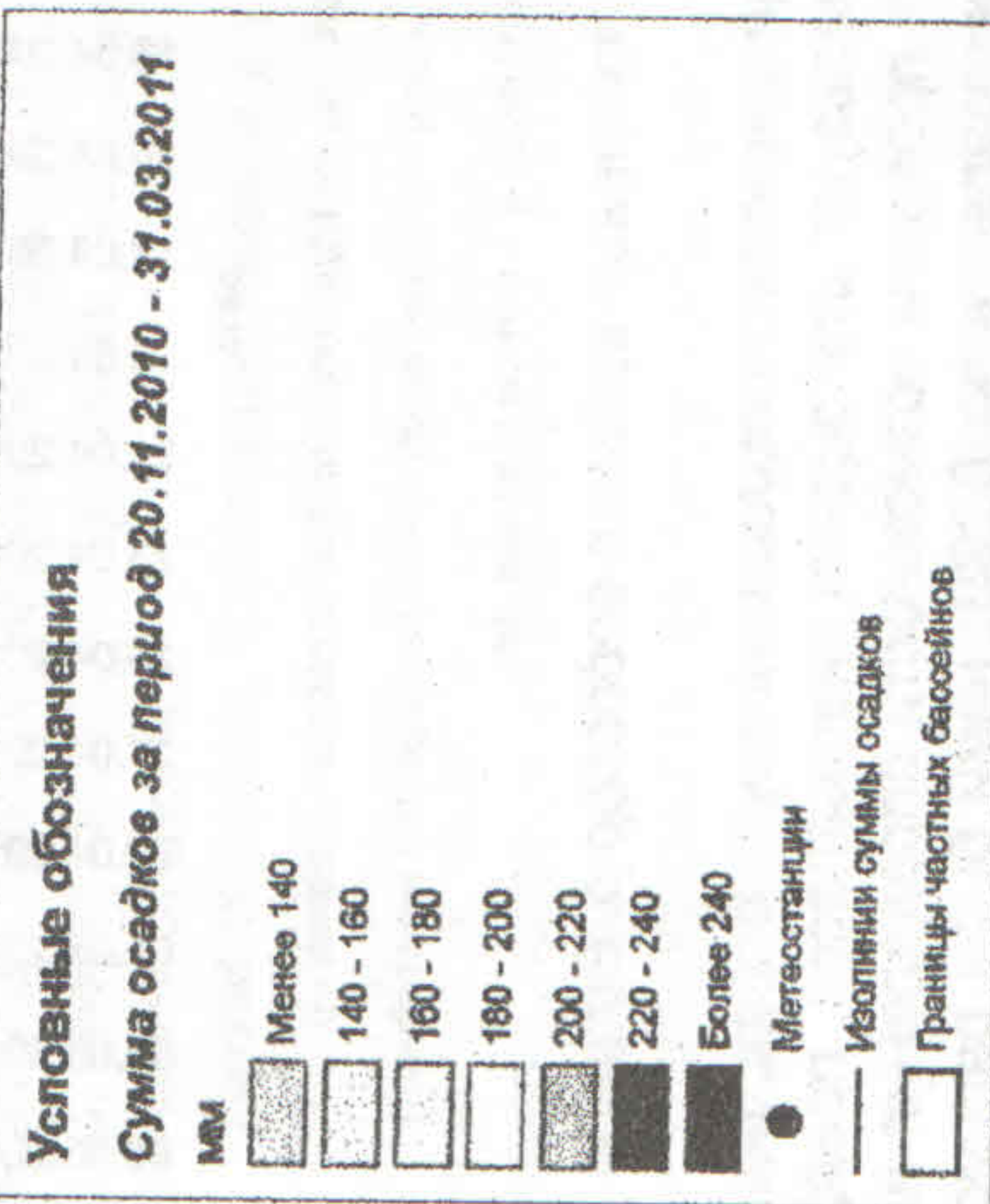
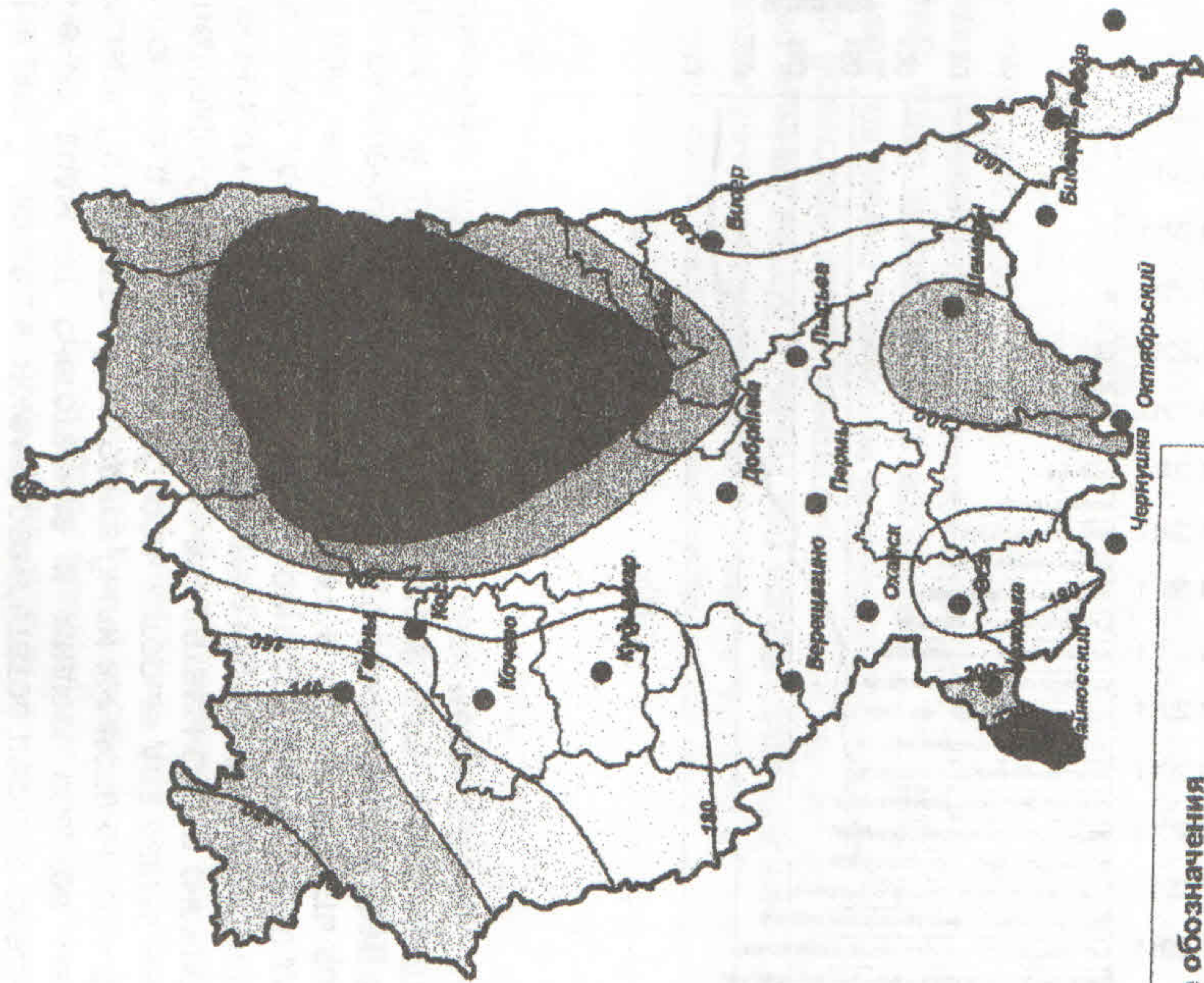


Рис. 2. Карта-схема распределения снегозапасов по территории водосбора Воткинского водохранилища на 01.04.2011

На рис. 3. приведен пример результатов расчета ежедневного поступления воды от снеготаяния и жидких осадков на водосбор р. Вишера. По расчетной методике были вычислены даты схода снежного покрова с частных водосборов, которые для равнинных водосборов неплохо совпадают с реальными датами схода снежного покрова (полученными по ДДЗЗ). Исключением являются горные и предгорные территории, где снежный покров сохраняется значительно дольше, чем было получено по результатам расчетов. Применимость данной методики для оценки интенсивности снеготаяния можно считать удовлетворительной для равнинных территорий, для горной части методика неприменима, по причине отсутствия сети метеостанций.

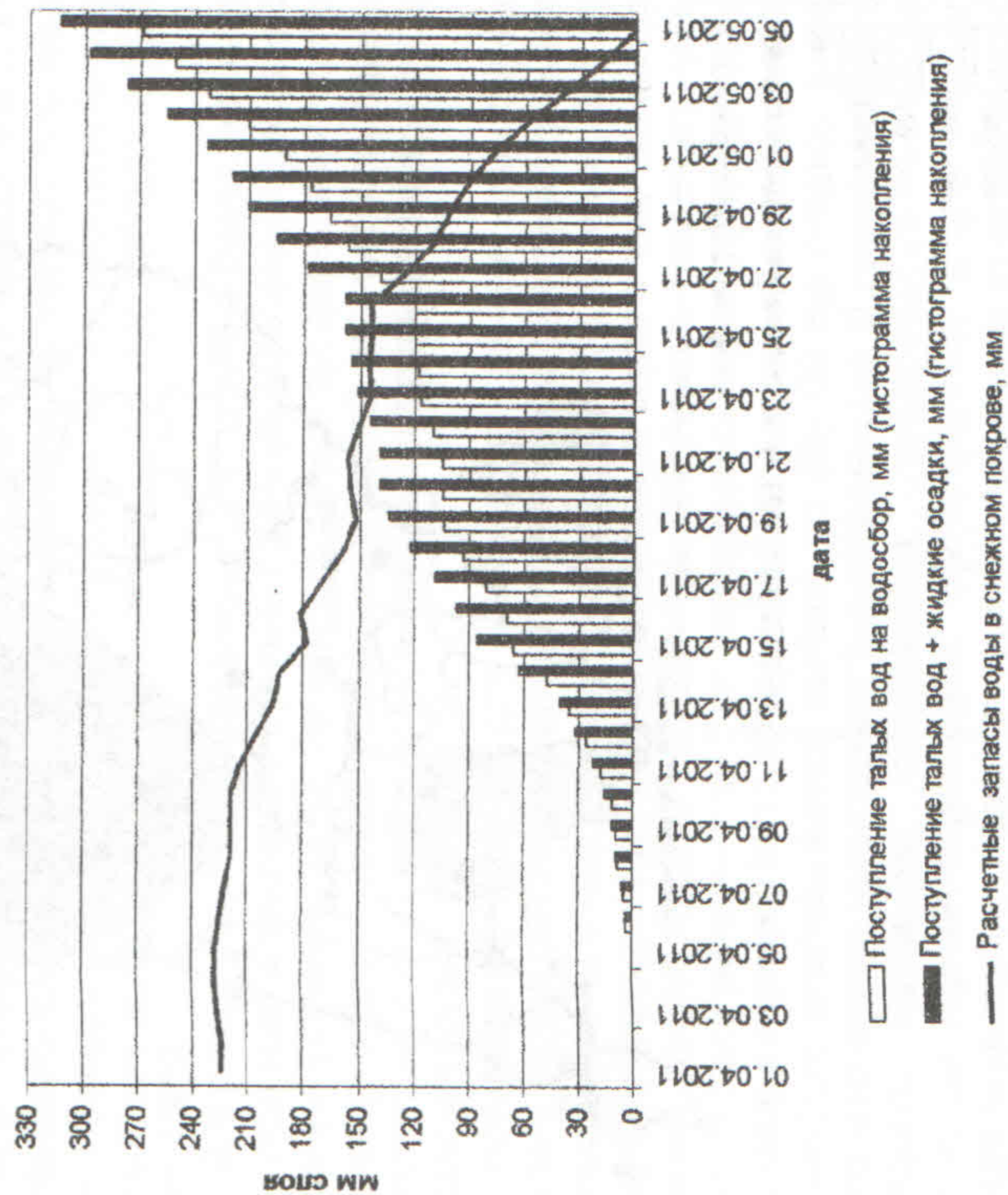


Рис. 3. Ежедневное поступление воды на водосбор р. Вишера

Информацию о площади снежного покрова на водосборах, полученную по ДДЗЗ, иногда используют для оценки снегозапасов, прежде всего в горных районах. Для проверки возможности определения или ориентировочной оценки снегозапасов по ДДЗЗ, нами была рассмотрена связь расчетных (по методике [Лебедева, 1963]) снегозапасов с данными о заснеженности водосборов, за каждый день периода снеготаяния.

Зависимость между запасами воды в снежном покрове и заснеженностью водосбора, полученной по ДДЗЗ, часто близка к линейной. На это указывается, в частности, в работе Т.И. Москвича и Д.Ю. Крамарева [Москвич, 2009]. В нашем случае также наблюдается достаточно устойчивая линейная связь между данными характеристиками. Коэффициент корреляции Пирсона для разных водосборов составляет от 0,91 до 0,983, коэффициент ранговой корреляции Спирмена от 0,98 до 0,996.

Для каждого водосбора была найдена линейная зависимость расчетных снегозапасов от заснеженности водосбора. Коэффициент достоверности аппроксимации R изменяется от 0,828 (для водосбора р. Язьва) до 0,966 (для водосбора р. Сылва). Достоверность полученной линейной зависимости оценивалась также по сумме квадратов отклонений от ее величины расчетных снегозапасов.

Для 11-ти частных водосборов полученная зависимость расчетных снегозапасов от площади заснеженности близка к линейной, для трех водосборов (рек Колва, Язьва и Тулва) зависимость не является линейной. Причем для водосборов рек Язьва и Колва данные редкой сети метеостанций не являются объективной характеристикой снегозапасов, и применение использованной методики, очевидно, дает некорректные результаты. Для водосбора р. Тулва могли быть существенно занижены исходные данные о запасах воды в снежном покрове, поскольку основная опорная точка для интерполяции в данном районе (МС Оса) расположена в низине, и данные о суммах зимних осадков на этой метеостанции, возможно, нерепрезентативны для данного водосбора. В целом для восточной части водосбора Воткинского водохранилища характеристика заснеженности водосборов, полученная по ДДЗЗ, имеет большую ценность, чем данные редкой и нерегулярной сети метеостанций.

Таким образом, с использованием данных о заснеженности водосборов, полученных по космическим снимкам, удалось сформулировать существенные недостатки используемой методики расчета интенсивности снеготаяния. Полученные зависимости запасов воды в снежном покрове от заснеженности водосборов могут быть уточнены на архивном и фактическом материале и в перспективе использованы для краткосрочного прогноза интенсивности снеготаяния и развития половодья, прежде всего для водосборов с редкой сетью метеостанций.

Библиографический список

1. Вершинина, И.П. Оценка снегозапасов в горах юго-востока Западной Сибири / И.П. Вершинина, Н.В. Иглоевская // Вестник

- Томского Государственного Университета, 2010. № 7 (336). С. 184–186.
2. Калинин, В.Г. Применение геoinформационных технологий в гидрологических исследованиях / В.Г. Калинин, С.В. Пьянков. Пермь: Алекс-Пресс, 2010. 217 с.
 3. Китаев, Л.М. Анализ характера снегозапасов с использованием спутниковой информации / Л.М. Китаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7. № 4. С. 118–124.
 4. Лебедева, Н.Д. Методика краткосрочного прогноза гидрографа притока воды к водохранилищу Камской ГЭС / Н.Д. Лебедева // Труды ЦИП. Вып. 130. М.: Гидрометеиздат, 1963. С. 87–125.
 5. Москвич, Т.И. Модель прогноза весеннего половодья. Реализация в оперативном режиме / Т.И. Москвич, Д.Ю. Крамарев // Труды ДВНИИГМИ. 2009. Вып. 153. С. 102–115.
 6. Шутов, В.А. Анализ пространственного распределения зимних осадков и снегозапасов в бассейне р. Белой / В.А. Шутов, И.Л. Калужный // Метеорология и гидрология, 1997. № 1. С. 105–115.

Подготовка исходных данных для прогнозирования интенсивности снеготаяния методами геостатистического анализа

В.С. Русаков, Ю.Н. Шавнина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, г. Пермь
rusakov_vas@mail.ru, shavninaj@psu.ru

Исследование процессов снеготаяния является важной задачей прогнозирования уровня воды в реках и предотвращения негативных последствий весеннего половодья на территории Пермского края (бассейн Воткинского водохранилища). Для прогноза интенсивности снеготаяния будет использован геостатистический анализ. На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) и наземных гидрометеорологических наблюдений планируется создать математико-картографическую модель (МКМ), которая позволит рассчитывать прогноз пространственного распределения интенсивности снеготаяния и поступления воды на водосборы рек с суточным интервалом, а также определять даты схода снежного покрова.

Исходными данными для создаваемой модели служат физико-географические (рельеф, растительность) и гидрометеорологические (объем снега, количество солнечных дней, температура приземного слоя, твердые и жидкие осадки) характеристики территории.

Для проверки результатов, полученных в ходе моделирования, а также в качестве источника некоторых метеорологических данных (например, приземной температуры) планируется использовать ДДЗЗ – космические снимки низкого и среднего разрешения со спутников NOAA, Terra и Aqua. Это позволяет получить информацию на обширные территории 3–4 раза в сутки, что способствует оперативной оценке интенсивности снеготаяния.

Для создания и отладки МКМ целесообразно использовать некоторый тестовый набор исходных данных. В качестве такого набора была использована информация по бассейну реки Язьва, которая была объединена в файловую базу геоданных ArcGIS. Эта база содержит:

1. физико-географические данные
 - а. цифровая модель рельефа (ЦМР) бассейна в виде раstra с пространственным разрешением 1000 м, каждый пиксель которого содержит высоту соответствующего участка местности над уровнем моря в метрах; значения пикселей хранятся в виде чисел с плавающей точкой;

⁷ при поддержке гранта РФФИ № 11-05-96026-р_урал_a