

Отзыв официального оппонента

кандидата географических наук, зав. отделом гляциологии ИГ РАН, доцента
Географического факультета МГУ Торопова Павла Алексеевича
на диссертационную работу Прохоровой Ульяны Вячеславовны
«Тепловой баланс ледников Земли Норденшельда на примере ледника
Альдегонда (о. Западный Шпицберген)»
на соискание ученой степени кандидата географических наук
по специальности 1.6.18. — Науки об атмосфере и климате

Оценка актуальности исследования

Значительная часть работы посвящена анализу данных гляциологических и метеорологических измерений, которые проводились на одном из ледников архипелага Шпицберген (ледник Альдегонда) в сезоны абляции в 2018 – 2022 гг., и в которых соискатель принимал активное участие. Достоверные и грамотно проанализированные данные измерений на горных ледниках по любому горно-ледниковому району мира представляют большую ценность как в рамках международной программы мониторинга криосферы и ледников (WGMS) и понимания механизмов происходящих изменений, так и для верификации результатов моделирования горного оледенения. В этом смысле актуальность представленной работы не вызывает сомнений. Актуальность же той части работы, которая посвящена моделированию, вызывает вопросы, хотя квалификационный уровень выполненных расчетов в целом соответствует уровню кандидата географических наук.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В целом представленная диссертационная работа выглядит цельно и обоснованно: автор систематически продвигается от анализа наблюдений до моделирования компонент теплового баланса с использованием натуральных данных, и делает в целом разумные и обоснованные выводы. При этом следует отметить тривиальность и нечеткость некоторых защищаемых положений и выводов. Также по итогам выполненной работы не вполне понятно, можно ли применять предложенную модель на других горных ледниках. И если применять ее можно, то неясно чем предложенная схема лучше или хуже тепло-балансовых блоков ведущих гляциологических моделей различной степени сложности, которых к настоящему моменту времени разработаны десятки.

Достоверность и новизна научных положений и результатов

Достоверность результатов в целом не вызывает сомнений, хотя имеется ряд частных вопросов к методике метеорологических наблюдений на леднике

Альдегонда, а также к методике моделирования: прежде всего к алгоритму перехода от одной точки к всей поверхности ледника (особенно при расчете турбулентных потоков тепла и влаги и встречного теплового излучения атмосферы). Несмотря на эти достаточно важные вопросы, полученные результаты выглядят достаточно разумно. Гораздо больше вопросов к новизне результатов и разработанных методик. Остановимся на этом подробнее (выдержки из диссертации выделены курсивом).

Разработана математическая модель таяния поверхности ледника, основанная на современных методиках оценки составляющих теплового баланса, позволяющая экстраполировать значения из точки наблюдений на всю поверхность ледника

Таких моделей в последние 20 - 25 лет разработано много, соискателю следовало сделать более литературный обзор. В работах (Кренке и др., 2012; Постникова, Рыбак, 2021; Zekollari 2022) на серьезном уровне рассмотрено современное состояние гляциологического моделирования: от полных динамических моделей с тепло-балансовыми блоками, до моделей промежуточной сложности (так называемые глобальных гляциологических моделей, или ГГМ) и *T-index* моделей. Поэтому в таком важном разделе, как «НОВИЗНА» формулировки вроде «...разработана математическая модель таяния» звучат, как общие слова. Нужно уточнять, в чем именно новизна модели на фоне существующего мирового задела. Например, «...разработана тепло-балансовая модель с учетом суточного хода облачности», или «...математическая модель с усовершенствованной схемой Мони́на-Обухова, включающую новую параметризацию коэффициентов шероховатости», и т.д. То есть в двух словах обозначить конкретику, иначе новизна совершенно не очевидна.

Впервые показана изменчивость соотношения компонентов теплового баланса с разрешением в одни сутки для всего сезона абляции снега и льда на леднике...»; «...впервые приведены оценки влияния неравномерности распределения приходящего потока солнечной радиации в зависимости от экспозиции ледника на величину абляции.

Наверное, имелось в виду «впервые для ледников архипелага Шпицберген» - в этом случае новизна, наверное, присутствует. Если имеется в виду «вообще впервые», то это неверно: результатов расчета компонент теплового баланса с суточным разрешением к настоящему моменту показано множество: как за рубежом, так и в нашей стране (Molg et al., 2005; Oerlemans, 2011; Топонов и др., 2018, 2020, Осипов и др., 2022).

Есть также замечания и к защищаемым положениям. Приведем их ниже

В отдельные сутки на леднике Альдегонда наблюдаются эпизоды значительного усиления турбулентного теплообмена, основной причиной этого является циклоническая активность вблизи архипелага

Сама по себе активная циклоническая деятельность не обязательно должна быть причиной роста турбулентного теплообмена, более того: сильные ветра могут быть и на периферии антициклона. Поэтому важно было в двух словах указать, каким именно образом она влияет: через обострение мезомасштабных процессов (фены, коридорные ветра, и др.), или через прохождение атмосферных фронтов, или в теплых секторах штормовых циклонов в высоко градиентном барическом поле. В противном случае защищаемое положение выглядит достаточно сыро

Соотношение компонентов теплового баланса поверхности ледника Альдегонда не постоянно год от года. В годы с наибольшей величиной абляции льда вклад компонентов, зависящих от температуры воздуха, повышается;

Это защищаемое положение выглядит тривиальным и лишним: очевидно, что любая гидрометеорологическая характеристика, а значит и компоненты баланса массы ледника, имеют межгодовую изменчивость; также очевидно и то, что в аномально теплые сезоны абляции роль «температурных» факторов возрастет.

Замечания по диссертационной работе

Замечания по тексту диссертационной работы можно традиционно разделить на смысловые и редакционные. Смысловые замечания сгруппированы по главам, в то время как среди редакционных замечаний приведены только самые значительные.

Смысловые замечания

Глава I

1. Соискатель утверждает, что ледник Альдегонда является репрезентативным гляциологическим объектом для исследуемого ледникового района. Однако по факту получается, что основными критериями «репрезентативности» являются сравнительно небольшая площадь ледника и его логистическая доступность. Факторы, безусловно, немаловажные в полевых работах. Но все-таки, в классической гляциологии (*Paterson, 1984; Дюргеров, 1975; Тушинский, 1972*) существуют четкие определения репрезентативности горного ледника. Эти определения у разных классиков немного рознятся, однако сходятся в главном: 1) морфологический тип ледника должен соответствовать наиболее распространенному в исследуемом горно-ледниковом районе (чаще всего это горно-долинный тип, однако в случае арктических архипелагов может быть купольный, или каровый), 2) площадь ледника должна быть близка к медианному значению эмпирической функции распределения площадей всех ледников района. В связи с этим возникают важные вопросы: насколько значение 5.5. км² близко к медианному (эту информацию можно было бы извлечь из глобального гляциологического архива)? И является ли морфология ледника Альдегонда типичной для Шпицбергена? Типичны ли у него, помимо площади, угол наклона поверхности, отношение аспекта, длина осевого потока, и т. д...?

2. Климатическое описание, предложенное соискателем, выглядит поверхностно и неполно. Вместо тривиальных утверждений на стр. 16 вроде «*климат архипелага определяется множеством климатообразующих факторов: расположением за северным полярным кругом..., горным рельефом, влиянием... течений, ... морского льда и... региональной атмосферной циркуляции*» или «*во многом погода зависит от систем меридионального и широтного переноса*» лучше было бы сделать хороший статистический анализ данных наблюдений на метеостанциях с анализом изменения эмпирических функций распределения основных метеорологических параметров в XX и XXI вв.; а также анализ изменения циркуляционных механизмов в сочетании с изменчивостью таких широко известных характеристик, как NAO, AMO, AO, которые в исследуемом районе уж точно проявляются очень ярко. В предложенном случае анализ выглядит, как предварительный и первичный.

3. Климатическое районирование Шпицбергена (стр. 18, рис. 1.3) выглядит странно. Во-первых, почему в районировании не участвуют годовые и сезонные осадки? Во-вторых, глядя на рис. 1.3 можно четко выделить 2 типа. Первый тип - относительно мягкий (среднегодовая температура $-4...-8$ °C) и влажный (в этот тип климата явно попадает остров Эдж). Второй тип - относительно холодный ($-8...-12$ °) и сухой. То есть юго-западная половина архипелага (теплая и влажная) и северо-восточная (холодная и сухая). Где автор районирования, и вслед за ним изыскатель, нашли три климатические провинции? Не исключено, что они есть на самом деле, но приведенный анализ и рис. 1.3 в этом несколько не убеждают.

4. Раздел 1.5. выглядит не как серьезный обзор результатов теплобалансовых исследований на леднике Шпицбергене, а как аннотация к этому обзору. Нужно было не просто привести величины вкладов тех или иных факторов, но и показать по возможности иллюстрации, со ссылками на соответствующие работы, а главное, подробно прописать какими методами исследователи оценивали и рассчитывали радиационные потоки, а главное – турбулентные. Что позволило бы показать, чем отличается модель, предложенная соискателем, от множества других методик. В противном случае оказывается, что новизна ограничивается только тем, что соискатель располагает ЦМР и более длинными рядами метеоданных. Это конечно важно, но хотелось бы видеть более существенные новшества. Тем более, что глава 1 называется, «Ледники Шпицбергена, как объект теплобалансовых измерений». По факту главу следует называть «Климатическая характеристика архипелага Шпицберген», причем характеристика эта сделана достаточно поверхностно.

Глава 2.

Соискатель очень много внимания уделил объяснению того, что такое тепловой баланс, и какие виды передачи энергии реализуются в атмосфере и в деятельном слое суши. В рамках студенческой курсовой или дипломной работы демонстрация базовых знаний физики атмосферы была бы уместна. Однако в кандидатской диссертации это совершенно не обязательно. В итоге «за кадром» остались многие действительно важные вещи, в результате чего возникает масса вопросов. Оставляя в стороне множество частных моментов, оппонент позволит себе сформулировать наиболее важные вопросы и замечания

1. Описание приведенной модели не убеждает в том, что ее создание было необходимо. Собственно, в методической главе критически не хватает обзора существующих ГГМ, а также ведущих полных моделей. Автор лишь кратко говорит о *T-index* подходах. На самом деле, тепло-балансовые блоки в полных моделях, и в ГГМ активно развивались в последние 25-30 лет. В настоящее время в мире насчитывается 15 широко используемых ГГМ, среди которых наиболее развитыми можно считать модели OGGM, GloGEM, GloGEMflow, PyGEM, JULES, NYOGA2 (Zekollari, 2022). Несколько из них находятся в открытом доступе (например, GloGEMflow), более того, для них прописаны теплораспределительные модули. В связи с этим не совсем понятно, почему соискатель не использовал существующие наработки, а стал что-то изобретать. Из этого вытекает ряд важных замечаний и претензий, сформулированных ниже.

2. Почему-то соискатель уверен, что (цитата со стр. 44) «...исчерпывающий обзор существующих подходов к оценке излучательной способности атмосферы приведён в работе (Kunig-Langlo, Augstein, 1994).» Этот обзор действительно хорошо, однако был сделан почти 30 лет назад. Существует масса сильных современных работ, в которых изложены более продвинутые параметризации (ниже приведена лишь часть ссылок). Если бы соискатель ознакомился с этими работами, то, во-первых, смог бы осуществить несколько версий альтернативных расчетов нисходящей длинноволновой радиации, сравнивая с примененной методикой, или скомбинировать варианты параметризаций, предложив свою формулу. И это было бы очень интересно! В противном случае, оценки полученные на основе формулы из работы 30-ти летней давности без сопоставления с другими, существенно более новыми и улучшенными параметризациями, выглядят неубедительно. Ситуацию усугубляет тот факт, что Шпицберген очень облачный район, и роль облачности в формировании нисходящего потока длинноволнового излучения играет здесь важную роль.

Wang T. et al. All-sky longwave downward radiation from satellite measurements: General parameterizations based on LST, column water vapor and cloud top temperature //ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote, 2020

Yan G. et al. Modeling surface longwave radiation over high-relief terrain //Remote Sensing of Environment. – 2020. – Т.

Cheng J., Yang F., Guo Y. A comparative study of bulk parameterization schemes for estimating cloudy-sky surface downward longwave radiation //Remote Sensing. – 2019. – Т. 11. – №. 5. – С. 528.

Незваль Е. И., Чубарова Н. Е., Гребнер Ю., Омута А. Влияние атмосферных параметров на длинноволновую нисходящую радиацию и особенности ее режима. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48 (6). С. 682–690.

3. Расчет турбулентных потоков тепла и влаги по классической теории Монина-Обухова с использованием безразмерных функций (Bejars, Holtslag, 1991) выглядит разумно. Однако непонятно следующее: 1) одинаковость коэффициентов шероховатости для снега и льда: это физически никак не обосновано. Коэффициент

шероховатости можно было бы оценить, проведя хотя бы несколько дней градиентных наблюдений надо льдом (это не так сложно). В реальности коэффициент шероховатости на поверхности ледника, испещренного бороздами таяния, моренными обломками, и кавернами, очень изменчив, и скорее всего на порядок больше, чем 10 мм (*Волошина, 2001; Molg, 2005 и другие работы*). Ссылка на одну, пусть и сильную работу, не является физическим обоснованием, это следует оценивать самим. Результат расчетов потоков очень сильно зависит от коэффициента шероховатости. 2) Совершенно непонятно, каким образом значения турбулентных потоков, оцененные в точке, были разбросаны по всей наклонной поверхности ледника, с разной степенью шероховатости, заморенности, и с разной высотой? Каким образом, например, оценивалось изменение температуры с высотой, если реальные измерения проводились только в двух точках? Интерполяция между двумя точками по всей поверхности ледника представляется некорректной (особенно вблизи бортов долины); 3) измерялся ли градиент температуры в воздухе, и какой бралась температура поверхности? Если 0 градусов, то это сомнительно: в реальности поверхность ледника представляет собой смесь льда, талой воды, и частичек моренной породы, и ее среднее по площади значение даже около 1 м² оказывается равным примерно 2-3 градуса (при этом ледовые участки, естественно, имеют нулевую температуру). Вообще, оценка и измерение температуры любой поверхности – это известная проблема метеорологии и физики атмосферы; 4) крупные обломки породы и скальные борта долины играют заметную роль в формировании турбулентных потоков тепла (так называемый эффект «foot-print»), это явно не учитывалось

4. Невнятно выглядит и «трюк» с облачностью. Почему-то уверенно объявляется, что расположенная в 10 км станция Баренцбург совершенно не репрезентативна по облачности, хотя никаких визуальных наблюдений за баллом облаков на Альдегонде никто не проводил. Это вполне можно было бы сделать пусть даже на уровне коротких серий наблюдений, которые бы обеспечили выборку хотя бы в 100-120 значений, что уже дало бы возможность обоснованного сравнения Альдегонды с Баренцбургом. В противном случае утверждение «нельзя сравнивать» выглядят также необоснованно, как и «можно сравнивать». В самом деле, горы Шпицбергена – это не Памир, и не Кавказ. Высоты у Альдегонды небольшие, расстояние до Баренцбурга тоже. Нет уверенности в том, что на масштабах сезона эти данные нельзя было использовать. Есть подозрение, что это было бы лучше предложенной градации из трех значений. И уж точно можно было бы привлечь данные последней версии реанализа ERA 5, предварительно сравнив и откалибровав их по данным сетевых метеостанций. Это конечно не лучший вариант, но более обоснованно, чем предложенные соискателем грубые градации.

5. Описание модели теплопроводности снега и льда крайне бедное. Приходится только догадываться, что снег представлен одним слоем, и что уравнение теплопроводности решается не численно.

Глава 3

1. Прежде всего, непонятно откуда на Альдегонде берется высотный градиент абляции, если перепад высот невелик, альbedo достаточно однородно (снег, как

утверждает соискатель, сходит одновременно по всей поверхности ледника), много облачных дней.

2. Автор утверждает, что феновый эффект не играет никакой роли в турбулентном теплообмене. Единственный аргумент, который оппонент видит в пользу этого утверждения – это преобладающее направление ветра со стороны залива. Но утверждения, на которые делает упор соискатель не убедительны. Во-первых, феновые эффекты не всегда сопровождаются потеплением. Если натекающая воздушная масса теплее, чем господствующая в районе, то при ее опускании на подветренной стороне нагревание не приведет к потеплению (нужно смотреть на потенциальную температуру). Во-вторых, не обязательно при фене направление потока на подветренной стороне должно совпадать с крупномасштабным. В-третьих, циклоническая активность не исключает возможность формирования феновой циркуляции: феновые ветра очень часто бывают мезомасштабным следствием циклонической активности. Если уж речь зашла о фенах, то неплохо было бы ознакомиться с несколькими классическими работами на эту тему (*Lee, ... Klemm, ... Duran*)

3. Выполняя работу по верификации модели, соискатель, в частности, подбирал значения коэффициентов серости. В ряде классических работ диапазон коэффициента серости для ледников и снега берется 0.95 - 0.99 (см., например *Snow and Climate. Ed. by R.L. Armstrong, E. Brun. Cambridge, U.K. Cambridge Univ. Press, 2008: 222 p.*); часто используется интервал 0.96 - 1.0 (Дроздов, Турков, 2023). Это целый пласт исследований, и самый простой путь - измерять температуру снега и уходящий длинноволновый поток, и калибруя, подбирать коэффициент серости. Иначе выбор диапазона 0.98 – 1.0 выглядит произвольно. На самом деле, сотые доли в данном случае играют большую роль в силу специфики закона Стефана-Больцмана (четвертая степень температуры). Также вызывает сомнения одинаковость коэффициента шероховатости для снега и льда (речь об этом уже шла выше), и завышенное значения максимального альбеда льда. Рецензент не утверждает, что это абсолютно нереалистичная величина. Тем не менее, в большинстве опубликованных результатах по тепло-балансовому режиму горных ледников (*Волошина, 1968;2001; Oerlemans,2011; Торопов 2018;2022*) альбеда поверхности льда не превышает 0.45. Значение 0.55 – это в большинстве случаев уже мокрый снег.

4. Автор очень небрежно относится к статистической оценке результатов: в ряде случаев отсутствует коэффициент детерминации, не говоря уже о Scatter-index, распределении ошибок, и т.д. Часто регрессии строятся по нескольким точкам, что, строго говоря, недопустимо. Это же замечание относится и к другим главам (в том числе к сравнению альбеда, полученного по спутниковым данным, и по результатам маршрутной альбедосъемки)

Глава 4.

1. Рис. 4.3 это не карта аномалий, а популярная картинка для СМИ. Аномалии в метеорологии всегда характеризуются количественными статистическими показателями: первым моментом (отклонение от среднего), вторым (дисперсия), и

т.д. А не качественными характеристиками типа «тепло», «очень тепло» "холодно"...

2. Использование геодезического метода оценки баланса массы без детального сравнения с тахеометрической съемкой вызывает некоторые сомнения

3. Непонятно, чем все-таки физически определяется такой значительный градиент абляции, если поверхность ледника наклонена слабо, перепад высот небольшой, преобладают облачные условия, и пространственная изменчивость альбедо и температуры невелика?

4. Параграф 4.1. явно должен был бы оказаться в главе 1 или 2 (по смыслу).

Редакционные замечания

Работа выглядит достаточно цельно. Хотя в ряде случаев стройность изложения теряется. Но главное замечание – сырой текст диссертации и автореферата, а также чрезмерное внимание к прописным истинам, на которые подчас у соискателя ушли целые страницы. Рецензент сделал много правок в электронной версии текста диссертации. Здесь приведены лишь наиболее серьезные замечания.

На стр. 21: *«потепление приповерхностной температуры воздуха...»* Не может быть «потепления температуры» - это «масло масляное»! Только повышение температуры, или рост – как угодно, но не потепление!!!

На стр.30: *«...ещё одной немаловажной составляющей теплового баланса поверхности ледника является проникновение тепла вглубь ледника»* - что это за составляющая теплового баланса, под названием «проникновение вглубь»?! Это называется молекулярная диффузия тепла, или кондуктивный теплообмен. Надо четче и строже пользоваться терминами.

На стр.55 *«турбулентные потоки поставляли до 50% тепла»*. Поставляют вооружение, продовольствие, запчасти и оборудование... турбулентные потоки или переносят, или дают вклад, или «на них приходится до 50 %...»

На стр.55 *«что обусловлено состоянием облачного покрова»*. Так в гидрометеорологии не говорят, нет такого термина «облачный покров». Есть снежный покров, есть почвенный (реже используется). Про облачности говорят или «условия облачности», или режим облачности, или тип облачности

На рис. 3.1. в легенде коротковолновый баланс перепутан с длинноволновым. В автореферате это исправлено.

На стр. 57: *«первичным притоком тепла является поток нисходящей солнечной радиации...»*. Что стоит за этой фразой? Что значит «причиной притока является поток»? Приток и поток - строго определяемые физические величины. В частности, приток - это разность потоков. И что такое «первичный приток»?

На стр. 60: *«...что в дни событий она была представлена либо прохождением циклона, либо впадиной циклона к западу от атлантического побережья Шпицбергена»* - вся фраза вызывает недоумение, но прежде всего – «впадина циклона». Что это за термин и синоптическое образование?!

На стр. 61: «падение влажности воздуха, которое наблюдается из-за адиабатического расширения...». Во-первых, не падение влажности, а понижение. Но самое главное: из-за адиабатического расширения происходит прежде всего нагревание воздуха, которое влечет за собой уменьшение ОТНОСИТЕЛЬНОЙ влажности. Однако при этом абсолютная влажность не обязательно меняется (это происходит только в том случае, если на наветренной стороне хребта или горы происходит конденсация водяного пара).

На стр. 62: «...барическая седловина, юго-восточное направление ветра, ...порывы ветра» - в барической седловине по определению скорость ветра близка к 0.

Заключение

Большинство замечаний сводятся к недостаточной проработке литературы и существующего мирового задела, а также к несколько легкомысленному подходу к статистической обработке результатов, а также к написанию текста. Несмотря на многочисленные замечания, представленные в работе результаты могут быть полезны для калибровки и верификации тепло-балансовых блоков гляциологических моделей различной степени сложности. Представленная работа в целом соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает степени кандидата географических наук.

Официальный оппонент:

кандидат географических наук,
зав. отделом гляциологии Института
географии РАН



П. А. Горопов

20.09.2023

Контактные данные:

тел.: +7(916)647-14-50, e-mail: tormet@inbox.ru

Адрес места работы:

119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4.

ФГБУН Институт географии РАН

тел.: +7(495)959-00-22, e-mail: direct@igras.ru

Подпись сотрудника ИГ РАН

к.г.н. П.А. Горопова удостоверяю:

печать организации

подпись канцелярии

Подпись руки тов. _____
заверяю

Зяв. канцелярией
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт географии
Российской академии наук

