

**Чурюлин Е.В., Жбаков К.К., Казачук А.А.**

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, г. Москва, evgenyuchur@gmail.com

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. ОНЕГИ)**

Снежный покров является одним из компонентов природной среды, определяющих погоду и климат. Знание характеристик снежного покрова имеет существенное прикладное значение для различных отраслей хозяйства и прогнозных целей [2].

В январе-феврале 2017 г. на кафедре гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова силами студентов и преподавателей была организована научная экспедиция в устьевую область р. Онеги. Место проведения экспедиции было выбрано не случайно: учитывались физико-географические условия устьевой области реки [3], относительная простота выполнения зимних полевых исследований, а также возможность сравнения результатов исследований с предыдущими работами института ФГБУ «ГОИН» [4] и результатами летних полевых исследований кафедры. Одной из обязательных задач экспедиции являлось проведение наблюдений за снежным покровом.

При выполнении снегомерных маршрутов преследовались следующие задачи:

1) получить представления о пространственном распределении высоты, плотности и запаса воды в снежном покрове на водосборе р. Онеги и р. Тамица в различных условиях (лес, поле, опушка леса, точечные измерения снега на льду);

2) сравнить полученные результаты маршрутных снегомерных наблюдений с данными пассивной микроволновой радиометрии — проект «*GlobSnow*» [5], с данными, получаемыми по модели *Cosmo-Ru* [1], реализованной в ФГБУ «Гидрометцентр России», а также выполнить сравнение с реальными маршрутными измерениями, проводимыми на метеорологической станции в г. Онеге.

Наблюдения за снежным покровом на р. Онеге и её водосборе, проводились авторами в период с 28.01.2017 по 02.02.2017, на водосборе р. Кянды с 03.02.2017 по 04.02.2017. Наблюдения включали в себя маршрутные снегосьемки и точечные измерения. Точечные измерения были выполнены на поверхности ледяного покрова рек для оценки учета запаса воды в снежном покрове на поверхности льда в проекте *GlobSnow* и модели *Cosmo-Ru*. Кроме того, измерения на поверхности льда были выполнены с шагом 1 км на расстоянии 22 км, что позволяет использовать эти данные для сравнения со значениями разных квадратов сетки *EASA-Grid*.

Маршруты выбирались таким образом, чтобы они были характерными для окружающей местности по условиям формирования снежного покрова в лесу, в поле и на льду реки. Полевые маршруты прокладывались с тем условием, чтобы они пересекали типичные формы рельефа, а лесные — по характерным участкам леса.

Если выбрать прямолинейный маршрут не представлялось возможным, то допускалась прокладка в виде ломаной линии с тупыми углами.

На каждом выбранном маршруте определялась средняя высота, плотность, структура снежного покрова и наличие в ней прослоек льда, воды и снега, насыщенного водой. Измерения выполнялись с помощью плотномера ВС-43 и снегомерной рейки М-104. Также визуально оценивался характер залегания снежного покрова на маршруте, степень покрытия его снегом по 10-балльной шкале и состояние почвы под снегом.

### *Результаты полевых измерений основных характеристик снежного покрова*

Во время экспедиции было проложено 4 полевых маршрута и 2 лесных маршрута на водосборах рек Онега и Тамица, а также выполнены точечные измерения высоты и плотности снежного покрова на льду рек Онега и Тамица.

Наибольшее внимание было уделено полевым измерениям возле с. Порог. Снегомерная съемка у с. Порог выполнялась 31.01.2017. Для выполнения снегомерных маршрутов был выбран открытый участок местности на берегу долины р. Вонгуды в 1 км от места её впадения в р. Онегу (рис. 1). В рамках данного исследования были выполнены 4 снегомерных маршрута, по два на правом и левом берегах реки, расстояние между маршрутами составляло от 50 до 100 м.

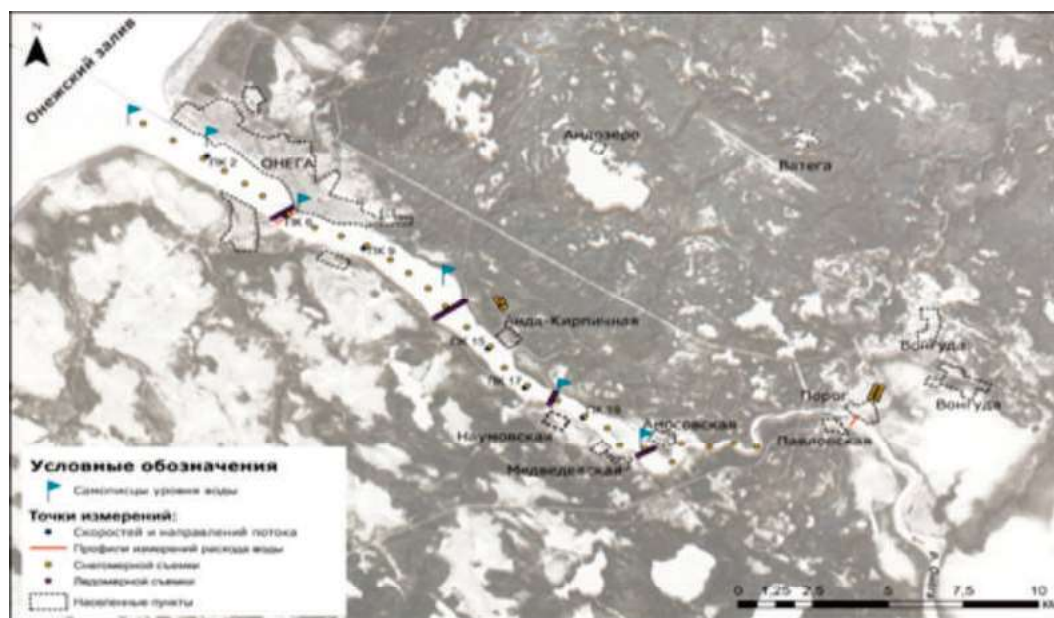


Рис. 1. Местоположение пунктов снегомерной съемки около с. Порог

На основе собранных данных проведен анализ пространственного распределения характеристик снежного покрова.

В результате камеральной обработки было установлено, что в районе села Порог было выполнено 163 измерения высоты снежного покрова, а в 19 точках измерена

плотность и описана структура снега (рис. 2, а). Следует отдельно отметить, что в точках, где измерялась плотность, специально выкапывались снежные шурфы. На основе полученных данных построены карты пространственного распределения характеристик снежного покрова и построены кривые обеспеченности высоты, плотности и запаса воды в снеге. Построение карт пространственного распределения характеристик снежного покрова производилось с помощью программного комплекса «ArcGIS». Для интерполяции значений между точками использовался метод «естественной окрестности» или «*natural neighbor*». Дополнительно выполнялась ручная корректировка полученных изолиний. В результате были построены две карты с распределением высоты снежного покрова и его плотности (рис. 2, б, в).

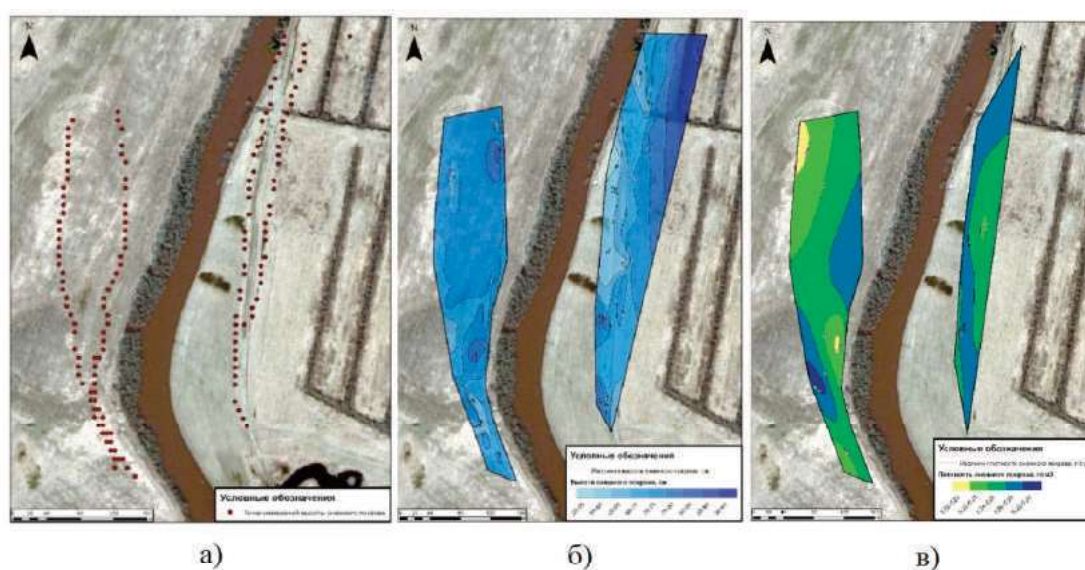


Рис. 2. Точки измерений высоты снежного покрова (а), распределение высоты снежного покрова (б), распределение плотности снежного покрова (в) около села Порог 31.01.2017

Четких закономерностей в полученном распределении высоты снежного покрова выявить не удалось (рис. 2, б). На левом берегу наблюдается увеличение высоты снежного покрова в северо-восточном направлении. На правобережье в северной части исследуемой области высота снежных покровов выше, чем на остальной территории. К данному факту нужно относиться с осторожностью, потому что густота и распределение точек измерений в этой части неравномерны.

При рассмотрении пространственного распределения плотности снежного покрова (рис. 2, в) отмечено более плавное изменение плотности в сравнении с высотой. Данный факт может быть обоснован тем, что ветер оказывает меньшее влияние на данную характеристику, кроме того, на основе полученной многослойной структуры снежного покрова удалось установить, что в целом весь снежный покров в регионе исследования обладает схожей структурой, с незначительными изменениями в верхних слоях. Наименьшие значения плотности не превышают  $0,220 \text{ г/см}^3$ , данные



значения в основном характерны для северо-западной части снегомерных маршрутов на правом берегу реки. Максимальное значение, равное  $0,29 \text{ г/см}^3$ , было зафиксировано в западной части. Среднее значение плотности по маршрутам составляет  $0,252 \text{ г/см}^3$ . Средний коэффициент вариации равен  $0,1$ .

Помимо карт с информацией о пространственном распределении высоты и плотности снежного покрова построены кривые обеспеченности основных характеристик снежного покрова для леса и поля (рис. 3). Средняя высота снежного покрова для леса  $71 \text{ см}$ , поля —  $69 \text{ см}$ . На опушке леса наблюдается заметное увеличение высоты снежного покрова. Средняя высота снега здесь  $85 \text{ см}$ . Средняя плотность снега для леса равна  $0,286 \text{ г/см}^3$ , для опушки  $0,296 \text{ г/см}^3$ .

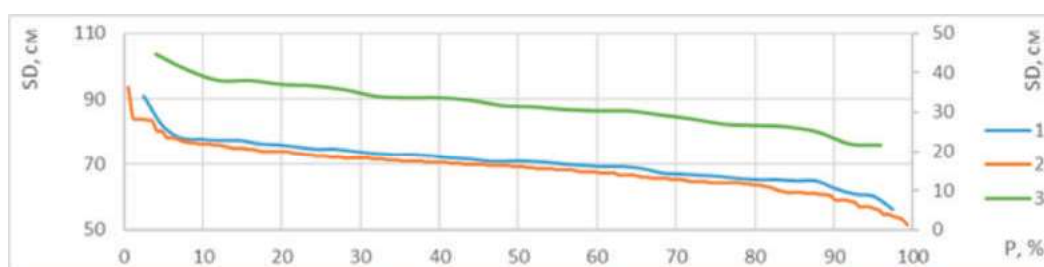


Рис. 3. Кривые обеспеченности высоты снежного покрова (SD) для поля, рядом с селом Порог, леса вблизи 13–14 км и поверхности льда на реке Онеге. 1 — лес, 2 — поле, 3 — поверхность льда

#### *Сравнение данные полевых измерений с другими источниками данных о снежном покрове*

В качестве первого источника информации был выбран проект Финского метеорологического института *GlobSnow* [5]. Данный проект предоставляет данные пассивной микроволновой радиометрии — измерения основаны на применении радиояркостных температур. Измерение интенсивности излучения производится на частотах от 9 до 37 ГГц, с разной поляризацией. Данные находятся в открытом доступе и доступны для скачивания по ссылке <http://www.globsnow.info/>. Для пользователей данные предоставляются в виде растровых карт в формате (.jpg либо .png), либо в виде матриц, содержащих значения SWE в виде матриц формата *NetCDF*. Так как размер одного пикселя (узла сетки *SWE*) значительно превосходит стандартную длину маршрутных измерений (рис. 4), его значение сравнивалось со средним значением воды в снежном покрове. Среднее значение было получено отдельно для леса, поля, поверхности льда.

Кроме проекта *FMI GlobSnow* использовались данные, получаемые *ФГБУ «Гидрометцентр России»* по модели *Cosmo-Ru Ena* и *Ena\_oper*. Для реализации данной схемы была создана специальная технология *SNOWE technology* [1], которая позволяет производить расчет водного эквивалента снежного покрова (*ВЭСП*), плотности снега и границы его распространения. Технология предназначена для вычисления начальных полей этих характеристик в системе

оперативного численного прогнозирования погоды и ежедневных консультативных оценок влагозапасов снега (рис. 4). В основе технологии заложена многослойная модель снега, которая требует для своей работы данные об оперативных измерениях высоты снега и метеорологических величин на сетевых метеостанциях.

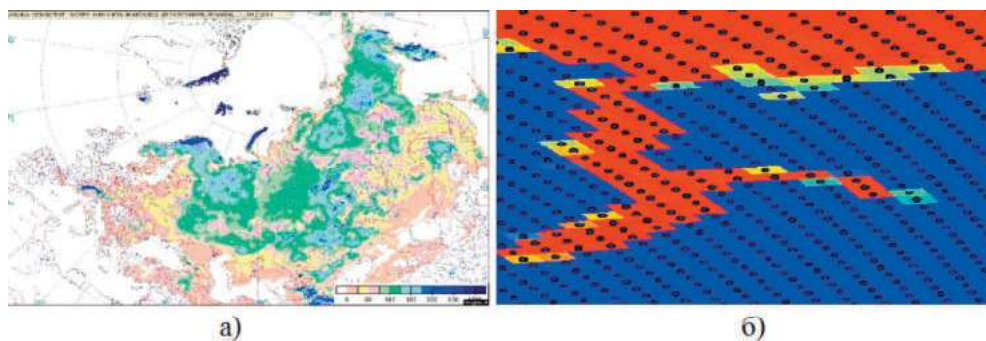


Рис. 4. Графический вид используемых проектов *Cosmo-Ru*, *ENA* (а), *GlobSnow* (б)

По результатам работы построены графики и проведен сравнительный анализ полученных результатов (рис. 5–8).

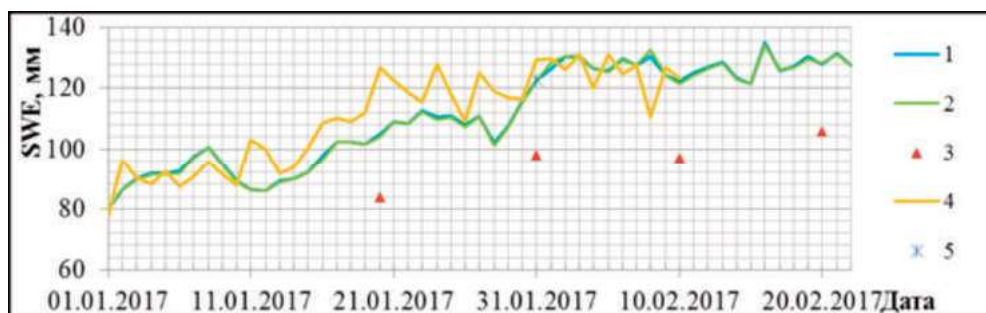


Рис. 5. График сравнения полевых материалов со спутниковыми данными, моделью *Cosmo-Ru* и реальными данными с сети Росгидромета для снегомерного маршрута вблизи села Порог. 1 — *ENA*, 2 — *ENA-op*, 3 — Росгидромет, 4 — *GlobSnow*, 5 — полевые данные

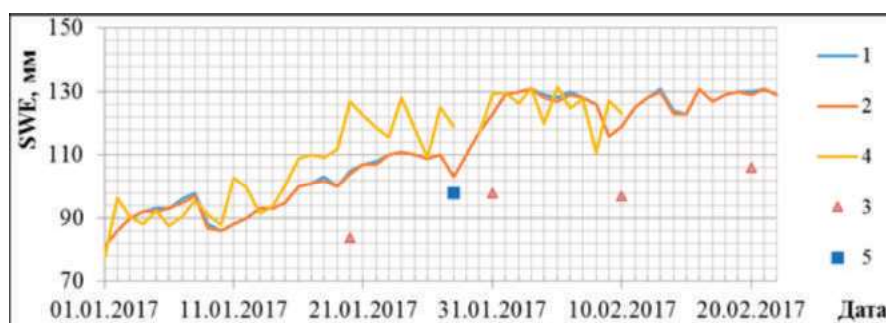


Рис. 6. График сравнения полевых материалов со спутниковыми данными, моделью *Cosmo-Ru* и реальными данными с сети Росгидромета для снегомерного маршрута вблизи 13–14 км. 1 — *ENA*, 2 — *ENA-op*, 3 — Росгидромет, 4 — *GlobSnow*, 5 — полевые данные

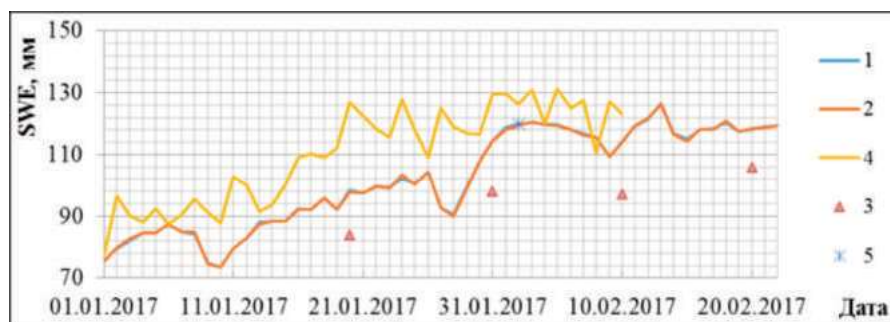


Рис. 7. График сравнения полевых материалов со спутниковыми данными, моделью *Cosmo-Ru* и реальными данными с сети Росгидромета для снегомерного маршрута на водосборе реки Тамицы. 1 — ENA, 2 — ENA-op, 3 — Росгидромет, 4 — *GlobSnow*, 5 — полевые данные

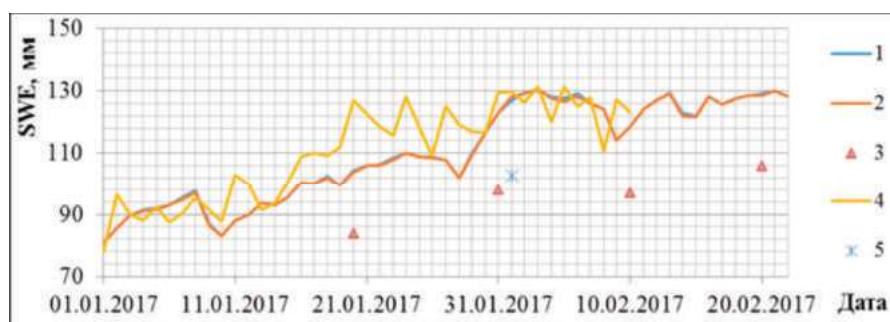


Рис. 8. График сравнения полевых материалов со спутниковыми данными, моделью *Cosmo-Ru* и реальными данными с сети Росгидромета для снегомерного маршрута вблизи станции Росгидромета. 1 — ENA, 2 — ENA-op, 3 — Росгидромет, 4 — *GlobSnow*, 5 — полевые данные

Проанализировав данные о содержании воды в снежном покрове, полученные при помощи моделей *ENA* и *ENA-oper*, а также *GlobSnow*, и сравнив их на графиках с данными полевых наблюдений и данными, полученными Росгидрометом, можно отметить следующее.

Данные продукта *GlobSnow* (пассивной микроволновой радиометрии) и модели *ENA* завышают получаемые значения. Результаты полевых наблюдений либо совпадают со значениями, полученными по модели *ENA* (в районе села Порог и на водосборе р. Тамицы), либо приближены к данным, полученным Росгидрометом. Средняя ошибка по данным модели *ENA* и *ENA-oper* составляет 7% и 9% — для условий устойчивого снежного покрова данная ошибка считается допустимой для того, чтобы применять полученные значения для дальнейших расчетов. Ошибка по данным проекта *GlobSnow* составляет 17%, данные результаты подтверждают заявленную производителем погрешность программного продукта.

Стоит отметить, что согласно наблюдениям Росгидромета, в течение первых двух зимних месяцев запас воды в снежном покрове увеличивался, это подтверждается и данными всех моделей. Увеличение запаса воды, прослеживаемое по графикам, происходило в целом равномерно, однако, в конце января произошел резкий скачок

вверх, что может свидетельствовать о сильном снегопаде в последнюю декаду января. Наибольшие значения запасов воды и их колебания показала модель *GlobSnow*, что позволяет считать её самым неточным источником информации из выше представленных программных продуктов.

Таким образом, регулярные стационарные наблюдения за снежным покровом остаются самым достоверным источником информации о запасе воды в снежном покрове, но, при этом, методы дистанционного зондирования и моделирования характеристик снежного покрова, особенно для труднодоступных регионов могут быть источником дополнительной информации.

*Авторы выражают благодарность научному руководителю профессору, заведующей кафедрой гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н. Фроловой Наталье Леонидовне.*

### Список литературы

1. Казакова Е.В. Ежедневная оценка локальных значений и объективный анализ характеристик снежного покрова в рамках системы численного прогноза погоды COSMO-Ru: дис. канд. геогр. наук. М., 2015. 181 с.
2. Китаев Л.М. Пространственно-временная изменчивость высоты снежного покрова в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 28–34.
3. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М., 1997. 413 с.
4. Особенности циркуляции и перемешивания вод в устьевой области реки Онега // Труды ГОИН. Гидрология устьев рек / Под ред. С.С. Байдина. 1986. № 179. С. 10–17.
5. GlobSnow [Электронный ресурс]. URL: <http://www.globsnow.info/>.