

## Отзыв

официального оппонента по диссертации Землянковой Анастасии Александровны «ОЦЕНКА НАЛЕДНЫХ РЕСУРСОВ И ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕК МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Представленная на защиту диссертационная работа Землянковой А.А. выполнена на **актуальную тему**. Происходящие в последние десятилетия климатические изменения приводят, в свою очередь, к существенным изменениям и геокриологических, и гидрогеологических, и гидрологических процессов. В результате взаимодействия этих процессов в зоне распространения многолетнемерзлых пород наблюдаются такие специфические явления как наледи. Наледи, в силу специфики холодного климата, являются и аккумуляторами воды, и источником опасности и риска негативного воздействия вод на различные объекты инфраструктуры. В научном плане наледи являются индикатором происходящих изменений, а в прикладном – объектом, который необходимо анализировать, прогнозировать и учитывать при проектировании и эксплуатации сооружений. В целом эти объекты изучены недостаточно, поэтому тема диссертации представляется актуальной.

**Целью диссертационного исследования** является выявление и учет закономерностей развития наледей на территории Магаданской области и их вклада в водные ресурсы рек.

Для достижения заявленных целей соискателем были сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ исторических и современных подходов к исследованию наледных процессов, в том числе численных оценок характеристик наледей, таких как площадь, объем и толщина льда.
2. Провести расчет характеристик Анмангындинской наледи, как репрезентативного объекта горной криолитозоны Северо-Востока России, выявить их динамику за период 1962-2022 гг. и оценить роль климатических и геокриологических факторов в изменении режима наледообразования.
3. Выполнить режимные и специальные наблюдения за гидрологическими, геокриологическими и другими компонентами природной среды горного бассейна р.

Анмангында на комплексном научном полигоне «Анмангындинская наледь» для получения фактического материала.

4. Разработать каталог наледей Магаданской области на основе дешифрирования космических снимков, сформировать базу данных о местоположении и размерах наледей, результаты представить в виде карты.

5. Оценить наледные ресурсы Магаданской области на основе разработанного каталога наледей, региональных коэффициентов и номограмм, а также проанализировать какую долю составляет наледное питание в стоке рек Магаданской области.

6. Разработать методику моделирования процессов формирования стока в бассейнах рек с наледным питанием, включить ее в гидрологическую модель «Гидрограф», провести верификацию и апробацию метода.

К результатам, обладающим научной новизной, соискателем отнесены следующие положения:

1. Для Анмангындинской наледи, репрезентативной для территории Северо-Востока России, разработана база данных морфометрических характеристик наледи, объединяющая результаты многолетних наземных и спутниковых наблюдений за период с 1962 по 2022 гг.

2. На основе исторических данных и собственных полевых материалов актуализированы параметры расчетных формул для оценки наледных ресурсов и вклада наледей в формирование стока рек.

3. Впервые с 1958 года, по различным источникам и многолетним космическим данным, создана актуальная картографическая база данных наледей подземных вод на территории Магаданской области и определены их основные характеристики.

4. С помощью блока «Наледь», разработанного автором, расширены возможности гидрологической модели «Гидрограф» воспроизводить переменные состояния водосбора и гидрографы речного стока в бассейнах рек с наледным питанием.

Оценивая степень **достоверности** полученных результатов, необходимо отметить, что в работе использовались архивные данные специальных наблюдений и современного гидрометеорологического мониторинга сети Росгидромета, данные дистанционного

зондирования Земли, а также материалы собственных полевых исследований на изучаемых объектах.

**Основные положения** диссертации, выносимые на защиту, сформулированы в следующем виде:

1. Установлено, что за период с 1962 по 2022 гг. наблюдается статистически значимое снижение площади и объема гигантской Анмангындинской наледи (репрезентативной для Северо- Востока России), которое обусловлено главным образом климатическими факторами – увеличением количества осадков и повышением температуры воздуха в начальный период формирования наледи (в ноябре-декабре).
2. Составленный каталог наледей подземных вод на территории Магаданской области создан на основе космических снимков Landsat, отражает современное состояние наледных ресурсов региона с указанием их местоположения и площади.
3. Выявлено, что наледные процессы оказывают влияние на внутригодовое распределение стока рек Магаданской области: на наледный сток приходится до 12% годового объема речного стока, потери речного стока на образование наледей в зимний период составляют от 2 до 100%, а также на некоторых объектах запасы наледных вод в несколько раз превышают величину зимнего стока. Общий объем наледных ресурсов составляет 1.35 км<sup>3</sup>.
4. На основе разработанного блока «Наледь» усовершенствована гидрологическая модель «Гидрограф», которая позволяет учитывать приток воды от таяния и разрушения наледного льда в задачах расчета гидрологических характеристик поверхностного стока рек.

**Личный вклад** автора в полученные выводы и результаты несомненен. Основные результаты диссертационного исследования получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии в коллективе соавторов.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований доложены автором на ряде международных и российских конференций. Сами исследования были поддержаны грантами РГО, БРИКС, Санкт-Петербургским государственным университетом, региональным грантом РНФ и Правительства Магаданской области.

**Публикации.** По теме диссертационной работы автором опубликовано лично и в соавторстве 11 статей в рецензируемых изданиях, из них 2 – в журналах, рекомендованных ВАК, 9 – в изданиях, входящих в системы цитирования Scopus или WOS. Издана монография в соавторстве «Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России».

Содержание автореферата отражает содержание диссертации.

### **Содержание диссертационного исследования**

В главе 1 освещается история изучения наледей, выделены основные методы и проблемы изучения наледных процессов, описывается их изменчивость во времени и пространстве. Даются основные определения.

Со ссылками на многочисленные работы российских и зарубежных авторов, выводы которых основаны на результатах полевых наблюдений и обработке данных ДЗЗ, обсуждается проблема сокращения площадей и изменений внутригодового режима наледей на фоне изменения климата. Важный вывод состоит в том, что на настоящий момент не решен вопрос о методах прогноза наледных явлений, а также определения толщины и объемов льда дистанционными методами.

В Главе 2 представлены основные сведения о физико-географических условиях формирования Анмангындинской наледи, истории развития сети наблюдений наледных процессов, а также материалы и методы, используемые при выполнении диссертационного исследования. В главе также описываются изменения гидроклиматических и геофизиологических условий, а также их влияние на процессы наледообразования.

Анмангындинская наледь является основным объектом исследования и расположена в бассейне р. Анмангында (Магаданская обл.). Максимальные размеры наледи могут достигать около 7 км<sup>2</sup> по площади и более 10 млн. м<sup>3</sup> в объеме. Соискатель, со ссылкой на работу Толстихина, делает важный вывод, что по природно-климатическим условиям речной бассейн, в котором формируется Анмангындинская наледь, является репрезентативным для горных ландшафтов Северо-Востока России.

Оценка объема наледи в современный период (2000-2022 гг.) проведена в диссертации по известной формуле Б.Л. Соколова  $W=aS^n$ , описывающей связь объема наледи (W,) с ее площадью (S).

В диссертации показано, что за последние 60 лет максимальные размеры наледи до начала таяния сократились на 14.8% и 17.4% для площади и объема соответственно. Внутригодовая динамика наледи также изменилась. В настоящее время наледь полностью

разрушается к августу-сентябрю, а ранее 4-10% от максимальной площади сохранялось и включалось в формирование наледи на следующий год. Период таяния в среднем сократился на 34 дня.

В Главе 3 приведено краткое описание физико-географических условий Магаданской области, методы оценки наледных ресурсов, представлены результаты анализа вклада наледного стока в сток рек Магаданской области, а также выполнено картирование полученных данных.

Можно отметить номограмму для определения относительной площади наледи подземных вод в зависимости от числа дней после начала ее разрушения. На основе полученных материалов рассчитан вклад наледного стока в водный баланс бассейнов рек Магаданской области в различные фазы гидрологического режима.

Путем обработки данных наблюдений на 23 постах Росгидромета, получено, что наледный сток рек колеблется от 1.4 до 20.7 мм в год, или 0.4-14 % (в среднем 2%). Наледные ресурсы в процентах от зимнего стока рек составляют 2-235% (в среднем 33%).

В Главе 4 представлены результаты разработки методики расчета гидрографов стока рек с наледным питанием с расчетным интервалом времени не менее суток на основе гидрологической модели «Гидрограф» на примере бассейна р. Анмангында. Для моделирования наледного процесса автором разработан блок «Наледь» для модели «Гидрограф», связанный с оценкой объема ледовых явлений, учета вклада наледного стока в сток рек. Он основан на расчете таяния наледи под действием солнечной радиации и термоэрозийного разрушения. Входными данными являются площадь наледи к началу теплого сезона, эффективная температура и дефицит влажности воздуха (с учетом прихода солнечной радиации), а также вводится коэффициент таяния льда и испарения со льда. Результатом являются слои стока и характеристики наледи на заданный интервал. Процесс формирования наледи в модели «Гидрограф» не моделируется.

В заключении диссертации приводятся упомянутые выше основные результаты.

Замечания.

1. Завершая первую главу, автор справедливо отмечает, что «Расчетные методы по оценке характеристик наледи или их вклада в речной сток были разработаны в прошлом веке и до сих пор не было предложено нового подхода. Необходимы

комплексные стационарные наблюдения в разных регионах на нескольких ключевых объектах, где уже имеется ряд данных за стационарный период климата». Тем не менее, в главе практически не уделено должного внимания собственно методам расчета. Надо было бы в завершение главы систематизировать: какие характеристики рассчитываются сегодня и какие характеристики нужны для решения прикладных задач. В каком направлении развивать упомянутые комплексные наблюдения? Что за модели и методы хотелось бы получить в итоге таких исследований?

2. Согласно данным диссертации (стр. 26), годовой сток бассейна р. Анмангында варьировал от 177 до 497 мм и в среднем составлял 305 мм. В то же время годовая сумма осадков по данным м/с Усть-Омчуг составила 341 мм. Коэффициент стока составляет 0.89. Как это объяснить? Репрезентативно ли такое соотношение?
3. Глава вторая не заканчивается уверенными выводами о генезисе вод, формирующих Анмангыдинскую наледь. Выявлено много регрессионных зависимостей, связывающих параметры наледи с метеорологическими характеристиками, но так и не сделан определенный вывод – что же является основным фактором ее формирования? Насколько эта наледь репрезентативна по сравнению с другими объектами и регионами?
4. Глава 3 заканчивается выводом «Разработанные карты и базы данных наледей Магаданской области могут быть использованы для разработки рекомендаций по строительству инженерных сооружений в зоне распространения многолетнемерзлых пород, а также рекомендаций по борьбе с наледными явлениями». В тексте главы про обоснование инженерных мероприятий ничего не говорится. Хотелось бы видеть рекомендации автора по применению полученных карт при обосновании схем защиты или при оценке ресурсов. Какова погрешность рекомендуемого метода?
5. Основной вывод по главе 4 должен характеризовать возможность оценки и моделирования наледного питания средствами модели Гидрограф. В тексте главы обсуждается много текущих вопросов моделирования, но нет вывода о том, насколько эффективно модель Ю.Б.Виноградова воспроизводит собственно наледное питание? Сколько воды и как приходит с водосбора в зону формирования наледи? Как удалость «поправить» модель Виноградова для описания такого сложного процесса?

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

В целом можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Землянковой Анастасии Александровны «ОЦЕНКА НАЛЕДНЫХ РЕСУРСОВ И ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕК МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ», соответствует требованиям ВАК и критериям, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями), а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент, заведующий

лабораторией моделирования поверхностных вод,

главный научный сотрудник

ФГБУН Институт водных проблем РАН

д.т.н.

Болгов М.В.

Адрес почтовый

119333, Москва

Ул.Губкина, 3, ИВП РАН

Тел. +7(499) 135-54-56

Эл. почта [bolgov@mail.ru](mailto:bolgov@mail.ru)

Я, Болгов Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«20» августа 2024 г.

/Болгов М.В./

