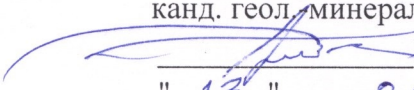


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Геолого-географический факультет
Кафедра метеорологии и климатологии

ДОПУСТИТЬ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК

Руководитель ООП

канд. геол. минерал. наук, доцент

 Г.М. Татъянин

" 13 " 06 2019 г.

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы
(диссертации)

ОЦЕНКА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре

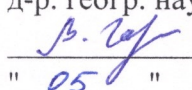
направление подготовки 05.06.01 Науки о Земле

Специальность 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

Бородина Ирина

Научный руководитель

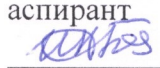
д-р. геогр. наук, профессор

 В.П. Горбатенко

" 05 " 06 2019 г.

Автор работы

аспирант

 И. Бородина

Томск - 2019 г.

Актуальность темы и направленность исследования

Влажность почвы определяет водный и тепловой режим почвы и прилегающих слоев атмосферы. Наблюдения за изменением влажности почвы имеют большое значение в разных отраслях науки и практики. Они необходимы в гидрологических (прогноз стока, предупреждение наводнений), экологических (прогноз эрозии почв), климатических (мониторинг засухи, расчет пожароопасности) исследованиях, а также для сельского хозяйства (планирование орошения, прогноз урожайности) [8,16,18,22]. Учет запасов влаги в почве необходим и для прогноза погоды, в частности, влажность почвы используется как важный параметр физико-математических моделей атмосферы [10], а точность прогноза зависит от полноты и качества исходных данных. Повышение точности прогноза метеорологических параметров требуют максимально точного описания как поверхностных физико-географических особенностей, процессов тепло-влагообмена, параметров состояния атмосферы, так и учет почвенных переменных. В Энергетическом обмене между поверхностью земли и атмосферой ключевую роль играют поверхностные потоки явного и скрытого тепла. Поверхностные потоки тепла, в свою очередь, сильно зависят от температуры и влагосодержания почвы, а так же от растительного покрова, атмосферных условий и физических свойств почвы. Влажность почвы обеспечивает взаимосвязь между водным и энергетическим балансом в поверхности земли и пограничном слое атмосферы. С 2010 года Всемирной Метеорологической организацией влажность почвы считается основной климатической переменной. Влагозапасы в слое почвы 0—20 и 0—100 см входят в перечень основных биоклиматических и агроклиматических показателей для мониторинга влияния изменений климата на сельское хозяйство [18].

На территории России густота сети метеорологических станций недостаточная, особенно в крайних северных и восточных районах. При этом влажность почвы на метеорологических станциях оценивается визуально, а инструментальные агрометеорологические наблюдения проводятся 1 раз в декаду, что также недостаточно. Поэтому для оценки влагосодержания почвы актуальным является изучение возможности использования спутниковых наблюдений, имеющих глобальный охват. А для того, чтобы судить о точности измерений со спутника, необходимо осуществить их проверку, посредством сравнения с измерениями, произведенными контактным методом непосредственно на земле.

Степень разработанности проблемы. Исследование посвящено сравнению влагосодержания поверхностного слоя почвы, определяемого на метеорологических станциях и с использованием метеорологического спутника MetOp

К началу 2000 х годов для решения ряда фундаментальных и прикладных задач появилась потребность в глобальных измерениях влагосодержания почвы. Сформировались четыре основные области, в которых регулярные измерения влажности почвы могут оказать существенное влияние:

- Улучшение среднесрочного прогноза погоды путем включения измеренной влажности почвы в 30-километровую сетку ежедневно;
- Улучшение планирования и эффективности внутрихозяйственного орошения, а также совершенствование моделирования урожайности, в масштабах от 10 до 100 м и от 1 до 3 дней.
- Лучшая количественная оценка водопользования, накопления и стока воды для мониторинга наводнений в масштабах от 100 м до 1 км, ежедневно или по необходимости.
- Улучшение климатических моделей, особенно в отношении годовой и межгодовой изменчивости, с тем чтобы они точно отражали гидрологические процессы на поверхности земли.

Влажность почвы была бы ценным вкладом в гидрологические, климатические, сельскохозяйственные и биогеохимические модели, если она надежно измерена в

соответствующих пространственных масштабах и с интервалами времени, относящихся к интересующим процессам.

В то время как научные потребности являются убедительными и существует потребность в данных влагосодержания почвы для решения прикладных задач, на тот момент не существовало спутниковых возможностей для измерения влажности почвы, а также не было конкретных планов по разработке датчиков, измеряющих влажность почвы, ни для научных исследований, ни для удовлетворения эксплуатационных потребностей [5]. За последние 20 лет исследования и разработки в этой области получили большое развитие и дали значительные результаты [4,6-8,12,14, 22].

Исследования, связанные с валидацией спутниковых наблюдений, по спутниковой системе MetOp проводятся с 2007 года. При сравнении с другими спутниковыми измерительными системами ASCAT не уступал в точности, при этом имея больший ежедневный охват территории, за счет двух измерительных полос, расположенных вдоль наземной траектории спутника [4].

Определенные результаты получены для территории США, Европы, Центральной Азии, Западной части экваториальной Африки, юг Австралии за период с 2007 по 2011 годы. В работах рассматривался вопрос сравнения изменчивости влажности почвы для территории Аляски и северной части России за период с 2002 по 2013 гг. [6,7].

В связи с отсутствием стандартных регулярных прямых наблюдений за влажностью почвы в России такие исследования практически отсутствуют.

Поскольку почвенный покров имеет мозаичный характер и очень разнообразные гидрофизические свойства, обобщение данных о влажности почвы для больших территорий вызывает трудности. Поэтому целесообразным является рассмотрение меньших по площади территорий, с учетом региональных водно-физических особенностей почв. Для территории Центральной России была реализована схема усвоения почвенных переменных для глобальной модели прогноза погоды. Учет данных о температуре и влагосодержании почвы в модельных расчетах значительно улучшил прогноз температуры и влажности воздуха [10].

Территория Западной Сибири не имеет достаточного количества пунктов наземного измерения влагосодержания почвы для усвоения данных в глобальных и мезомасштабных моделях численного прогноза погоды, поэтому для данной территории возникает острая необходимость привлечения спутниковых измерений.

Цель и задачи работы.

Целью работы является разработка методики оценки пространственных характеристик влажности почвы на территории России (южная часть Прибайкалья, Томская область) за теплый период по данным спутниковых измерений.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить литературу по особенностям регистрации влажности почвы наземными и дистанционными методами.
2. Отработать методику оценки качества спутниковой информации в зависимости от типа подстилающей поверхности для территории США, располагающей большим объемом наземных наблюдений.
3. В результате применения методики получить закономерности соотношения характеристик влажности, измеренных дистанционными и прямыми методами для разных типов подстилающей поверхностей, выделенных по типу растительности.
4. Отработанную над территорией США методику применить для оценки влажности почвы над территорией Тункинской котловины для разных типов ландшафтов.
5. Оценить пространственную и временную изменчивость влагосодержания почвы по данным измерений на агрометеорологических станциях для территории юга Томской области.

6. Верифицированную над территорией Тункинской котловины методику применить для определения влажности поверхностного слоя почвы для территории Томской области.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования выступает поверхностный слой почвы до глубины 15-20 см на территории Томской области за теплый период 2007-2012 гг., Тункинской котловины за теплый период 2011-2012 гг., территории США за теплый период 2011-2012 гг.

Предмет исследования – объемное влагосодержание почвы.

Материал и методы исследования.

Для оценки качества спутниковые наблюдения были сравнены с прямыми наземными измерениями влажности почвы.

В качестве прямых наблюдений были использованы ежечасные измерения влажности почвы на измерительных площадках на территории Тункинской котловины. Измерения производились на глубине 15 см прибором АИПТ (в объемных единицах, $\text{м}^3/\text{м}^3$). Наблюдения за влажностью почвы выполнялись сотрудниками ИМКЭС [15].

Материалом для оценки спутниковых измерений влажности почвы над территорией Томской области послужили агрометеорологические измерения запасов продуктивной влаги в почве для шести станций Томской области за теплый период (май-август) 2007-2012 гг. Данные предоставлены Томским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Пересчитаны в объемные единицы.

Спутниковые наблюдения – это данные скаттерометра ASCAT, установленного на борту системы MetOp. ASCAT – импульсная радиолокационная станция, работающая в С-диапазоне на частоте 5,255 ГГц, производит измерение поверхностной влажности почвы (на глубине до 2 см) в относительных единицах. Измерения производятся 1–2 раза в сутки с разрешением 25×25 км.

Для сравнения спутниковые и наземные наблюдения были соотнесены по координатам и по времени. Также, спутниковые данные преобразованы из относительных единиц в абсолютные значения – объемную влажность ($\text{м}^3/\text{м}^3$). Для пересчета спутниковых измерений в объемные единицы использован метод, описанный в работе [1].

Согласно методу, для пересчета используется следующая линейная зависимость:

$$\theta_{scat}(t) = a + b \times m_s(t) \quad (1)$$

где $m_s(t)$ – данные влажности почвы, полученные со спутника; $\theta_{scat}(t)$ – значение влажности, полученные со спутника в объемных единицах; а и b – некоторые коэффициенты.

Исходное уравнение применяется для определения параметров а и b. Предполагая, что в каждой точке сетки $\theta_{scat}(t)$ имеет такое же среднее значение и дисперсию, как и измерения влажности почвы на станциях, получим следующие выражения для расчета коэффициентов а и b:

$$b = \frac{\sigma_{UM}}{\sigma_{m_s}} \quad (2)$$

$$a = \overline{\theta_{UM}} - b \times \overline{m_s} \quad (3)$$

где σ_{UM} – стандартное отклонение по данным станционных измерений;

σ_{m_s} – стандартное отклонение по данным спутника;

$\overline{\theta_{UM}}$ и $\overline{m_s}$ – средние значения за рассматриваемый промежуток времени для станционных и спутниковых измерений соответственно [1,2].

Для каждой станции были выполнены расчеты коэффициентов a, b , а также величин $\sigma_{UM}, \sigma_{ms}, \overline{\theta_{UM}}, \overline{m_s}$.

В качестве критериев для оценки качества спутниковых данных были выбраны: коэффициент корреляции Пирсона, абсолютная ошибка, относительная ошибка спутниковых измерений.

Выводы получены при использовании статистических методов, пакетов прикладных программ Microsoft Office, Statistica, MatLab, карты-схемы построены с помощью пакетов программ ArcGIS, Surfer.

Научная новизна работы.

1. Отработана методика сопоставления результатов измерений прямых и дистанционных измерений влажности почвы;
2. Определены типы подстилающей поверхности для которых спутниковая измерительная система наиболее достоверно отражает значения влагосодержания поверхностного слоя почвы;
3. Построена карта-схема пространственного влагосодержания почвы для территории юга Томской области.
4. Произведена оценка спутниковых измерений влажности почвы над территорией Западной Сибири и территории юго-западного Прибайкалья.

Научная и практическая значимость работы.

Значения влажности, измеренные с помощью спутников, необходимы в качестве входных данных для мезомасштабных моделей атмосферы, что улучшит прогноз погоды, включая прогноз осадков и опасных конвективных явлений. Исследование [10] показало, что учет почвенных переменных, в том числе значений влагосодержания почвы, в схеме задания начальных данных для полулагранжевой модели прогноза погоды ПЛАВ существенно улучшает качество прогноза температуры и относительной влажности воздуха на высоте 2 м на равнинных территориях.

Результаты также необходимы в гидрологических расчетах для прогнозирования стока, раннего предупреждения наводнений; в экологических оценках, для прогноза эрозии почвы; в климатических исследованиях, мониторинге засухи, расчет пожароопасности, а также для сельского хозяйства, поскольку для пахотных земель спутниковые измерения показали хорошие результаты, они могут быть использованы при расчете урожайности.

Степень достоверности расчетов, представленных в работе, подтверждается большим объемом и качеством анализируемых данных наблюдений, корректным комплексным использованием современных методов и средств математического аппарата, оценками статистической значимости результатов, а так же их апробацией на различных конференциях и семинарах.

Апробация результатов. Результаты исследований по теме диссертации докладывались на 8 международных, всероссийских симпозиумах и конференциях, а именно: Международной конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» (Иркутск, 2013 г.); 53-й Международной научной студенческой конференции (Новосибирск, 2015 г.); XXI международном симпозиуме "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" ИОА СО РАН (Томск, 2015); XI Сибирском совещании по климато-экологическому мониторингу ИМКЭС СО РАН (Томск, 2015); второй Международной научной конференции "Климатология и гляциология Сибири" ТГУ (Томск, 2015); XXII международном симпозиуме "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" в ИОА СО РАН (г.Томск, 2016); XII Сибирском совещании и Школе молодых ученых по климато-экологическому мониторингу ИМКЭС СО РАН (Томск, 2017); конференции "Современные проблемы географии и геологии" НИ ТГУ, (Томск, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 5 работ в сборниках материалов симпозиумов, включенных в базы Scopus и Web of Science.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке задачи, сборе и обработке материала, расчетах и анализе полученных результатов.

Основные защищаемые положения

1. Результаты сравнения данных по влажности поверхностного слоя почвы с использованием прибора ASCAT показали удовлетворительную согласованность с реальными данными прямых измерений влажности, выполняемых на станциях.
2. По результатам спутниковых измерений статистически достоверно выделяются ландшафты, для которых характеристики влажности полностью соответствуют измеренным наземными методами.
3. За последнее десятилетие запасы продуктивной влаги в почвах юга Томской области увеличились на отдельных станциях до 30%. Величина запасов продуктивной влаги имеет меридиональную составляющую и уменьшается с запада на восток.

Поскольку скаттерометр ASCAT наиболее достоверно отражает реальные значения влажности почвы для определенных ограниченных типов подстилающей поверхности, в частности однородных равнинных территорий, с определенным типом растительного покрова, необходимо привлечь данные других спутниковых измерительных систем, для создания возможности получения полной картины влагосодержания почвы на территории Западной Сибири.

Это актуально, поскольку большая часть территории Западной Сибири в различной степени переувлажнена и заболочена [21], для таких поверхностей измерения прибора ASCAT неудовлетворительно отражают реальные значения влажности почвы. На основе полной информации для разных подстилающих поверхностей можно построить карту-схему пространственного распределения полей влажности с нужным масштабом для той или иной схемы численного прогноза.

Основные результаты

1. Оценка взаимосвязи спутниковых и наземных измерений влажности почвы для территории США и России

На начальном этапе исследования необходимо было определить, насколько сенсор чувствителен к реальным значениям влажности почвы, и для какого процента территории согласованность спутниковых и наземных наблюдений является удовлетворительной. Для этого был выбран большой массив данных измерений влажности почвы на 524 станциях США, станции относятся к 5 сетям наблюдений и охватывают практически всю территорию. Такой выбор территории обусловлен наличием большого объема данных в свободном доступе, что позволяет в полной мере отработать предложенную методику обработки данных и получить максимально статистически достоверные результаты.

Для пространственного анализа тесноты связи данных по горизонтали построены карты распределения коэффициентов корреляции и относительных ошибок для территории США.

На рисунке 1 представлена исследуемая территория, на которой отмечены значения коэффициентов корреляции r для спутниковых и станционных наблюдений. Интервалы r выбраны в соответствии с принятыми градациями [17].

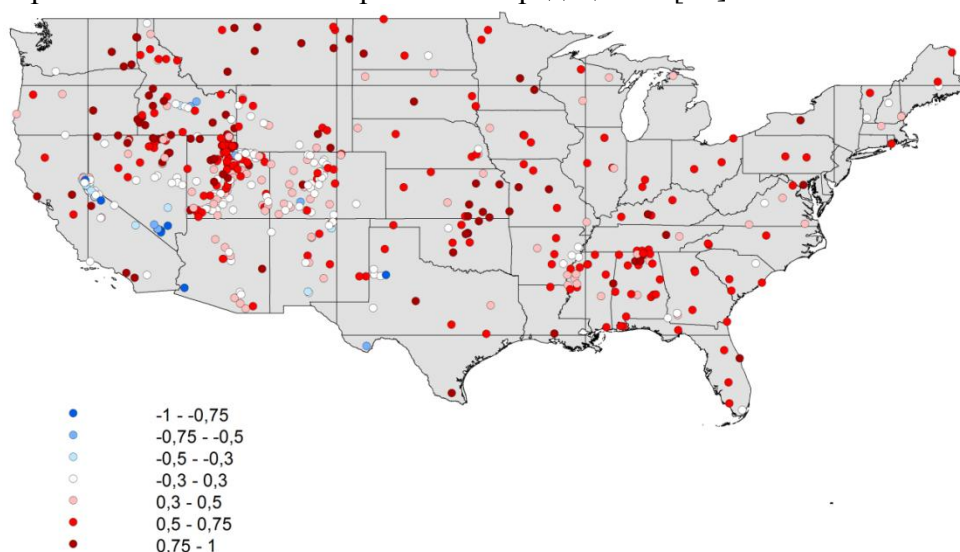


Рисунок 1 – Карта с точечным представлением корреляции спутниковых данных с наземными наблюдениями.

Видно, что на всей территории встречаются станции с различной корреляцией, большая часть из которых является значимой.

Для того, чтобы оценить для какого процента исследуемой территории имеется удовлетворительная взаимосвязь спутниковых и наземных измерений построена гистограмма распределения числа станций в зависимости от коэффициентов корреляции в выбранных диапазонах (Рисунок 2). Из рисунка 2 видно, что на большей части территории (52% станций) спутниковые и наземные данные достаточно согласованы: коэффициент корреляции больше 0.5.

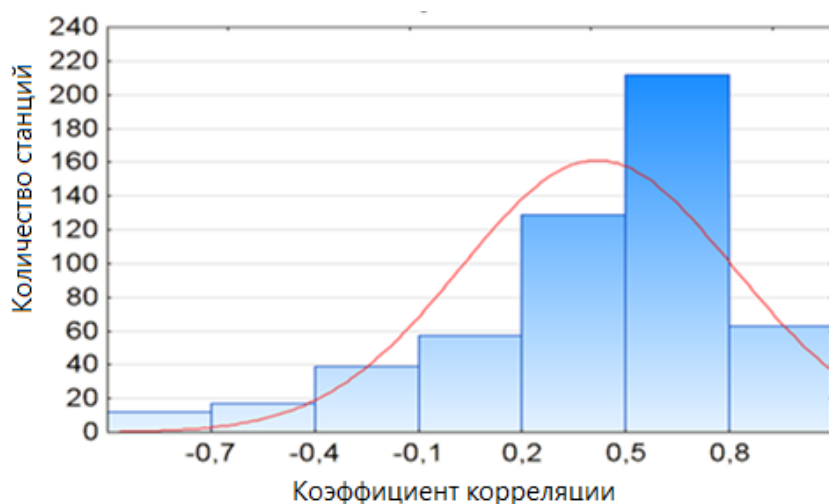


Рисунок 2 – Гистограмма распределения числа станций в зависимости от тесноты связи со спутниковыми данными

Удовлетворительная зависимость получена преимущественно в районах с однородной ровной поверхностью. В основном территория Великих равнин и ровная поверхность низменностей на юго-востоке страны.

Важным параметром, характеризующим взаимосвязь между рядами данных, является относительная погрешность. Она учитывает как абсолютную погрешность оценки, так и фактические средние значения влажности.

На рисунке 3 изображено пространственное распределение относительной ошибки спутниковых измерений. На большей части территории относительная погрешность оценки влагосодержания почвы не превышает 40%.

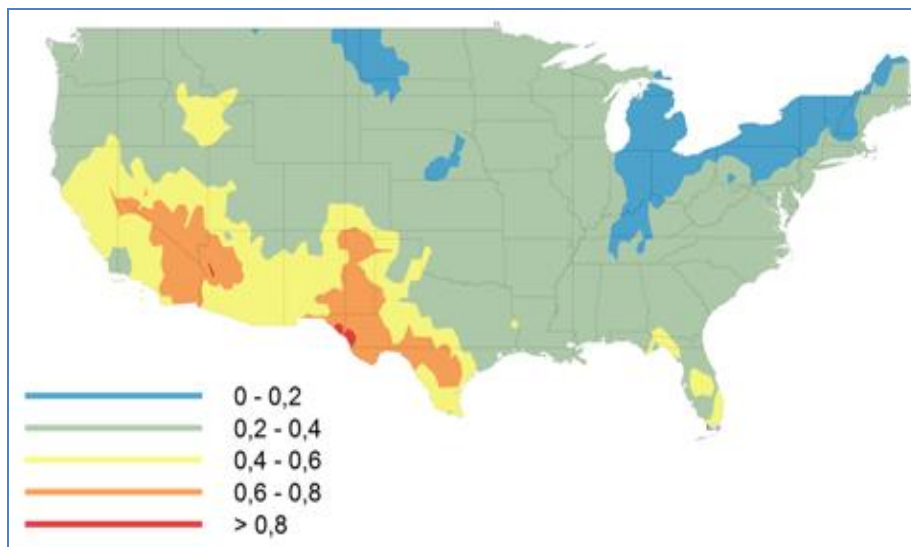


Рисунок 3 – Пространственное распределение относительной ошибки измерений спутника

Наименьшая погрешность характерна для северо-восточных районов. В засушливых районах юго-западной части территории относительная погрешность может достигать 80 % и более. Это можно объяснить засушливостью климата на юге, юго-западе США – значения влажности почвы настолько низки, что находятся на уровне шума для скаттерометра. Большая относительная погрешность обусловлена также топографической сложностью территории. Для переувлажненной, болотистой почвы Флориды также наблюдается большая относительная погрешность [12].

Полученные результаты хорошо согласовываются с проведенными исследованиями для других территорий [7,14].

Поскольку почвенный покров имеет очень неоднородный характер с точки зрения пространственного распределения и разнообразные гидрофизические свойства, целесообразным является рассмотрение меньших по площади территорий, с учетом местных особенностей водного режима и свойств почв.

Методика, показавшая удовлетворительный результат на большом объеме материала применена для территории России.

Исследования проводились для территории Тункинской котловины и территории юга Томской области. Оценка спутниковых измерений проводилась с привлечением наземных измерений, производимых на 10 измерительных площадках [15].

Помимо основных критериев оценки спутниковых данных для территории Тункинской котловины также рассчитана разница высот между соответствующими наземными и спутниковыми точками измерения.

Результаты оценки данных приведены в таблице 1.

Из рассмотренных 10 станций 2 не имеют взаимосвязи со спутниковыми данными, 5 имеют слабую зависимость, 3 станции достаточно хорошо согласуются со спутниковыми измерениями (коэффициент корреляции > 0.5).

Прослеживается зависимость тесноты связи от разницы высот между спутниковой и наземной точками измерения. При различии более 8 м взаимосвязь данных заметно ухудшается. Относительная ошибка менее 34 %, а для большинства станций менее 10 %.

Таблица 1 – Результаты сравнения данных по влажности почвы для территории Тункинской котловины

Номер измерительной площадки	Разница высот, м	Абсолютная ошибка, м ³ /м ³	Относительная ошибка, %	r	Средняя влажность, м ³ /м ³
26	27	0.046	23	0.05	0.20
27	23	0.030	34	0.27	0.09
28	13	0.004	1	0.05	0.29
29	7	0.010	4	0.57	0.24
30	42	0.006	5	0.44	0.11
32	5	0.014	9	0.56	0.16
34	4	0.006	2	0.28	0.43
35	8	0.008	9	0.53	0.08
36	76	0.029	3	0.20	0.95
38	4	0.003	1	0.27	0.39

Поскольку для территории России статистическая оценка взаимосвязи спутниковых и наземных измерений проводилась на более коротких рядах данных, чем для территории США, возникла необходимость в оценке достоверности коэффициентов корреляции. Для этого рассчитана ошибка коэффициента корреляции σ_r , величина которой зависит от самого значения коэффициента корреляции и от длины коррелируемых рядов. Результаты оценки представлены в таблице 2.

Согласно [17], если отношение коэффициента корреляции к его ошибке r/σ_r превышает 2, то коэффициент корреляции вполне надежно отражает зависимость коррелируемых признаков с достоверной вероятностью, близкой к единице. При $r/\sigma_r < 2$ возникает сомнение в правильности предположения линейной корреляционной связи.

Таблица 2 – Параметры оценки достоверности коэффициентов корреляции для измерительных площадок в Тункинской котловине

Номер измерительной площадки	R	Длина ряда	σ_r	r/σ_r
26	0,05	219	0,07	0,7
27	0,27	218	0,06	4,3
28	0,05	39	0,16	0,3
29	0,57	60	0,09	6,4
30	0,44	57	0,11	4,1
32	0,56	26	0,17	3,3
34	0,28	62	0,12	2,3
35	0,53	63	0,09	5,9
36	0,20	51	0,13	1,5
38	0,27	37	0,16	1,6

Из таблицы видно, что для всех наземных точек измерения, за исключением площадок 26 и 28, для которых корреляция близка к нулю, коэффициент корреляции является значимым.

На рисунке 4 представлен временной ход влажности почвы на одной из точек с использованием двух видов наблюдений (спутниковых и наземных).

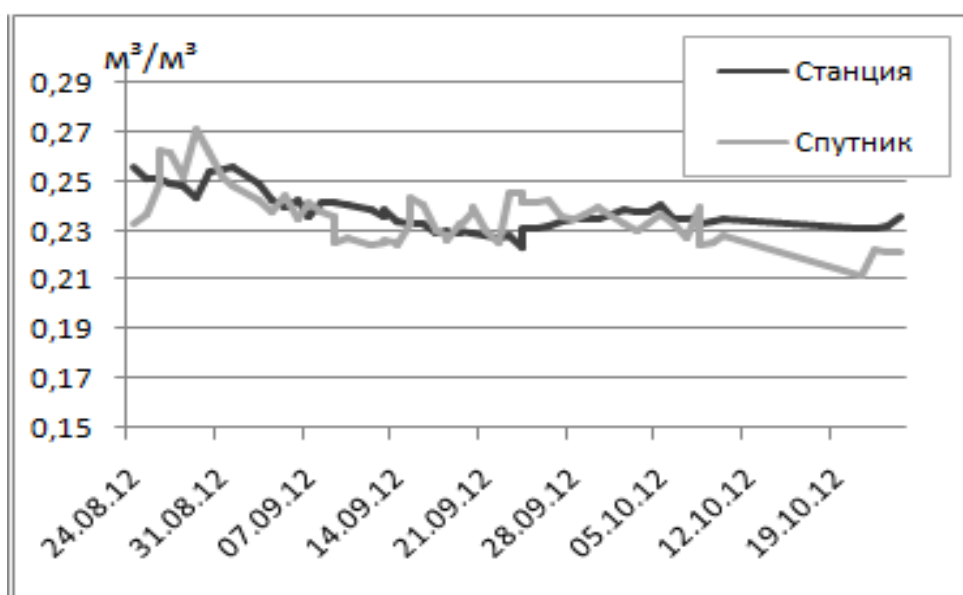


Рисунок 4 – Ход влажности почвы по данным спутника и измерительной площадки № 29

Видно, что ход достаточно синхронный. В целом уточненные спутниковые данные по влажности верхнего слоя почвы и прямые наблюдения на глубине 15 см имеют удовлетворительную связь.

Аналогичная оценка качества спутниковых измерений влажности почвы проводилась для территории юга Томской области. Рассчитанные критерии оценки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты сравнения данных по влажности почвы для территории Томской области

Станция	Абсолютная ошибка, м³/м³	Относительная ошибка, %	r	Среднее значение, м³/м³
Бакчар	0,04	2	0,32	0,22
Томск	0,06	29	0,48	0,2
Первомайское	0,05	34	0,36	0,14
Кожевниково	0,03	19	0,68	0,16
Молчаново	0,06	26	0,33	0,21
Подгорное	0,04	2	0,1	0,18

Из таблицы 3 видно, что измерения только двух станций (Томск, Кожевниково) имеют удовлетворительную согласованность по спутниковыми измерениями. Относительная ошибка для всех станций варьируется в пределах 20-30%. Средняя абсолютная ошибка для всех станций не превышает 0,05 м³/м³.

Таблица 4–Параметры оценки достоверности коэффициентов корреляции для станций Томской области

Название	r	Длина ряда	σ_r	r/σ_r
Бакчар	0,32	44	0,15	2,2
Томск	0,48	57	0,10	4,7
Первомайское	0,36	53	0,12	3,0
Кожевниково	0,68	58	0,07	9,7
Молчаново	0,33	61	0,11	2,8
Подгорное	0,1	30	0,19	0,5

Оценка достоверности коэффициентов корреляции (Таблица 4) показала, что для всех станций, кроме станции Подгорное, надежно отражает зависимость коррелируемых признаков. Такой результат для станции Подгорное получен ввиду низкого значения коэффициента корреляции и длины анализируемого ряда.

Построена карта-схема распределения коэффициентов корреляции для территории юга Томской области (Рисунок 5).

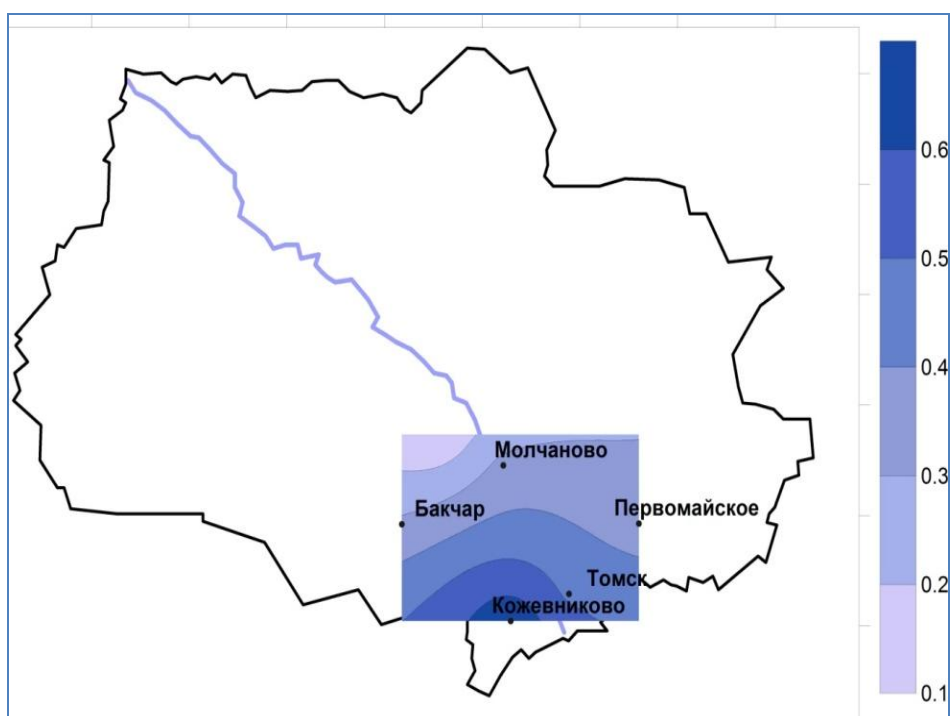


Рисунок 5. – пространственное распределение коэффициента корреляции для территории юга Томской области.

Заметнозначительное улучшение степени взаимосвязи данных при движении с севера на юг.

На рисунке 6 представлен временной ход двух рядов данных для станции с наибольшим коэффициентом корреляции.

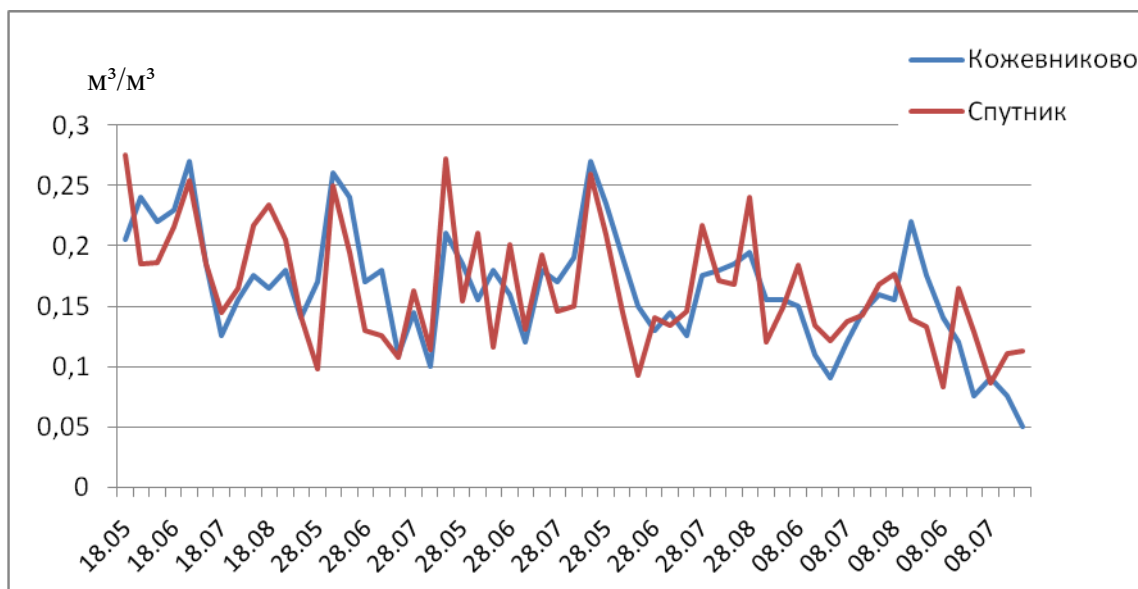


Рисунок 6. – ход влажности почвы для станции Кожевниково и спутниковых измерений.

Для станции Кожевниково ход двух рядов данных достаточно синхронный, спутниковые данные хорошо отражают реальные колебания влагосодержания почвы на станции.

В целом измерения прибора ASCAT показали удовлетворительную согласованность с наземными измерениями влажности почвы. Следовательно, оцененные по спутниковым данным значения могут быть использованы для получения, как текущих характеристик влажности, так и для расчета статистических характеристик, которые необходимы для развития численных прогностических полей в региональных моделях.

Таким образом, мы подтвердили, что спутниковые измерения для отдельных территорий удовлетворительно согласуются с наземными измерениями и достаточно достоверно отражают реальные значения влажности почвы. Таким образом, доказано первое защищаемое положение.

2. Оценка спутниковых измерений ASCAT в зависимости от типа подстилающей поверхности.

Проведена оценка тесноты взаимосвязи данных в зависимости от характера подстилающей поверхности, классифицированной по типу растительности. В качестве определяющих признаков выбрана классификация растительности IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme), которая включает в себя 17 классов поверхностей, выделенных в зависимости от степени покрытости территории определенным типом растительности. Данная классификация имеет глобальный охват, была создана с использованием данных усовершенствованного радиометра очень высокого разрешения - 1 км. Используемая методология классификации представляла собой кластеризацию без контроля, за которой следовало уточнение классификации по континентам [3]. Классы поверхностей и их краткое описание представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Типы поверхностей, согласно классификации IGBP

ID	Полное название	Перевод	Описание
DBF	Deciduous Broadleaf Forests	Листопадные широколиственные леса	Преобладание древесной растительности с процентным покровом > 60% и высотой > 2 м. Состоит из широколиственных древесных сообществ с годовым циклом листовых и безлистных периодов.
ENF	Evergreen Needleleaf Forests	Вечнозеленые хвойные леса	Территории, покрытые хвойной древесной растительностью на 60% и более, высота деревьев более 2 м. Почти все деревья остаются зелеными весь год.
OSH	Open Shrublands	Открытые местности, покрытые кустарником на 10-60%	Земли с древесной растительностью менее 2 м высотой и с кустарниковым навесом покрывают от 10% до 60%. Кустарник может быть как вечнозеленым, так и лиственным.
WSA	Woody Savannas	Лесистые саванны (лес 30-60%)	Земли с травянистыми и другими подлесковыми системами и с пологом леса, который занимает от 30% до 60%. Высота лесного покрова превышает 2 м.
CRO	Croplands	Пахотные земли	Земли, покрытые временными посевами, с последующим сбором урожая и периодом голой почвы (однократной и многократной системой посева).
URB	Urban and Built-Up Lands	Урбанизированные и застроенные территории	Земля покрыта зданиями и другими искусственными сооружениями
MF	Mixed Forests	Смешанные леса	Земли с преобладанием деревьев с процентным покровом > 60% и высотой более 2 м. Состоит из древесных сообществ с вкрапленными смесями или мозаиками четырех других типов леса. Ни один из типов леса не превышает 60% ландшафта
CSH	Closed Shrublands	Местности, закрытые кустарником более, чем на 60%	Земли с древесной растительностью менее 2 м и покровом кустарника > 60%. Кустарник может быть как вечнозеленым, так и лиственным.
SAV	Savannas	Саванны (лес 10-30%)	Земли с травянистыми и другими подлесковыми системами и с пологом леса занимают от 10% до 30%. Высота лесного покрова превышает 2 м.
GRA	Grasslands	Луга	Территории с травянистыми видами покрова. Древесно-кустарниковый покров составляет менее 10%.
GRO	Cropland / natural vegetation mosaics	Мозаика пахотных земель/ естественная растительность	Территории с мозаикой из пахотных земель, леса, кустарников и луга, на которых ни одна из этих компонент не составляет более 60% от общей территории.

При сравнении с другими глобальными классификациями IGBP показала более высокую точность[3]. Для каждой станции определен тип поверхности согласно классификации.

На рисунке 7 в качестве примера показана относительная ошибка и корреляция для двух сетей станций с разным типом поверхности, выделенных по типу растительности IGBP.

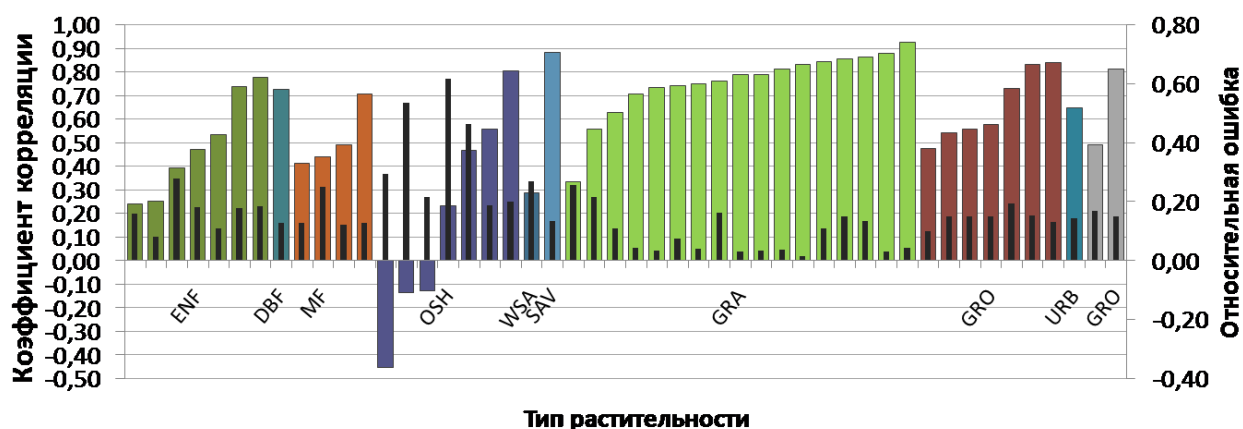


Рисунок 7– Коэффициенты корреляции, относительная ошибка для станций (сетей COSMOS, ARM) с различным типом растительности

Наиболее тесная зависимость наблюдается для таких типов растительности, как: луг, смешанные леса, саванны, пахотные земли. Наименьшую относительную ошибку имеют точки сравнения (спутниковая и станционная) с типом растительности луг и пахотные земли.

Самый низкий коэффициент корреляции и наибольшая относительная ошибка прослеживаются для типов поверхности открытые с кустарниками, а также для пустынных районов. Тип поверхности «открытый с кустарниками» характерен для горных территорий. На рисунке 8 изображены диаграммы размаха коэффициента корреляции и относительной ошибки для разных типов растительности. Наибольший разброс значений имеют типы растительности –открытые с кустарником и вечнозеленые хвойные леса. Эти же типы имеют наименьшее среднее значение коэффициента корреляции и наибольшее среднее значение относительной ошибки.

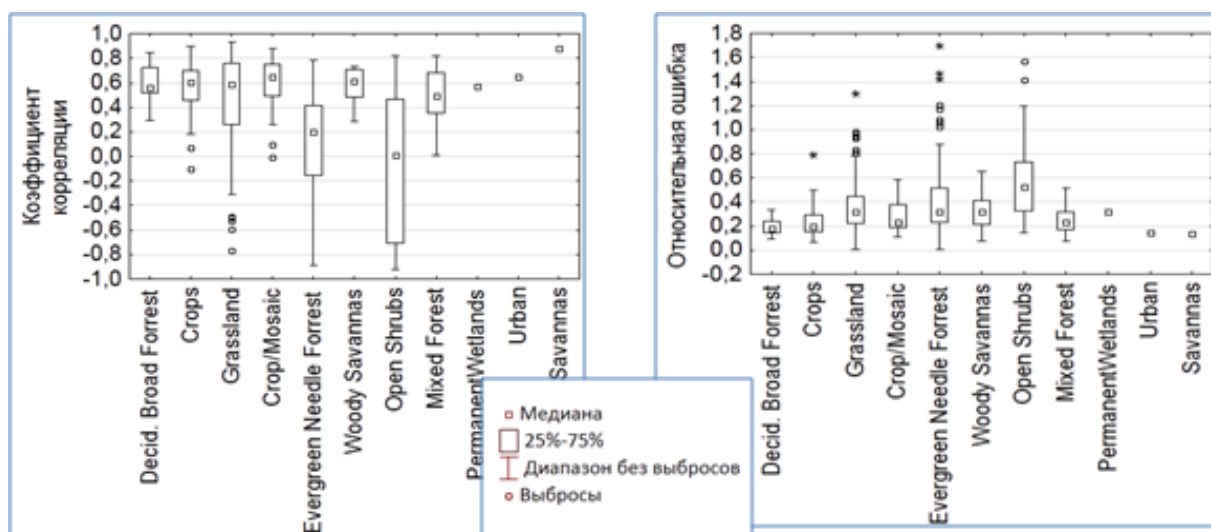


Рисунок 8– Диаграмма размаха коэффициентов корреляции и относительной ошибки для разных типов растительности

Абсолютная ошибка в большинстве случаев не превышает $0.04 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Теснота связи так же зависит от степени однородности подстилающей поверхности в точках сравнения. Для равнинных местностей степень согласованности спутниковых и наземных измерений гораздо выше, чем для топографически сложных территорий [12].

Для территории Тункинской котловины также был определен тип поверхности согласно глобальной классификации IGBP и произведена визуальная оценка типа поверхности и механический состав почв.

Для большинства измерительных площадок преобладающими являются песчаные и супесчаные почвы, пашни и болота. Пункты наблюдений также имеют разную степень покрытия растительным покровом, преимущественно: подросток сосны, луг и открытая песчаная поверхность среди соснового леса. По классификации IGBP это в основном смешанные леса и мозаичные неоднородные по характеру растительности территории.

Таблица 6 – Результаты сравнения спутниковых данных со стационарными измерениями и тип поверхности на измерительных площадках Тункинской котловины

№ измерительной площадки	Механический состав почвы	IGBP	Абсолютная ошибка, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Относительная ошибка, %	R
26	Песок	Мозаичные	0.046	0.229	0.05
27	Песок	Мозаичные	0.030	0.348	0.27
28	Супесь	Смешанные леса	0.004	0.014	0.05
29	Супесь	Смешанные леса	0.010	0.042	0.57
30	Супесь	Смешанные леса	0.006	0.052	0.44
32	Супесь	Смешанные леса	0.014	0.088	0.56
34	Болото	Мозаичные	0.006	0.015	0.28
35	Песок	Мозаичные	0.008	0.096	0.53
36	Болото	Мозаичные	0.029	0.031	0.20
38	Болото	Мозаичные	0.003	0.007	0.27

Из таблицы видно, что неудовлетворительная взаимосвязь спутниковых и наземных наблюдения чаще наблюдается для переувлажненных территорий. Для всех измерительных площадок, расположенных на болотах отмечаются низкие значения коэффициента корреляции. Что касается классификации IGBP, то наилучшая согласованность прослеживается для типа смешанные леса.

Выбранные для оценки спутниковых измерений станции Томской области находятся в различных ландшафтных подзонах и климатических районах. Так, станция Томск относится к подзоне сосново-мелколиственных лесов (подтайга), станция Кожевниково к северной лесостепи, остальные станции к подзоне южной тайги. Анализ возможной продуктивности климата позволяет рассматривать Томскую область как территорию, обладающую большим биологическим потенциалом. Отмечено, что в лесостепной зоне потенциально возможный урожай выше, чем в остальных подзонах. наилучшим показателем влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в период вегетации является увлажнение почвы [20].

Почвенный покров области довольно разнообразный. Наибольшее распространение здесь имеют почвы подзолистого типа в сочетании с болотными и различными переходными заболоченными образованиями. Высокая заболоченность (до 30%)

водоразделов области определяет их малую доступность (проходимость) и слабую освоенность.

На севере и востоке территории в почвенном покрове наблюдают подзолы.

Дерново-подзолистые почвы распространены преимущественно на западе, юго-западе и юго-востоке области. Небольшими участками они встречаются так же в южных районах. Используются они во всех видах хозяйственного назначения, но с меньшей производительностью, чем серые лесные почвы.

В южных районах области почвенный покров представлен серыми и темно-серыми лесными почвами в сочетании с выщелоченными черноземами, небольшими участками в долинах рек развиты луговые почвы. Наиболее освоена в сельскохозяйственном отношении территория, расположенная в южных районах области [9].

На каждой станции определены тип почвы и ее основные агрогидрологические свойства.

Таблица 7– Результаты сравнения спутниковых данных со станционными измерениями и тип поверхности на агрометеорологических станциях Томской области.

Станция	Тип почвы	IGBP	Абсолютная ошибка, м ³ /м ³	Относительная ошибка, %	г
Бакчар	Среднеподзолистая легкосуглинистая	Мозаичные	0,04	19	0,32
Томск	Темно-серая лесная суглинистая	Мозаичные	0,06	29	0,48
Первомайское	Темно-серая оподзоленная суглинистая	Смешан- ные леса	0,05	34	0,36
Кожевниково	Чернозем выщелоченный суглинистый	Мозаичные	0,03	19	0,68
Молчаново	Серая лесная суглинистая	Мозаичные	0,06	26	0,33
Подгорное	Светло-серая лесная суглинистая	Переувла- жненные территории	0,04	19	0,1

Наиболее тесная взаимосвязь спутниковых и наземных наблюдений получена для станции Кожевниково, которая является самой южной из рассматриваемых станций. Для данной области преобладающим типом почв является чернозем выщелоченный суглинистый. Удовлетворительная зависимость также получена для станции Томск, для которой характерны серые лесные почвы.

Спутниковые измерения над станциями, расположенными в подзоне южной тайги показали неудовлетворительную согласованность с прямыми наземными измерениями. Отсутствие корреляционной зависимости показали станции, расположенные на переувлажненных территориях.

Из анализа результатов статистической оценки согласованности спутниковых и наземных измерений для территории России получено, что почвы легкого механического состава (песчаные и супесчаные) имеют такой же отклик с точки зрения точности дистанционных измерений влагосодержания, по сравнению с суглинистыми почвами.

Удовлетворительные результаты получены для 30 % станций для территории Томской области (суглинистые почвы) и 30 % измерительных площадок Тункинской котловины (песчаные и супесчаные почвы). Слабая корреляционная зависимость или ее отсутствие наблюдается для переувлажненных территорий и территорий с неоднородной поверхностью.

По глобальной классификации IGBP наилучшие результаты получены для типов растительности: луг, смешанные леса, саванны, пахотные земли. Для мозаичных территорий, неоднородных по типу растительности точность спутниковых измерений имеет неоднозначный характер, для территории США для этого типа подстилающей поверхности имеется достаточно тесная связь ($r_{\text{ср}}=0,6$), для территории России значения коэффициентов корреляции изменяются в широком диапазоне. Самый низкий коэффициент корреляции и наибольшая относительная ошибка получены для типов поверхности "открытые с кустарниками".

Таким образом, выявлены территории, для которых спутниковое определение влажности перспективно и неперспективно. Таким образом, доказано второе защищаемое положение.

3. Исследование временной и пространственной изменчивости влагосодержания почв на территории Томской области за теплый период.

Оценена пространственная и временная изменчивость влагосодержания почвы для юга Томской области по данным агрометеорологических измерений за последние 10 лет (теплый период 2007-2017 гг.).

На рисунке 9а представлена межгодовая изменчивость запаса продуктивной влаги в почве на станциях, расположенных от $56^{\circ}15' \text{с.ш.}$ (Кожевниково) до $57^{\circ}47' \text{с.ш.}$ (Подгорное).

Кроме межгодовой изменчивости представляет интерес изменчивость изучаемой характеристики внутри теплого периода (рис. 9 б).

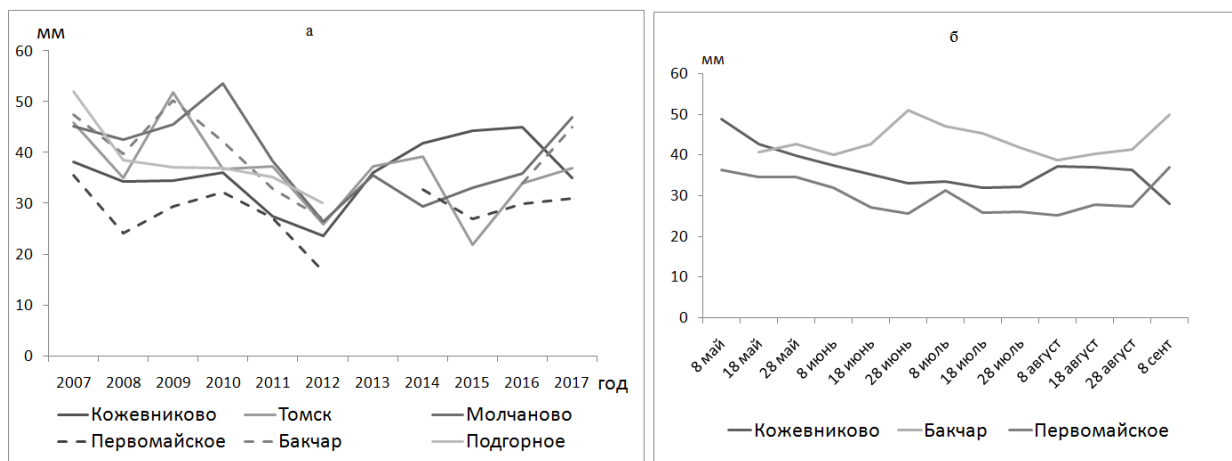


Рисунок 9 – Межгодовая изменчивость запаса продуктивной влаги в почве на станциях Томской области (а) и средние декадные значения запаса продуктивной влаги в почве (мм) в слое 0-20 см (б).

На всех станциях влажность ведет себя достаточно синхронно. Минимум запаса продуктивной влаги в почве практически для всех станций (кроме Томска) наблюдается в 2012 г., что хорошо согласуется с описанной в литературе погодной аномалией [19].

По сравнению с данными справочника [9] по многолетним агроклиматическим значениям запасов продуктивной влаги в почве в слое 0-20 см средние значения за рассматриваемый период отличаются от 1 до 9 мм. Для станции Молчаново наблюдается

понижение влагосодержания почвы, для остальных станций замечен рост запасов продуктивной влаги в почве по сравнению со средними многолетними агроклиматическими значениями.

Внутрисезонный ход влажности почвы для большинства станций примерно одинаков с максимумом в первой-второй декадах мая и минимумом в середине лета. На общем фоне выделяется станция Бакчар, для которой характерен максимум влажности почвы в третьей декаде июня, в то время как для остальных станций на это время приходится один из минимумов. Для этой станции также наблюдаются самые высокие значения запасов продуктивной влаги, которые можно оценить как «хорошие» (т.е. более 40 мм [13]). Самые низкие значения за весь период наблюдаются на станции Первомайское, которые, как и на других из рассматриваемых станциях, можно оценить как «удовлетворительные» (20-40 мм) [13]. Амплитуда колебания влажности почвы внутри теплого периода уменьшается при движении с юга на север от 21 мм (Кожевниково) до 12 мм (Подгорное) и с гораздо меньшим градиентом с запада на восток, при сравнении с многолетними агроклиматическими данными из справочника [9] видно, что абсолютные значения амплитуды за последнее десятилетие меньше, однако пространственная направленность изменения амплитуды идентична: Кожевниково - 39 мм, Первомайское - 27 мм.

Для более детального рассмотрения были выбраны самый влажный (2009) и сухой (2012) годы. Ход запаса продуктивной влаги в почве по декадам за теплый период, в виде значений, осредненных по всем станциям, представлен на рисунке 10.

Для 2009 года характерен ход с максимальными значениями в начале рассматриваемого периода, и двумя минимумами в первой декаде июня и в середине лета. Для 2012 года характерно постепенное уменьшение значений влажности почвы от мая к августу, что связано с отсутствием осадков в летний период.

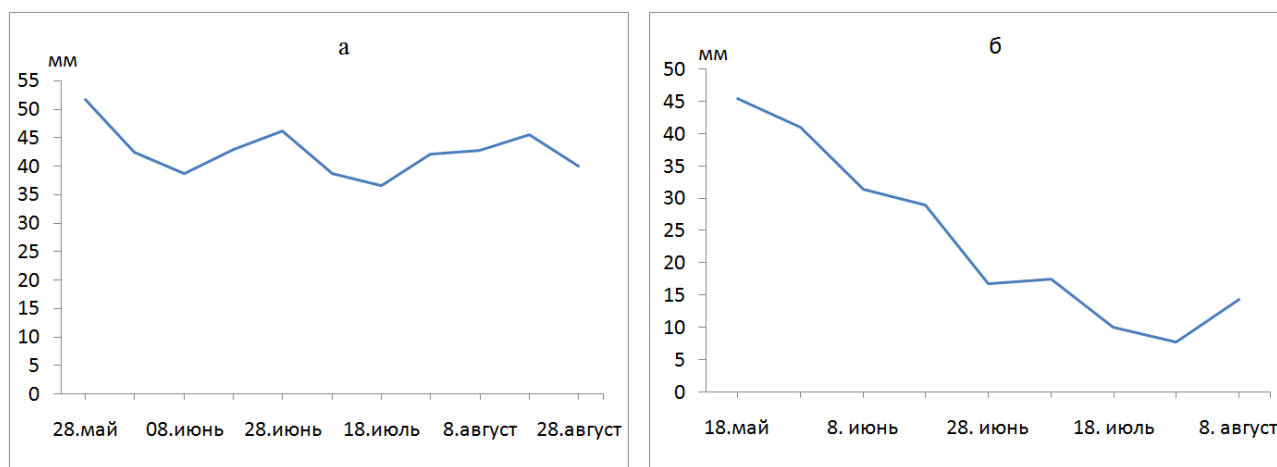


Рисунок 10 – Ход запаса продуктивной влаги в почве (мм) по декадам для 2009 (а) и 2012 (б) гг.

Поскольку почвенный покров имеет мозаичный характер и очень разнообразные гидрофизические свойства, обобщение данных о влажности почвы для больших территорий вызывает трудности [22]. Поэтому целесообразным является рассмотрение меньших по площади территорий.

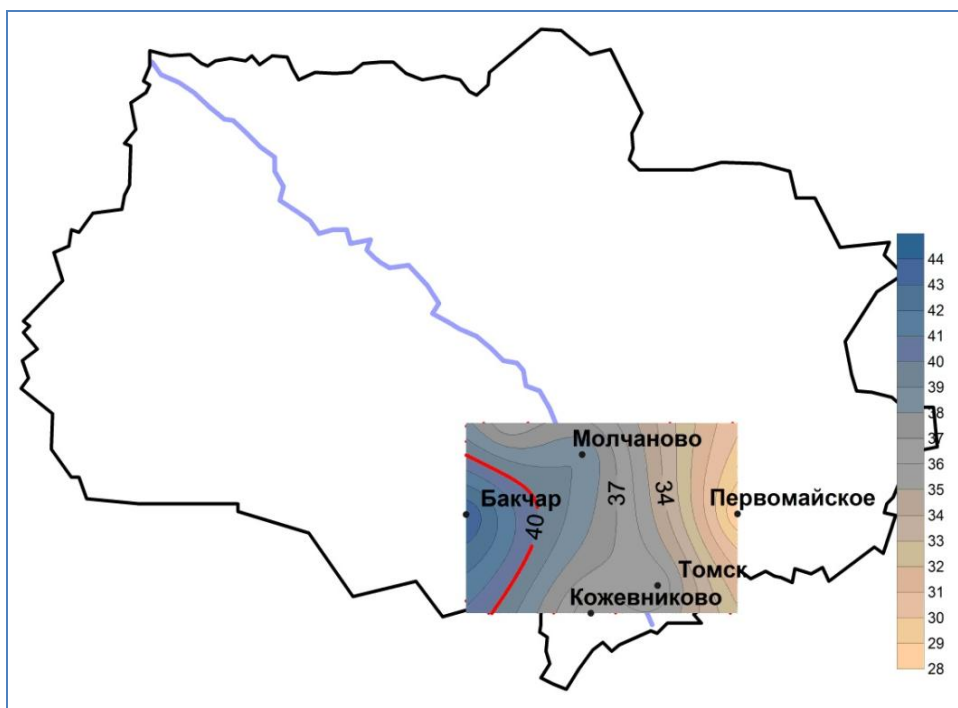


Рисунок 11– Пространственное распределение средних значений запасов продуктивной влаги за теплый период 2007-2015 гг.

Заметна меридиональная структура поля запасов средней годовой продуктивной влаги в почве за весь период исследования. При движении с запада на восток величина исследуемой характеристики заметно уменьшается от станции Бакчар (45 мм) до станции Первомайское (29 мм)[11].

Таким образом, доказано третье защищаемое положение.

Заключение

Целью работы являлась разработка методики оценки пространственных характеристик влажности почвы на территории России за теплый период по данным спутниковых измерений.

Решены следующие задачи:

7. Оработана методика оценки качества спутниковой информации в зависимости от типа подстилающей поверхности для территории США.

8. По результатам оценки качества спутниковой информации получены закономерности характеристик влажности, измеренных дистанционными и прямыми методами для разных типов подстилающей поверхностей, выделенных по типу растительности.

9. Оработанная методика применена для оценки влажности почвы над территорией Прибайкалья для разных типов ландшафтов.

10. Верифицированная над территорией Тункинской котловины методика применена для определения влажности поверхностного слоя почвы для территории Томской области.

11. Выявлены пространственная и временная изменчивости влагосодержания почвы по данным современных измерений на агрометеорологических станциях для юга Томской области и данным агроклиматического справочника 1975 года выпуска.

Получено:

1. Измерения прибора ASCAT показали удовлетворительную согласованность с наземными измерениями влажности почвы. Для обучающей выборки получено, что в 52%

случаев спутниковые и наземные данные достаточно согласованы: коэффициент корреляции больше 0.5 (объем выборки около 100 значений для каждой станции).

2. Для территории Прибайкалья для 30% станций спутниковые измерения достоверно отражают реальные значения влагосодержания почвы. Из рассмотренных 10 станций 2 не имеют взаимосвязи со спутниковыми данными, 5 имеют слабую зависимость, 3 станции достаточно хорошо согласуются со спутниковыми измерениями (коэффициент корреляции > 0.5). Прослеживается зависимость тесноты связи от разницы высот между спутниковой и наземной точками измерения. При различии более 8 м взаимосвязь данных заметно ухудшается. Относительная ошибка менее 34 %, а для большинства станций менее 10 %.

3. Для территории юга Томской области для 30 % станций спутниковые наблюдения имеют удовлетворительную согласованность с наземными измерениями (коэффициент корреляции > 0.5). Относительная ошибка для всех станций варьируется в пределах 20-30%. Средняя абсолютная ошибка для всех станций не превышает 0,05 м³/м³. Коэффициенты корреляции для большинства станций статистически значимы.

4. Проведена оценка тесноты взаимосвязи данных в зависимости от характера подстилающей поверхности, классифицированной по типу растительности IGBP. Наилучшие результаты получены для типов растительности: луг, смешанные леса, саванны, пахотные земли. Для мозаичных территорий, неоднородных по типу растительности точность спутниковых измерений имеет неоднозначный характер. Самый низкий коэффициент корреляции и наибольшая относительная ошибка получены для типов поверхности "открытые местности с кустарниками". Удовлетворительная зависимость получена преимущественно в районах с однородной ровной поверхностью.

5. Наиболее тесная взаимосвязь спутниковых и наземных наблюдений получена для черноземов и серых лесных почв. Эти типы почв и характерны для территорий, используемых агропромышленным комплексом Томской области. Следовательно полученные с помощью спутников оперативные оценки влажности почвы могут быть использованы при принятии агротехнических решений и оценках ожидаемой продуктивности земель.

6. Спутниковые измерения над станциями, расположенными в подзоне южной тайги показали неудовлетворительную согласованность с прямыми наземными измерениями. Отсутствие корреляционной зависимости показали станции, расположенные на переувлажненных территориях и болотах.

7. Минимум запаса продуктивной влаги в почве практически для всех станций наблюдался в 2012 г., что хорошо согласуется с описанной в литературе погодной аномалией высоких температур воздуха.

8. За последнее десятилетие значения запасов продуктивной влаги в почве в слое 0-20 см отличаются от данных справочника на 1-9 мм. Для большинства станций замечен рост запасов продуктивной влаги в почве по сравнению со средними многолетними агроклиматическими значениями. Внутрисезонный ход влажности почвы для большинства станций примерно одинаков, с максимумом в первой-второй декадах мая и минимумом в середине лета. Самые низкие значения наблюдаются на станции Первомайское, которые можно оценить как «удовлетворительные» (20-40 мм). Самые высокие значения наблюдаются для станции Бакчар (более 40 мм).

9. Амплитуда внутригодовой изменчивости запасов продуктивной влаги в почве внутри теплого периода за последние 10 лет уменьшается при движении с юга на север от 21 мм (Кожевниково) до 12 мм (Подгорное) и с гораздо меньшим градиентом с запада на восток. При сравнении с многолетними агроклиматическими данными справочника получено, что абсолютные значения амплитуды за последнее десятилетие уменьшились. При этом сохраняется уменьшение амплитуды колебания влажности почвы при движении с юга на север: Кожевниково - 39 мм, Первомайское - 27 мм.

10. В годовых вариация влажности почвы за рассматриваемый период самый влажным является 2009 год, самым сухим 2012 год. Для 2012 года характерно постепенное уменьшение значений влажности почвы от мая к августу, что связано с отсутствием осадков в летний период.

11. Замечена меридиональная структура поля запасов средней годовой продуктивной влаги в почве за последнее десятилетие. При движении с запада на восток величина исследуемой характеристики заметно уменьшается от станции Бакчар (45 мм) до станции Первомайское (29 мм).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Бородина И. А.**, Кижнер Л. И., Богословский Н. Н., Ерин С. И., Рудиков Д. С. Сравнение спутниковых данных измерений влажности почвы ASCAT с прямыми измерениями // Вестн. Том. гос. ун-та. 2014. № 380. С. 181–184.– 0,47 усл. печ. л. / 0,094 усл. печ. л.

2. Богословский Н. Н., Кижнер Л. И., **Бородина И. А.**, Рудиков Д. С., Ерин С. И., Алипова К. А. Процедура контроля качества данных спутниковых измерений влажности почвы. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 09. С. 791–796.– 0,35 усл. печ. л. / 0,058 усл. печ. л.

Публикации в сборниках материалов симпозиумов, включенных в базы Scopus и Web of Science:

1. N.N. Bogoslovsky, S.I. Erin, I. Borodina, L.I. Kizhner. Comparison of ASCAT satellite soil moisture measurements data with in-situ measurements / 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics // Proc. of SPIE Vol. 9292, 92924M 2014. – 0,93 усл. печ. л. / 0,23 усл. печ. л.

2. N.N. Bogoslovskiy, S.I. Erin, I.A. Borodina, L.I. Kizhner. Filtration and assimilation of soil moisture satellite data / 21th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, edited by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii, Proc. of SPIE Vol. 9680, 96806V 2015.–0,58 усл. печ. л. / 0,15 усл. печ. л.

3. I.A. Borodina, L.I. Kizhner, N.N. Bogoslovskiy, D.S. Rudikov, S.I. Erin. The research of the soil moisture satellite measurements accuracy depending on the underlying surface characteristics / 21th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, edited by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii, Proc. of SPIE Vol. 9680, 96806C 2015.– 0,70 усл. печ. л. / 0,14 усл. печ. л.

4. I.A. Borodina, L.I. Kizhner, N.N. Voropay, N.N. Bogoslovskiy, S. I. Erin. Evaluation of satellite data on soil moisture in the south-west region of the Baikal / 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, edited by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii, Proc. of SPIE Vol. 10035, 100356I. 2016.– 0,58 усл. печ. л. / 0,12 усл. печ. л.

5. N.N. Bogoslovskiy, S.I. Erin, I.A. Borodina, L.I. Kizhner, K.A. Alipova. Satellite data assimilation in global numerical weather prediction model using Kalman filter 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, edited by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii, Proc. of SPIE Vol. 10035, 100356Z. 2016.–0,70 усл. печ. л. / 0,14 усл. печ. л.

Публикации в других изданиях

1. Потылицин И.В., Богословский Н.Н., Бородина И.А., Кижнер Л.И. О возможности определения влажности почвы по метеорологическим спутникам / Сборник тезисов Всероссийской конференции по математике и механике. Томск. Изд. «Иван Федоров». 2013. С. 148. – 0,06 усл. печ. л. / 0,02 усл. печ. л.
2. Бородина И.А., Кижнер Л.И., Богословский Н.Н., Потылицин И.В. Определение влажностных характеристик почвы с помощью метеорологических спутников / Труды XIII конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск. 2013. С.284–286.– 0,35 усл. печ. л. / 0,09 усл. печ. л.
3. Ерин С.И., Бородина И.А. Сравнение спутниковых данных измерений влажности почвы ASCAT с прямыми измерениями // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2014. С. 142–143. – 0,23 усл. печ. л. / 0,12 усл. печ. л.
4. Бородина И.А., Ерин С.И., Рудиков Д.С. Анализ точности спутниковых данных измерений влажности почвы в зависимости от типа подстилающей поверхности// Материалы 53 Международной научной студенческой конференции МНСК – 2015 г. Новосибирск. 2015. С. 22.– 0,06 усл. печ. л. / 0,02 усл. печ. л.
5. Ерин С.И., Бородина И.А. Применение методов фильтрации к данным спутниковых измерений влажности почвы / Материалы 53 Международной научной студенческой конференции МНСК – 2015 г. Новосибирск. 2015. С.157. – 0,06 усл. печ. л. / 0,03 усл. печ. л.
6. Бородина И.А., Кижнер Л.И., Богословский Н.Н., Рудиков Д.С., Ерин С.И. Исследования точности спутниковых измерений влажности почвы в зависимости от характеристик подстилающей поверхности / материалы XXI международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" [электронный ресурс], ИОА СО РАН, Томск. 2015. С. 241–244. – 0,47 усл. печ. л. / 0,09 усл. печ. л.
7. Бородина И.А., Рудиков Д.С., Ерин С.И., Кижнер Л.И., Богословский Н.Н. Сравнение объемной влажности почвы по данным разных измерительных систем/ Материалы международной научной конференции "Климатология и гляциология Сибири", ТГУ, Томск 2015. С. 274–276. – 0,35 усл. печ. л. / 0,07 усл. печ. л.
8. Ерин С.И., Бородина И.А. Применение методов фильтрации к данным спутниковых измерений влажности почвы / Материалы восьмой Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям, ТГУ, Томск 2015. С. 151–155. – 0,29 усл. печ. л. / 0,15 усл. печ. л.
9. Богословский Н.Н., Ерин С.И., Бородина И.А., Кижнер Л.И. Применение фильтра Калмана для усвоения спутниковых данных в глобальной модели численного прогноза погоды / Материалы XXII международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" [электронный ресурс], ИОА СО РАН, Томск. 2016.С. 164–167.– 0,47 усл. печ. л. / 0,12 усл. печ. л.
10. Бородина И.А., Кижнер Л.И., Воропай Н.Н., Богословский Н.Н., Ерин С.И. Оценка спутниковых данных по влажности почвы в районе юго-западного Прибайкалья / Материалы XXII международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" [электронный ресурс], ИОА СО РАН, Томск. 2016.С. 172–175. – 0,47 усл. печ. л. / 0,09 усл. печ. л.

11. Бородина И.А., Кижнер Л.И., Воропай Н.Н., Богословский Н.Н., Ерин С.И. О возможности оценки влажности почвы с применением спутников в Восточной Сибири / Материалы Всероссийской молодежной конференции с международным участием "Географические исследования молодых ученых в регионах Азии"// Алтайский государственный университет, Изд. ООО "Пять плюс". Барнаул. 2016 г. С. 83–85. – 0,35 усл. печ. л./ 0,07 усл. печ. л.

12. Бородина И.А., Кижнер Л.И. Характеристики влажности почвы для территории Томской области / Материалы конференции "Современные проблемы географии и геологии"// НИ ТГУ, Томск, 2017 г. С. 216–220. – 0,58 усл. печ. л./ 0,29 а.л. усл. печ. л.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Assimilation of ASCAT surface soil wetness: technical report / Met Office, Exeter, UK Forecasting / I. Dharssi, K. Bovis, B. Macpherson, C. Jones. – 2010. № 548.

2. Bartalis Z., Naeimi V., Hasenauer S., Wagner W. ASCAT Soil Moisture Product Handbook // ASCAT Soil Moisture Report Series, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Austria. 2008, N. 15

3. Congalton R.G., Gu J., Yadav K., Thenkabail P., Ozdogan M. Global Land Cover Mapping: A review and Uncertainty Analysis // Remote Sens. 2014, № 6, p. 12070-12093; doi:10.3390/rs61212070

4. Hajj M. El, Baghdadi N., Zribi M., Rodríguez-Fernández N., Wigneron J.P., Al-Yaari A., Bitar A.A., Albergel C., Calvet J.C. Evaluation of SMOS, SMAP, ASCAT and Sentinel-1 Soil Moisture Products at Sites in Southwestern France // Remote Sens. – 2018, № 10 – P. 1-17. doi:10.3390/rs10040569

5. Issues in the Integration of Research and Operational Satellite Systems for Climate Research: Part I. Science and Design / National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences, Space Studies Board, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications, Committee on Earth Studies. Washington: The National Academies Press. 2000. 152 p. doi.org/10.17226/9963.

6. Muskett R.R. Active-Layer Soil Moisture Content Regional Variations in Alaska and Russia by Ground-Based and Satellite-Based Methods, 2002 through 2014/ R.R. Muskett, V.E. Romanovsky, W.L. Cable, A.L. Kholodov // International journal of geosciences. – 2015. – P. 12– 41. doi:10.4236/ijg.2015.61002

7. Paulik C., Dorigo W., Wagner W., Kidd R. Validation of the ASCAT Soil Water Index using in situ data from the International Soil Moisture Network // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2014. – №30 – P. 1–8.

8. Wagner W. The ASCAT Soil Moisture Product: A Review of its Specifications, Validation Results, and Emerging Applications / W. Wagner et al // Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 1, p. 5–33. February 2013.

9. Агроклиматические ресурсы Томской области. Справочник // отв. редактор М.И. Черникова –Л. Гидрометеиздат–1975 г. 147 с.

10. Богословский Н.Н., Толстых М.А. Реализация схемы усвоения для почвенных переменных в глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды // Вычислительные технологии. Новосибирск, 2006. Т. 11. № 7. С. 20 – 24.

11. Бородина И.А., Кижнер Л.И. Характеристики влажности почвы для территории Томской области // Материалы конференции «Современные проблемы географии и геологии». Томск: НИ ТГУ, 2017 г. С. 216–220.

12. Бородина И.А., Кижнер Л.И., Богословский Н.Н., Рудиков Д.С., Ерин С.И. Исследования точности спутниковых измерений влажности почвы в зависимости от характеристик подстилающей поверхности// Материалы XXI международного

симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы" [электронный ресурс], ИОА СО РАН, Томск. 2015. С. 241–244.

13. Вадюнина А.Ф., Методы исследования физических свойств почв /А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

14. Василенко Е.В., Тарасова Л.Л. Использование данных с прибора ASCAT/METOP для мониторинга влажности почвы // Вестн. Моск. Ун-та. 2015. Сер. 5. № 2С. 40– 49.

15. Воропай Н.Н. Применение терморегистраторов для исследования гидротермических режимов почв на территории Тункинской котловины [электронный ресурс] / Н.Н. Воропай, А.А.Черкашина, С.А. Кураков //ENVIROMISinternationalconferenceonenvironmentalobservationsmodelingandinformationsystems. Томск. – 2014. URL:http://www.scert.ru/enviromis/2014/presentation/Presentation/Conference/Session_6/Short_reports/Voropay.pdf (дата обращения 15.08.17)

16. Горбатенко В.П., Громницкая А.А., Константинова Д.А., Ершова Т.В., Нечепуренко О.Е. Оценка роли климатических факторов в возникновении и распространении лесных пожаров на территории Томской области // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 395. С. 233 – 243.

17. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии / А.А. Исаев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 248с.

18. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. Семенова С.М. М., 2012 г. –504 с.

19. Поляков Д.В., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Погодно-климатическая характеристика аномального лета 2012 г. на территории Томской области // Метеорология и гидрология. 2014. № 1. С. 38 – 47.

20. Рутковская Н.В. География Томской области/Сезонно-агроклиматические ресурсы/: Учебное пособие. - Томск: ТГУ, 1984. 158 С.

21. Суслов С .П. Западная Сибирь . Физико-географическая характеристика / С.П.Суслов.– М: ОГИЗ, 1947.– 176 с.

22. Черенкова Е.А., Черенкова А.А. Возможности использования спутниковых данных влажности почвы при анализе урожайности яровой пшеницы (на примере Саратовской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. №1. С. 267 – 273.

ОТЗЫВ

научного руководителя на Научный доклад

Бородиной Ирины "Оценка спутниковых измерений влажности почвы"

по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

Бородина Ирина в 2016 г. с отличием окончила кафедру метеорологии и климатологии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета и в том же году поступила в очную аспирантуру ТГУ по направлению 05.06.01 - Науки о Земле.

В Научном докладе Бородиной И. произведена верификация спутниковых измерений влажности почвы посредством сравнения их с прямыми наземными измерениями. Выделены типы подстилающих поверхностей, для которых спутниковые измерения наилучшим образом отражают реальные значения влажности почвы.

Соискателем изучен значительный объем литературы по теме исследования, собран и обработан большой массив материала спутниковых и наземных измерений для территории США (в качестве обучающей выборки), юга Западной Сибири и территории Прибайкалья. Во время работы над диссертацией Бородина И. развила навыки поиска и анализа научной литературы, применения геоинформационных систем и статистического аппарата, освоила методику исследования.

Бородина И. зарекомендовала себя как грамотный специалист, обладающий способностью вести научно-исследовательскую работу. В процессе работы были сформулированы цели и задачи исследования, определена актуальность, выбраны методы исследования, систематизированы и проанализированы данные, полученные из разных источников, проведен анализ и оценка результатов. Соискателем отработана методика оценки качества спутниковых измерений на большом объеме данных на территории США и применена для территории России (Томская область, Тункинская котловина).

Бородина Ирина имеет опыт преподавательской деятельности. В период обучения в аспирантуре она проводила практические занятия со студентами 3 курса в рамках курса «Дистанционные методы измерений». Часть результатов ее исследования будет внедрена в качестве практической работы к курсу "Агроклиматология" для магистрантов первого года обучения по специальности метеорология, климатология, агрометеорология.

Результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях и симпозиумах.

По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны

быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 5 статей в сборниках материалов симпозиумов, включенных в базы Scopus и Web of Science.

Результаты исследования могут быть использованы для численного прогноза погоды в качестве входных данных для мезомасштабных моделей атмосферы. Верифицированные спутниковые наблюдения необходимы в гидрологических расчетах для прогноза стока и наводнений; в экологических оценках, для прогноза эрозии почвы; в климатических исследованиях, мониторинге засухи, расчете пожароопасности, а также для сельского хозяйства.

Анализируемая работа обладает научной новизной и практической значимостью, полностью. Для представления в Совет по специальности 25.00.30- метеорология, климатология, агрометеорология требуется доработка.

Заведующий кафедрой метеорологии и
климатологии Томского государственного университета
доктор географических наук
профессор

05.06.2019

Горбатенко Валентина Петровна

Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
"Национальный исследовательский
Томский государственный университет",
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
www.tsu.ru
e-mail: meteo@ggf.tsu.ru
тел.: (3822) 420-784

РЕЦЕНЗИЯ

на Научный доклад Бородиной Ирины

"Оценка спутниковых измерений влажности почвы"

25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология (Науки о Земле)

Научный доклад Бородиной Ирины посвящен оценке точности спутниковых измерений влажности почвы для разных географических районов, выполненной путем сравнения их с прямыми наземными измерениями.

Работа Бородиной И. является актуальным исследованием.

Наблюдения за влажностью верхнего слоя почвы имеют большое значение в разных отраслях науки и практики. Они необходимы в климатических, гидрологических, экологических исследованиях, в сельском, лесном хозяйстве, при мониторинге засух или переувлажнения почв. Учет запасов влаги в почве необходим для прогноза погоды, в частности, влажность почвы используется как важный параметр физико-математических моделей атмосферы, а точность прогноза зависит от полноты и качества исходных данных.

За последнее время на территории России объем наблюдений, необходимых для мониторинга климатических изменений влажности почвы, на агрометеорологических станциях сократился, сокращается и число самих станций. Все это вызывает необходимость привлечения спутниковой информации о влагосодержании почвы, которая, в свою очередь, требует критического контроля.

В работе Бородиной И. получены закономерности, определяющие взаимосвязь характеристик влажности, измеренных дистанционными и прямыми методами, для разных типов подстилающих поверхностей, выделенных по типу растительности. Определены типы поверхностей, для которых согласованность спутниковых и наземных измерений являются удовлетворительными. Выводы получены на основе анализа большого количества наблюдений.

Результаты могут быть использованы, прежде всего, при усовершенствовании параметризаций подстилающей поверхности и процессов в почве, способствующих повышению качества прогноза погоды современными математическими моделями, а также в других различных отраслях науки и практики.

На основе научного доклада можно заключить, что работа выполнена на высоком профессиональном уровне и является логически связанным, законченным трудом. Полученные результаты опубликованы в ряде изданий, в том числе в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук. Замечания к работе в основном касаются стилистической подачи материала, а потому не являются принципиальными. Научный доклад аспиранта Бородиной И. может быть представлен к защите в Государственной аттестационной комиссии и оценен на оценку «отлично».

Данная работа полностью соответствует специальности 25.00.30 – Метеорология, климатологи, агроклиматология (Науки о Земле).

Доцент кафедры метеорологии и климатологии
Томского государственного университета,
кандидат географических наук

08.06.2019 г.



Кижнер Любовь Ильинична

РЕЦЕНЗИЯ
на научный доклад Бородиной Ирины
"Оценка спутниковых измерений влажности почвы"
по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология
(Науки о Земле)

Влажность почвы определяет водный и тепловой режим почвы и прилегающих слоев атмосферы. Влагозапасы в поверхностном слое почвы входят в перечень основных биоклиматических и агроклиматических показателей для мониторинга влияния изменений климата на сельское хозяйство. Спутниковые измерения влажности почвы для отдельных территорий могут решить проблему недостатка прямых наземных измерений, необходимых для расчетов в различных отраслях наук и практик.

В работе Бородиной И. представлены результаты статистической оценки тесноты взаимосвязи спутниковых и наземных измерений для территории США, юга Томской области и территории Прибайкалья. Определены типы подстилающей поверхности, выделенных по характеру растительного покрова, для которых спутниковый сенсор наиболее достоверно отражает реальные значения поверхностного влагосодержания почвы.

Тема исследования является актуальной как в научном, так и в практическом отношении. Полученные в работе основные положения и выводы базируются на достаточном по объему и спецификации исходном материале, который обработан и проанализирован с использованием современных научных методов и технологий. Поэтому нет оснований сомневаться в их достоверности.

Эти положения и выводы представляются имеющими практическую значимость, так как относятся к вопросам, знание которых необходимо для прогноза погоды, включая прогноз осадков и опасных конвективных явлений, в гидрологических расчетах для прогнозирования стока, раннего предупреждения наводнений; в экологических оценках, для прогнозирования эрозии почвы; в климатических исследованиях, при мониторинге засухи, расчете пожароопасности, а также при развитии современного сельского хозяйства, что для любого региона имеет первостепенную важность.

Результаты прошли необходимую научно-общественную апробацию, они докладывались на симпозиумах, семинарах и конференциях различного уровня, опубликовано 19 печатных работ.

В целом научный доклад Ирины Бородиной "Оценка спутниковых измерений влажности почвы" полностью соответствует специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология (Науки о Земле), а Ирина Бородина заслуживает за научный доклад оценки «отлично».

Доцент каф. метеорологии и
климатологии ТГУ, канд. геогр. наук

11.06.2019г.



О.В. Носырева

Отчет о проверке на заимствования №1

В. Сер



Автор: bia_5@mail.ru / ID: 3403099

Проверяющий: bia_5@mail.ru / ID: 3403099

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 7

Начало загрузки: 14.06.2019 12:36:35

Длительность загрузки: 00:00:02

Имя исходного файла: Научный доклад

Размер текста: 1012 кБ

Символов в тексте: 55282

Слов в тексте: 6602

Число предложений: 743

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)

Начало проверки: 14.06.2019 12:36:38

Длительность проверки: 00:00:03

Комментарии: не указано

Модули поиска: Модуль поиска Интернет

ЗАИМСТВОВАНИЯ

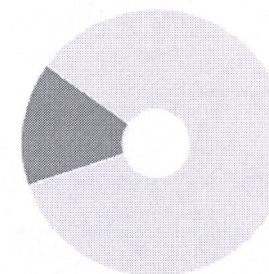
14,97%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

85,03%



Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	8,27%	8,46%	Тезисы докладов (2/2)	http://imces.ru	31 Мар 2018	Модуль поиска Интернет	54	58
[02]	1,89%	2,78%	2014 Том 1	http://portal.tpu.ru:7777	28 Июл 2017	Модуль поиска Интернет	14	20
[03]	0,59%	2,29%	Скачать полнотекстовую версию	http://journals.tsu.ru	01 Фев 2017	Модуль поиска Интернет	7	22

Еще источников: 11

Еще заимствований: 4,22%