

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.365.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 12.10.2023 г. № 8

О присуждении Прохоровой Ульяне Вячеславовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата географических наук.

Диссертация **«Тепловой баланс ледников земли Норденшельда на примере ледника Альдегонда (о. Западный Шпицберген)»** по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате принята к защите 29.06.2023 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.365.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79, приказ № 61-нк от 26.01.2023.

Соискатель **Прохорова Ульяна Вячеславовна**, «1» декабря 1990 года рождения. В 2021 году соискатель окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» по направлению 05.06.01 Науки о Земле, работает в должности младшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт».

Диссертация выполнена в ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт».

**Научный руководитель** — кандидат географических наук, Иванов Борис Вячеславович, ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», лаборатория процессов взаимодействия океана и атмосферы, заведующий.

**Официальные оппоненты:**

Торопов Павел Алексеевич — кандидат географических наук, Института географии РАН, заведующий Отделом гляциологии, доцент кафедры метеорологии и климатологии Московского Государственного университета.

Попов Сергей Викторович — доктор геолого-минералогических наук, Антарктическая геофизическая партия Полярной морской геологоразведочной экспедиции, ведущий геофизик.

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Павловским Артемом Александровичем, доктором географических наук, доцентом, Института наук о Земле СПбГУ, и.о. заведующего кафедрой «Климатологии и мониторинга окружающей среды», указала, что диссертация Прохоровой Ульяны Вячеславовны «Тепловой баланс ледников земли Норденшельда на примере ледника Альдегонда (о. Западный Шпицберген)» посвящена актуальной тематике, а полученные в ней результаты вполне обоснованы и имеют несомненную научную новизну и практическую значимость. Результаты исследования опубликованы во многих рецензируемых научных журналах, неоднократно

были представлены на научных конференциях различного уровня. Работа соответствует требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата географических наук, а ее автор, Прохорова Ульяна Вячеславовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 Науки об атмосфере и климате.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 9 работ — в журналах, индексируемых наукометрическими системами SCOPUS и Web of Science. Соискателем также зарегистрированы 3 базы данных и программа для персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ).

1. Gjeltén H. M., Nordli Ø., Isaksen K., Førland E. J., Sviashchennikov P. N., Wyszynski P., Prokhorova U. V., Przybylak R., Ivanov B. V., Urazgildeeva A. V. Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen // *Polar Research*. – 2016. – Т. 35. – №. 1. – С. 29878.
2. Ivanov B. V., Prokhorova U. V., Sviashchennikov P. N. Analysis of continentality and anomaly of Svalbard climate according to observations of surface air temperature in the second half of the XX century // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2020. – Т. 606. – №. 1. – С. 012021.
3. Священников П. Н., Прохорова У. В., Иванов Б. В. Сравнение атмосферной циркуляции в районе архипелага Шпицберген во время потепления 1920–1950 гг. и в современный период // *Метеорология и гидрология*. – 2020. – №. 1. – С. 36–44.
4. Прохорова У. В., Священников П. Н., Иванов Б. В. Исследование временной изменчивости характеристик атмосферной циркуляции в районе арх. Шпицберген // *Проблемы Арктики и Антарктики*. – 2017. – Т. 63. – №. 4. – С. 47–56.
5. Журавский Д. М., Прохорова У. В., Иванов Б. В., Янжура А. С., Куприков Н. М., Курапов М. В. Полевые испытания методики фотограмметрической оценки альbedo снежно-ледниковых поверхностей // *Исследование Земли из космоса*. – 2019. – №. 4. – С. 18–28.
6. Прохорова У. В., Терехов А. В., Иванов Б. В., Веркулич С. Р. Расчет составляющих теплового баланса ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) в период абляции по данным наблюдений 2019 года // *Криосфера Земли*. – 2021. – Т. 25. – №. 3. – С. 50–60.
7. Ivanov B. V., Zhuravskiy D. M., Prokhorova U. V., Bezgreshnov A. M., Terekhov A. V., Kurapov M. V., Kashkova V. S. The studies of the Svalbard glacial surfaces albedo by an unmanned aerial vehicle // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2022. – Т. 1040. – №. 1. – С. 012002.
8. Терехов А.В., Прохорова У.В., Демидов В.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р. Изменения объёма и геометрии ледника Восточный Дальфонна (Шпицберген) в 2008–2019 гг. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022. Т. 68. № 4. С. 370-383
9. Terekhov A. V., Verkulich S., Borisik A., Demidov V., Prokhorova U., Romashova K et al. Mass balance, ice volume, and flow velocity of the Vestre Grønfjordbreen (Svalbard) from 2013/14 to 2019/20 // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. – 2022. – Т. 54. – №. 1. – С. 584–602.
10. Prokhorova U., Terekhov A., Ivanov B., Demidov V. Heat balance of a low-elevated Svalbard glacier during the ablation season: A case study of Aldegondabreen // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. – 2023. – Т. 55. – №. 1. – С. 2190057, DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057
11. Прохорова У.В., Терехов А.В., Демидов В.Э., Веркулич С.Р., Иванов Б.В. Внутрисезонная изменчивость абляции ледника Альдегонда (Шпицберген) // *Лёд и снег*. – 2023. – Т. 63. – №. 2. – С. 62–72, DOI: 10.31857/S2076673423020138

1. Иванов Б. В., Священников П. Н., Уразгильдеева А. В., Прохорова У. В., Весман А. В., Пантелеев В. В., Тисленко, Д. И. Среднемесячная температура приземного слоя воздуха на архипелаге Шпицберген по данным норвежских и российских метеорологических станций за период 1898–2014 гг.(SAT). Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2016621093 – 2016.
2. Иванов Б. В., Священников П. Н., Прохорова У. В., Зотова Е. В. Среднесуточная температура приземного слоя воздуха в поселке Баренцбург (архипелаг Шпицберген) за период 1932–2015 гг.(SAT\_BBG). Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2019620404 – 2019.
3. Иванов Б. В., Безгрешнов, А. М., Прохорова У. В., Куприков Н. М., Журавский Д. М. Данные измерений отражательных характеристик поверхности ледника Эсмарк (Шпицберген) с помощью БПЛА (грант РФФИ № 05-18-00471). Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2020620600 – 2020.
4. Прохорова У. В., Терехов А. В., Иванов Б. В. Теплобалансовая модель таяния поверхности ледников ENRGY. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2021664075 – 2021.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмеченные авторами отзывов замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

1. Отзыв официального оппонента заведующего Отделом гляциологии Института географии РАН, доцента кафедры метеорологии и климатологии Московского Государственного университета, кандидата географических наук Торопова Павла Алексеевича.

Отзыв положительный. Замечания:

- Соискатель утверждает, что ледник Альдегонда является репрезентативным гляциологическим объектом для исследуемого ледникового района, однако по факту получается, что основными критериями «репрезентативности» оказывается 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 тип), 2) его площадь должна быть близка к медианному значению эмпирической функции распределения площадей. В связи с этим возникают важные вопросы: насколько значение  $5.5 \text{ км}^2$  близко к медианному (эту информацию можно было бы извлечь из глобального гляциологического архива)? И является ли ледник Альдегонда типичным для Шпицбергена по своей морфологии? Типичен ли у него, помимо площади, угол наклона, отношение аспекта, длина осевого потока, и т. д.? За рамками рассмотрения остались вопросы выбора параметризаций теплопроводности тающего снега и льда и их влияния на динамику расплавления ледника: соответствующих численных экспериментов не проводилось.
- 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.

- Климатическое районирование Шпицбергена (стр. 18, рис. 1.3) выглядит странно. Во-первых, почему в районировании не участвуют годовые осадки? Во-вторых, глядя на рис. 1.3 можно четко выделить 2 типа. Первый тип - относительно мягкий (среднегодовая температура  $-4...-8$  C) и видимо влажный (в этот тип климата явно попадает остров Эдж). Второй тип - относительно холодный ( $-8...-12$ ) и видимо более сухой. То есть юго-западная половина архипелага (теплая и влажная) и северо-восточная (холодная и более 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 выглядят не убедительно.
- 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. 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 это получилась «Климатическая характеристика архипелага Шпицберген», причем не вполне детальная.
- 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, HYOGA2 (Zekollari, 2022). Несколько из них находятся в открытом доступе (например, GloGEMflow), более того, для них прописаны теплобалансовые 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.
- Почему-то соискатель уверен, что (цитата со стр. 44) «...исчерпывающий обзор существующих подходов к оценке излучательной способности атмосферы приведён в работе (Kцnig-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., Омура 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.

- 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). Ссылка на одну, пусть и сильную работу, не является физическим обоснованием, это следует оценивать самим. Результат расчетов потоков очень сильно зависит от коэффициента шероховатости.
- В итоге 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 выглядит неубедительно (особенно вблизи бортов долины);
- 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 м<sup>2</sup> оказывается равным примерно 2-3 градуса (при этом ледовые участки, естественно, имеют нулевую температуру). Оценка температуры поверхности – большая проблема;
- Крупные обломки породы и скальные борта долины играют заметную роль в формировании турбулентных потоков тепла (так называемый эффект «foot-print»), это явно не учитывалось.
- 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 – это уже бы дало 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 тоже не лучший вариант, но хотя бы более обоснованно, чем предложенные соискателем грубые градации.

- Описание модели теплопроводности снега и льда крайне бедное. Приходится только догадываться, что снег представлен одним слоем, и что уравнение теплопроводности решается не численно.
- Прежде всего, непонятно откуда на Альдегонде берется высотный градиент абляции, если перепад высот невелик, альbedo достаточно однородно (снег судя по всему сходит одновременно по всей поверхности ледника), много облачных дней.
- 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
- 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.); также принят интервал 0.96 - 1.0 (Дроздов, Турков, 2023). Это целый пласт исследований, и самый простой путь - измерять температуру термодатчиком 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 завышенные значения максимального альbedo льда.
- Рецензент не утверждает, что это невозможное значение, однако в большинстве публикаций по тепло-балансовому режиму ледников (Волошина, 1968;2001; Oerlemans,2011; Торопов 2018;2022) альbedo поверхности льда не превышает 0.45. 0.55 – это в большинстве случаев уже мокрый снег.
- 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 альbedo, полученного по спутниковым данным, и по результатам маршрутной альбедосъемки)
- 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"...

- Использование геодезического метода оценки баланса массы без детального сравнения с тахеометрической съемкой вызывает некоторые сомнения.
- 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?
- Параграф 4.1. явно должен был бы оказаться в главе 1 или 2 (по смыслу).
- 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...»
- 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). Это классическая физика атмосферы!
- На стр. 62: «...барическая седловина, юго-восточное направление ветра,...порывы ветра» - в барической седловине по определению скорость ветра близка к 0.

2. Отзыв официального оппонента ведущего геофизика Антарктической геофизической партии Полярной морской геологоразведочной экспедиции, доктора геолого-минералогических наук Попова Сергея Викторовича.

Отзыв положительный. Замечания:

- В Главе 2 работы заметна излишняя лаконичность в описании методик, на которых основаны отдельные блоки расчетов в предложенной модели. Расчет потока тепла, затрачиваемого на таяние в параграфе 2.3.3, представлен всего парой абзацев, и для

понимания происходящего необходимо дополнительно искать описание в статьях, приведенных автором в качестве ссылок.

- Не совсем понятно, каким образом автор использует в модели данные термокосы: точное определение глубины расположения датчиков относительно поверхности представляется довольно сложным в процессе таяния ледника.
- Из текста работы неясно, чем определялась предельная глубина расчетов кондуктивного потока тепла в модели. Также не до конца понятно, как в модели рассчитывалась температуропроводность слоёв, например, в том случае, если в один слой попадал материал разной плотности (снег и лёд)?
- Также в работе содержатся опечатки, которые могут несколько сбивать с толку. Например, на рисунке 3.1 перепутаны обозначения коротковолнового и длинноволнового баланса, а рисунок 3.5 содержит подпись, аналогичную рисунку 2.10 и т.д.
- В предложенной соискателем модели совершенно не учитываются осадки, которые могут оказывать значительное влияние на поверхностное таяние ледника. Если соискатель считает вклад осадков в абляцию незначительным, хотелось бы видеть в работе обоснование этому факту.
- В главе 3, параграф 3.2 не совсем понятна методика расчёта вклада компонентов теплового баланса в таяние. Учитываются только положительные компоненты (Таблица 3.1), хотя длинноволновый баланс поверхности также играет важную роль. Но при таком подходе в оценке вклада он никак не учитывается. Возможно, соискателю стоило бы привести несколько вариантов оценки, разбив длинноволновый баланс на две его составляющие: собственное излучение поверхности ледника и противоизлучение атмосферы.

3. Отзыв ведущей организации, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Отзыв положительный. Замечания:

- Некоторые рисунки и таблицы содержат подписи на русском и на английском языках.
- На рисунке 3.1 перепутаны обозначения кривых коротковолнового и длинноволнового баланса.
- Автор использует термины абляция и таяние как синонимы, однако между ними есть различие.
- Автором делается вывод о величине вклада метеорологической величины в изменчивость поверхностного таяния ледника по величине коэффициента корреляции между метеорологической величиной и таянием. Только коэффициента корреляции для подобного вывода не достаточно.
- Вывод автора о возможности применения полученных результатов на леднике Альдегонда к оценке процессов поверхностного таяния на других ледниках архипелага представляется не вполне обоснованным. Было бы полезно использовать полученную модель таяния на каком-нибудь леднике для получения оценок величины таяния, что подтвердило бы универсальность разработанной методики.

4. Отзыв ведущего научного сотрудника отдела взаимодействия океана и атмосферы ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», кандидата физико-математических наук Богородского Петра Витальевича.

Отзыв положительный. Замечания:

- Автору следовало бы несколько подробнее остановиться на воздействии теплового и радиационного прогрева на эволюцию слоёв льда и снега, уделив большее внимание изменениям их фазового характера. Желательность такого дополнения

обусловлена, прежде всего, значительной толщиной стаявшего за лето слоя льда и, следовательно, образованием большого количества распада и его возможной рекристаллизации во время заморозков, резко изменяющих характер теплопереноса к поверхности льда.

- За рамками рассмотрения остались вопросы выбора параметризаций теплопроводности тающего снега и льда и их влияния на динамику таяния ледника: соответствующих численных экспериментов не проводилось.
- Отсутствует обоснование выбора соискателем взятой за основу своей теплораспределительной модели схемы расчёта таяния двухслойного ледяного массива, изначально разработанной для высокогорных альпийских ледников со сравнительно малой абляцией. Из-за излишней краткости описания постановки задачи в автореферате за её деталями приходится обращаться к статье Klok и Oerlemans.

5. Отзыв главного научного сотрудника, заведующего отделом географии полярных стран ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», доктора географических наук Веркулича Сергея Романовича и старшего научного сотрудника отдела географии полярных стран ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», кандидата географических наук Анисимова Михаила Александровича.

Отзыв положительный. Замечаний нет.

6. Отзыв профессора кафедры физической географии и ландшафтного планирования Института наук о Земле ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», доктора географических наук Ганюшкина Дмитрия Анатольевича.

Отзыв положительный. Замечания:

- В автореферате упомянуто, что все ледники полуострова Земля Норденшельда находятся ниже снеговой границы. Также говорится о полном сходе снега с поверхности ледника Альдегонда в период абляции. Означает ли это, что упомянутый ледник в период исследований был полностью лишен зоны питания? И если это так, означает ли, что полученные автором результаты применимы исключительно для ледников, лишенных зоны питания?
- Второй вопрос-замечание по сути продолжает первый: насколько применимы полученные автором результаты моделирования к другим ледникам, как на территории Шпицбергена, так и в других регионах?

7. Отзыв доцента кафедры физической географии и природопользования факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, кандидата географических наук Кублицкого Юрия Анатольевича.

Отзыв положительный. Замечания:

- Автор утверждает, что ледник Альдегонда репрезентативен для экстраполяции результатов проводимого исследования на все остальные ледники полуострова Земля Норденшельда. Проводились ли верификация этой экстраполяции? Сравнивались ли результаты моделирования с натурными измерениями других ледников?
- Насколько сильно будет зависеть разработанная автором — модель от географического положения? Возможно ли применять разработанную автором модель для оценки влияния компонентов теплового баланса на внутрисезонную и межгодовую абляцию, например, на ледники Земли Франца Иосифа?

8. Отзыв профессора РАН, заведующей лабораторией взаимодействия атмосферы и океана ФГБУН «Института физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН», доктора физико-математических наук Репиной Ирины Анатольевны.

Отзыв положительный. Замечания:

- Прежде всего, к положениям, выносимым на защиту. 1 положение — НЕ уточнено в масштабах какого именно сезона.
- Положение «В годы с наибольшей величиной абляции льда вклад компонентов, зависящих от температуры воздуха, повышается» - это не является открытием, естественно, что температурный фактор играет ведущую роль в абляции ледника.
- Не очень понятно, что автор называет теплобалансовой моделью. Набор параметризаций для расчета составляющих теплового баланса? В настоящем случае это скорее расчет составляющих теплового баланса с использованием данных измерений. Почему не использовались уже разработанные теплобалансовые модули?
- При расчете турбулентных потоков тепла используются аэродинамические балкформулы. Как рассчитываются коэффициенты турбулентного обмена? Из теории подобия Мони́на-Обухова (как в цитируемой работе Munro, 1990) или используются параметризации? Если теория подобия — какие значения — шероховатости использовались, какие универсальные функции? При наличии измерений на двух уровнях логичнее было бы использовать градиентно-поточковый метод.
- И насколько измерения и расчеты в одной точке репрезентативны для всего ледника? Шероховатость ледника, альbedo, скорость ветра сильно изменчивы в зависимости от удаления от кромки и наклона поверхности.
- При расчете баланса длинноволновой радиации — существуют — более современные методики, чем применяемые автором. Прежде чем включать формулу в расчеты, хорошо бы было провести сравнение разных методик.
- Что такое «поток тепла, направленный вглубь ледника»? Если использовалась многослойная модель теплопереноса, какие слои выделялись? Как задавалась теплопроводность для снега и льда?
- В автореферате отсутствует даже обзорное описание — используемых экспериментальных данных.
- Вывод о роли циклонической активности В усилении турбулентного теплообмена выглядит поспешным. Циклоническая активность может приводить К усилению мезомасштабных процессов: кататических потоков, фёнов, дренажных ветров. Поэтому отсека́ть эти эффекты не стоит.

9. Отзыв доцента кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды Института наук о Земле ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кандидата географических наук Священникова Павла Николаевича.

Отзыв положительный. Замечания:

- К недостаткам работы следует отнести сформулированные автором положения выносимые на защиту таким образом, что они не отражают достаточно понятно полученные в работе результаты.

10. Отзыв главного научного сотрудника, заведующего отделом гидрологии устьев рек и водных ресурсов ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», кандидата географических наук Третьякова Михаила Вячеславовича.

Отзыв положительный. Замечания:

- В диссертации в обобщенном виде теплобалансовая модель представлена сразу в урезанном виде (стр.28) (в автореферате отсутствует). Дискуссии о том, почему некоторые элементы баланса не учитывались, к сожалению, нет. Например, в

балансе не учитывается тепло, приносимое с осадками, а также выносимое с жидким стоком.

- В работе не сказано, какое пространственное разрешение модели.
- Из работы следует, что при моделировании рассматривается не весь год, а только какой-то период года. Однако не описано то, как выбирался начальный и конечный момент для расчетов. Какое есть основание считать, что выбранный период полностью описывает абляцию ледника, на основе которой строится оценка качества моделирования?
- Верификация модели проводится на данных об абляции ледника, измеряемые несколько раз в сезон и, в целом, показывает хорошие результаты. Однако как ведет себя модель в синоптическом масштабе не очень понятно. Линейная интерполяция данных наблюдений за абляцией вряд ли отражает синоптическую изменчивость. Наверное, здесь помогли бы данные о речном стоке, имеющиеся в суточном разрешении, но они почему-то не были использованы.
- К сожалению, в работе не сказано об ограничениях применительно к выводам. Выводы сделаны на основе анализа периода лет с 2018-2021 гг, когда наблюдался отрицательный баланс массы ледника. То есть выводы не будут справедливы для условий положительного баланса массы ледника (стр. 30 диссертации «Для ледников также часто учитывается поток тепла при замерзании воды в толще фирна и снега. Этот процесс происходит как при повторном замерзании талых вод, но и с намерзанием жидких осадков. Для Шпицбергена в целом этот компонент теплового баланса важен (Van Pelt et al., 2016; Łupikasza et al., 2019), но так на леднике Альдегонда отсутствует фирновый слой, а снежный покров сходит в летний период целиком, то эта составляющая никак не учитывается в данной работе»).

Выбор **официальных оппонентов** обосновывается следующим: Торопов Павел Алексеевич кандидат географических наук, заведующий отделом гляциологии Института географии РАН, доцент кафедры метеорологии и климатологии Московского Государственного университета, является одним из ведущих специалистов в области гляциометеорологии, имеет огромный опыт в моделировании теплобаланса, что подтверждается большим количеством статей по данной теме.

Попов Сергей Викторович доктор геолого-минералогических наук, ведущий геофизик Антарктической геофизической партии Полярной морской геологоразведочной экспедиции, является ведущим специалистов в области изучения строения ледников Арктики и Антарктики георадиолокационными методами, а также имеет огромный опыт в математическом моделировании субгляциальных гидрологических и геоморфологических процессов.

Оппоненты компетентны в вопросах исследования теплового баланса поверхности горных ледников, применения методов обработки данных метеорологических наблюдений, а также имеют публикации в исследуемой соискателем области и способны определить научную и практическую ценность полученных результатов диссертации.

Выбор **ведущей организации** обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург широко известно своими достижениями в изучении теплового баланса Земли, особенностей различных атмосферных процессов в отдельных, в том числе и полярных, регионах земного шара, прогнозировании погоды, исследовании крупномасштабных гидродинамических процессов и явлений, и способно определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет** отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** модель теплового баланса низко расположенных ледников, позволяющая рассмотреть внутрисезонный ход компонентов теплового баланса и посуточно оценить их вклад в таяние ледника Альдегонда в течение года;

**выявлены** особенности таяния ледников Земли Норденшельда, обусловленные воздействием различных внешних факторов;

**доказана** превалирующая роль коротковолнового баланса в сезонной поверхностной абляции низко расположенных ледников полуострова Земля Норденшельда (о. Западный Шпицберген).

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**выявлены** закономерности внутрисезонной и межгодовой изменчивости компонентов теплового баланса низко расположенных ледников Арктики;

**определены** возможные причины возникновения аномалий турбулентных потоков над низко расположенными ледниками.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработана** модель теплового баланса низко расположенных ледников, применение которой возможно для ледников архипелага Шпицберген на основе данных натурных наблюдений;

**выявлены** зависимости между таянием ледника Альдегонда и компонентами теплового баланса, что позволяет уточнить механизмы, приводящие к аккумуляции или потере массы ледников юго-западной части архипелага Шпицберген.

**Оценка достоверности результатов выявила:**

все полученные результаты обладают высокой степенью достоверности и являются обоснованными. Для работы были использованы данные высокого качества и применены современные методики исследования. Достоверность получаемых результатов обеспечивается обоснованным применением, как признанных методов моделирования и стандартных методов измерения, так и оригинальных методик. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, докладывались на международных и всероссийских конференциях.

**Личный вклад автора** заключается в определении цели и задач исследования, личном проведении натурных метеорологических наблюдений на леднике Альдегонда в период с 2017 по 2022 год; разработке методической части теплобалансовой модели для расчёта компонентов баланса, проведении анализа полученных результатов и оценке их погрешности.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие **критические замечания**:

1. В докладе и автореферате не приводятся оценки погрешности разработанной модели с разрешением того же порядка, что и выводимый результат. Погрешности оцениваются только для конечного результата за весь сезон абляции.
2. Соискателем несколько небрежно сформулированы основные выводы и результаты проведенного исследования.
3. Отсутствует сопоставление с результатами применения других моделей, которые содержат теплобалансовый модуль.

Соискатель Прохорова У.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 12 октября 2023 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития гляциометеорологических исследований и разработку модели теплового баланса низко-расположенных ледников арктической зоны присудить Прохоровой У.В. ученую степень кандидата географических наук.

При проведении тайного/открытого голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук, участвующих в заседании, из 17 человек, входящих в совет, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель совета 24.2.365.02  
д. физ-мат.н.



*[Handwritten signature of Sergey Pavlovich Smishlyayev]*

Смышляев Сергей Павлович

Ученый секретарь совета 24.2.365.02  
к. физ-мат.н.

*[Handwritten signature of Tatyana Sergeevna Ermakova]*

Ермакова Татьяна Сергеевна

12 октября 2023 г.