

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Рязановой Анны Александровны
«Чувствительность оценок теплового баланса почвогрунтов к
гидрофизическим коэффициентам в модели деятельного слоя суши»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.6.16. «Гидрология суши, водные
ресурсы, гидрохимия»**

Диссертационное исследование А.А. Рязановой выполнено в рамках одного из ключевых направлений современной климатологии – развития методов описания процессов массо-, энерго- и газообмена поверхности суши с атмосферой в моделях Земной системы, рассматриваемых научным сообществом в качестве основных инструментов анализа и прогнозирования изменений природных и социально-экономических систем вызванных глобальными антропогенными воздействиями. Соискателем решались задачи информационного обеспечения модели вертикального тепло- и влагообмена почвогрунтов с атмосферой и анализа чувствительности модельных оценок теплового баланса почв к способам задания их гидрофизических параметров. Объектом диссертационного исследования стала модель деятельного слоя суши (ДСС) TerM, которая входит в структуру национальной модели Земной системы, разработанной в Институте вычислительной математики имени Г.И. Марчука РАН, а также в структуру модели оперативного прогноза погоды ПЛАВ Гидрометцентра РФ,

Актуальность диссертационного исследования, направленного на развитие компонентов национальной модели Земной системы – единственной отечественной модели, участвующей в глобальных климатических экспериментах СМР – не вызывает сомнений.

Научная значимость и новизна исследования связаны с мировой тенденцией развития моделей ДСС в направлении детализации их пространственного разрешения, с появлением новых глобальных баз данных,

содержащих более полную информацию о гидрофизических свойствах почв и необходимостью совершенствования подходов к учету этой информации в моделях ДСС. Анализ чувствительности процессов тепло- и влагопереноса в почвах, описываемых моделью ДСС TerM, к гидрофизическим почвенным параметрам и их пространственной детализации, разработка методов и программных средств агрегирования этих параметров и задания их в модели – значимые научные задачи, и несомненная заслуга автора состоит в построении и реализации новых подходов к их решению.

Основные научные результаты диссертационной работы заключаются в том, что ее автор: (1) показала преимущество использования глобальных баз данных высокого пространственного разрешения для задания гидрофизических параметров почвы в модели ДСС TerM по сравнению с традиционно используемым подходом, основанным на задании т.н. «предписанных значений» этих параметров; (2) продемонстрировала улучшение расчета тепло- влагообмена в ненасыщенной зоне почвы при увеличении пространственного разрешения модели по сравнению с расчетом на более грубой сетке, (3) создала (и зарегистрировала в Роспатенте) программное обеспечение для задания параметров почвы в модели ДСС TerM с использованием различных методов их агрегирования на произвольной пространственной расчетной сетке, совместимое с национальной моделью Земной системы.

Достоверность и обоснованность результатов, положений, выносимых на защиту, а также сформулированных в диссертации научных выводов, подтверждается использованием в качестве инструмента исследований модели ДСС TerM, детально верифицированной и имеющей высокую репутацию в мировом сообществе, в частности, благодаря участию отдельных блоков модели в масштабном международном эксперименте ISI-MIP. По теме диссертации А.А. Рязановой опубликовано 4 статьи (две из них в качестве первого автора) в изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science, Scopus, получены 3 свидетельства о регистрации прав на программное обеспечение и базы данных.

Работа изложена на 110 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 138 наименований, из которых 127 – на английском языке.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель исследования, его научная новизна, практическая значимость и основные защищаемые положения.

Первая глава содержит сравнительную характеристику источников данных о гидрофизических свойствах почв, используемых в качестве параметров модели ДСС TerM. На основании проведенного анализа показано, что традиционный метод задания гидрофизических параметров почвы в модели, который основан на оценке характерных величин для данного типа почв (т.н. «предписанных значений») не учитывает разнообразия их гидравлических свойств, вариабельность которых внутри данного типа почв обычно выше, чем между разными типами. Сделан вывод о предпочтительности использования глобальных баз данных высокого пространственного разрешения для задания гидрофизических параметров почвы в модели ДСС TerM по сравнению с традиционным подходом. В качестве источника глобальных данных о гидрофизических параметрах модели рекомендован один из современных наборов данных 30-секундного разрешения, разработанный Dai et al. (2019) и ранее использовавшийся в известных моделях ДСС (JULES, Noah-LSM, CoLM/CLM и др.).

Вторая глава посвящена описанию разработанного программного обеспечения для численных экспериментов с моделью ДСС при использовании разных наборов почвенных данных. Несомненным достижением автора стала разработка общей концепции программного обеспечения и реализации ее в виде программных средств, позволяющих решить задачу агрегирования наборов параметров поверхности суши на произвольную расчетную сетку. Разработанные расчетные инструменты программно совместимы с кодами национальной модели Земной системы. Важно отметить также, что все рассчитанные с помощью этих инструментов наборы почвенных данных разного

разрешения размещены в свободном доступе и могут быть использованы специалистами в других областях наук о Земле.

В третьей главе представлены обоснование и результаты 3-х групп численных экспериментов с помощью модели ДСС TerM. В первом эксперименте оцениваются возможности воспроизведения с помощью модели процессов вертикального тепло- влагопереноса в точке. Расчетные данные сопоставлены с данными о температуре почвы, измеренными в течение 5 лет на метеорологической станции, расположенной в Бакcharском районе Томской области. Показано, что модель удовлетворительно воспроизводит усредненную за месяц или несколько месяцев температуру почвы на разных горизонтах. При этом погрешность расчета резко возрастает, если для точечных расчетов используются значения гидрофизических параметров, усредненные по той ячейке глобальной базы почвенных данных, в которую попадает точка измерений. Два региональных численных эксперимента проводились для обширной (15° по широте и 60° по долготе) территории юга Сибири и были направлены на исследование чувствительности модели ДСС к способу задания гидрофизических параметров, а именно: из разных баз данных (глобальной и по предписанным значениям), с разным пространственным разрешением параметров и при разных методах их агрегирования внутри расчетных ячеек. Показано, что расчеты по модели ДСС чувствительны к источнику и пространственному разрешению задаваемых гидрофизических параметров, при этом менее чувствительны к методам агрегирования параметров. Заключительный эксперимент был направлен на оценку чувствительности расчетов к горизонтальному разрешению расчетной сетки модели ДСС при агрегированных на заданный размер ячейки гидрофизических параметрах. Показано, что увеличение горизонтального разрешения модели приводит к отличиям в распределении полей моделируемых характеристик по сравнению с более грубым горизонтальным разрешением.

В заключении обобщены результаты диссертационной работы.

По диссертационной работе имеются следующие основные замечания:

1. Замечания по существу

1.1 Большая часть выводов, за исключением выводов из результатов локальных численных экспериментов, основана не на сравнении полученных данных расчета с данными измерений, а на сравнении расчетов по разным базам данных гидрофизических характеристик, способам агрегирования, пространственному разрешению и пр., т.е. на анализе чувствительности результатов моделирования к способу задания параметров модели. Не совсем понятно, почему автор ограничилась данными локальных измерений температуры почвы и не попыталась оценить эффективность предлагаемых способов задания параметров на основе сравнения расчетов с пространственными полями данных государственного агрометеорологического мониторинга и/или данных реанализа, в т.ч. влажности почвы. И если агрометеорологические данные, особенно за последние годы, зачастую не доступны, то данные реанализа (например, ERA5-land) доступны, хорошо документированы, они постоянно совершенствуются в плане точности, разрешения и продолжительности. Такое сопоставление существенно укрепило бы обоснованность выводов диссертации и расширило бы возможности обобщения полученных результатов. В отсутствие сопоставления выводы о преимуществе одного способа задания параметров над другим следовало бы подавать как предварительные, нуждающиеся в дальнейшем подтверждении путем сопоставления с фактическими данными.

1.2 Результаты моделирования, приведенные в диссертации, охватывают не только период положительных температур, в течение которого основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) и гидравлическая проводимость (К) ненасыщенных почв не зависят от их температуры, но и период замерзания (см., например, результаты эксперимента 2.1), когда указанные гидрофизические свойства почв существенно зависят от температуры (последняя определяет количество незамерзшей переохлажденной влаги и льда в почве). Используемые в диссертации для описания ОГХ и К формулы Брукса-Корри (формулы 7, 8) или

ван Генухтена (формулы 9, 10) в условиях мерзлой почвы должны быть модифицированы с учетом льдистости и содержания незамерзшей влаги. Способы такой модификации известны, однако они приводят к разным формулам, и результаты расчета по ним тепло- влагопереноса в мерзлой почве могут заметно отличаться. Но более важно в контексте поставленной задачи то, что чувствительность расчетов к гидрофизическим коэффициентам измененных формул может сильно отличаться от чувствительности к коэффициентам исходных формул. В диссертации следовало бы привести модифицированные формулы и обсудить различия в чувствительности расчетов к гидрофизическим параметрам в разные сезоны года.

2. Замечания по построению и изложению диссертации

2.1 Во введении дано обоснование актуальности рассмотренных в диссертации научных проблем. Это обоснование изложено на 13-ти страницах, половина из которых содержит описание глобальных моделей климата, их эволюции, организации и некоторых результатов экспериментов CMIP и прочим вопросам, не имеющим прямого отношения к теме работы.

2.2 Защищаемые положения следовало сформулировать более сжато, без лишней детализации и количественных оценок.

2.3 Автором выбрано неудачное, на мой взгляд, построение обзора современного состояния исследований по теме диссертации, при котором анализ публикаций разнесен по разным частям работы, начиная с введения. При этом, анализ охватывает только проблемы задания гидрофизических параметров почв в моделях тепло- влагопереноса в почве, а также используемые для этого базы данных и программное обеспечение (введение, разделы 1.2, 1.3). Глубоко проработанные в физике почв и связанные с содержанием диссертационной работы вопросы чувствительности уравнения Ричардса к его гидрофизическим параметрам, описания пространственной изменчивости этих параметров, методов их агрегирования и масштабирования в моделях (от монографии А.М. Глобуса 1987 года и двухтомника 1997 года под редакцией ван Генухтена с

соавторами до множества более современных статей) в работе почти не упоминаются. Помимо обзора достижений в области физики почв недостаточно рассмотрены также публикации по чувствительности моделей деятельного слоя суши к способу задания гидрофизических параметров почв. Таких публикаций также немало (из последних по времени упомяну Tafasca et al., 2020; Liu et al., 2023; Sales et al., 2025; Oloruntoba et al., 2025).

Полагаю, что обзору современных достижений в области моделирования процессов тепло-влажноперевода в моделях ДСС, способам задания и агрегирования гидрофизических параметров этих моделей с отсылкой к соответствующим методам, фундаментально разработанным на протяжении многих десятилетий в физике почв следовало бы посвятить отдельную главу. Должен оговориться, что некоторые вопросы, затронутые в диссертации, столь давно и глубоко изучены в физике почв, что их полный обзор в такой главе мог бы быть по объему сравним с объемом диссертации, и я понимаю желание автора ограничить круг анализируемых источников конкретной задачей. Считаю поэтому, что отсутствие более полного обзора не критично, но очень рекомендую автору глубже ознакомиться с перечисленными проблемами и их решениями в своей будущей научной работе.

2.4 Диссертация посвящена анализу чувствительности конкретной модели ДСС TerM, и возможность переноса полученных автором результатов на другие модели ДСС для меня совсем не очевидна. Это ничуть не умаляет научной значимости работы, т.к. модель ДСС TerM - одна из ключевых компонент национальной модели Земной системы, и проведенное соискателем исследование имеет важное значение для совершенствования последней. Однако название конкретной исследуемой модели следовало указать в формулировках первых двух защищаемых положений, некоторых выводов и результатов, которые без такого указания выглядят слишком общими.

2.5 Заключение диссертации не структурировано и в нем нет четкого перечисления основных выводов работы. Некоторые выводы сформулированы, однако они выглядят, зачастую, как общие соображения. Например: «В моделях

климата и погоды повышение горизонтального разрешения в деятельном слое суши существенно влияет на качество воспроизведения компонент теплового баланса как следствие агрегирования ГФК» или «Если шаг сетки модели меньше чем эффективное разрешение при использовании ГФК по типам, то в модели ДСС необходимо использовать данные высокого горизонтального разрешения о ГФК».

2.6 В тексте диссертации встречаются неточности в формулировках, терминах и пр. Приведу лишь один пример такой неточности, поскольку она довольно распространена. Термин "почвенно-гидрологические константы" традиционно используется в физике почв для обозначения характерных величин влагоемкости почвы, соответствующих определенной форме почвенной влаги (напр., максимальная гигроскопичность, наименьшая полевая влагоемкость, влажность разрыва капиллярных связей и др.). Коэффициенты формул, которые используются для описания ОГХ (типа формул Брукса-Корри или ван Генухтена) не относятся к почвенно-гидрологическим константам вопреки утверждению на стр. 12.

Перечисленные замечания не умаляют научной значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности **1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия** (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель, Рязанова Анна Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.16. «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН,
профессор кафедры гидрологии суши географического факультета
ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова»

Гельфан Александр Наумович

22.05.2025

Контактные данные:

тел.: +7(495) 939-1533, e-mail: hydromsu@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

1.6.16 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Адрес места работы:

119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», Географический факультет,

Кафедра гидрологии суши

Тел.: +7(495) 939-1533; e-mail: hydromsu@mail.ru

Подпись руки А.Н. Гельфана
Заверяю:
Декан
Факкультет

20/506