

Федосеева Н.В., Симакина Т.Е.
РГГМУ, Санкт-Петербург

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДИКТОРЫ БОРОПОДОБНЫХ ВЕТРОВ

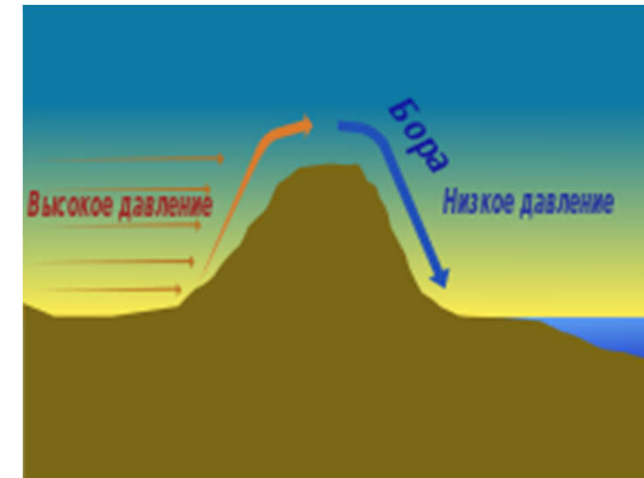
Что такое бора?

•**Определение:** Холодный, порывистый, местный ветер, возникающий при перетекании холодного воздуха через горный хребет.

•**Основные характеристики:**

- Резкое усиление скорости ветра и порывы
- Адвекция холода
- Опасное явление для судоходства, авиации и хозяйственной деятельности

•**Где встречается бора:**

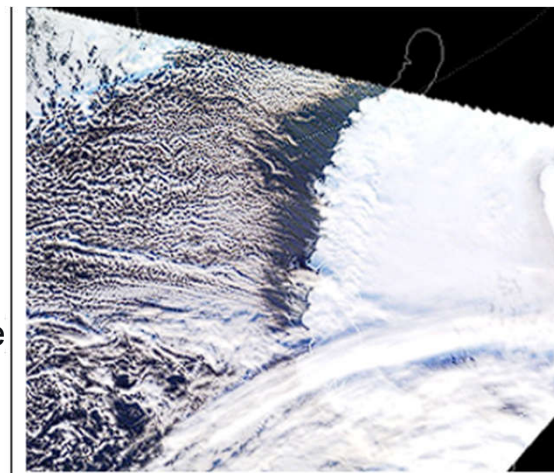


•**Объекты исследования:**

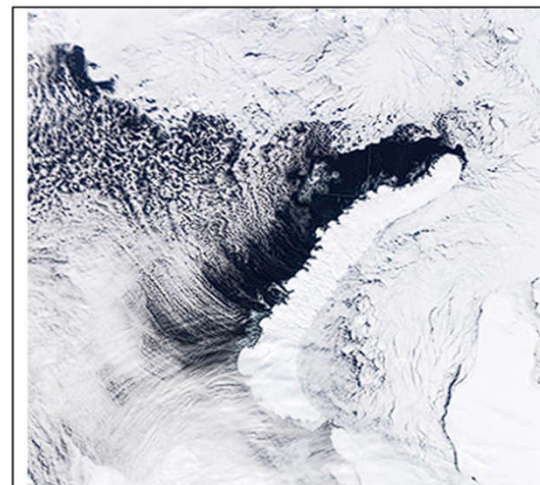
- Озеро Байкал (38 случаев)
- Архипелаг Новая Земля (60 случаев)

Методы и данные

- **Спутниковый мониторинг:**
 - Радарные снимки Sentinel-1 (отслеживание следов на воде)
 - Оптические снимки
- **Метеорологические данные:**
 - Аэрологические зондирования (станция Ангарск)
 - Реанализ MERRA-2
 - Карты скорости ветра (модель ICON)
- **Критерии идентификации:**
 - Падение температуры на подветренной стороне
 - Рост скорости ветра
 - Полосообразные сигнатуры на водной поверхности



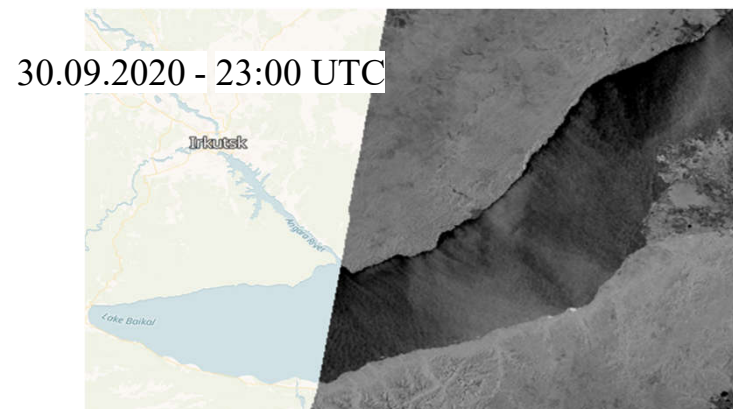
С Карского моря 02.03.17



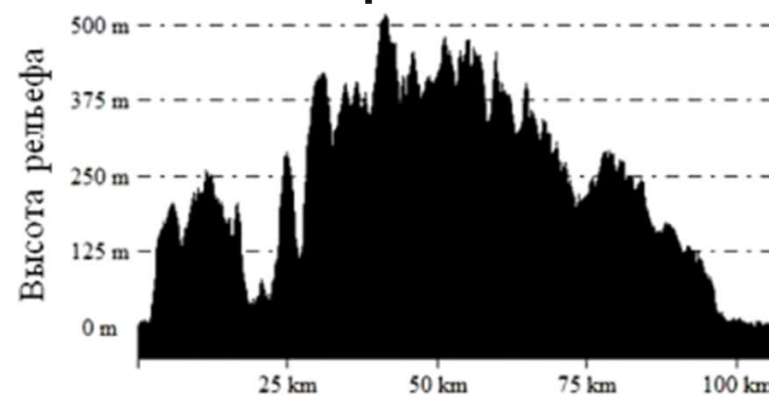
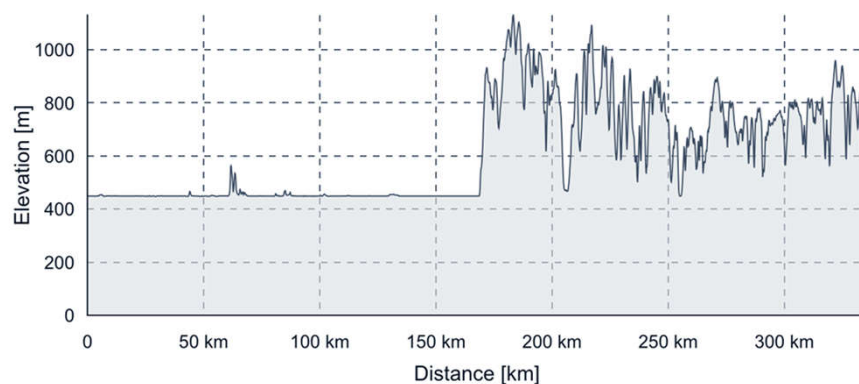
С Карского моря 09.04.17

«Изображения» байкальской боры Горная на радиолокационных снимках Sentinel-1

Идентификация эпизодов боры выполнялась по спутниковым данным с последующей верификацией по критериям падения температуры и роста скорости ветра на подветренной стороне хребта. Помимо снимков оптического диапазона, использовались радиолокационные изображения, позволяющие отслеживать атмосферные процессы по характерным следам на водной поверхности. Для изрезанной береговой линии, характерной для Байкала, проявлением боры служили полосообразные сигнатуры светлого тона на водной поверхности.



Профили рельефа западного берега оз.Байкал и острова Новая земля

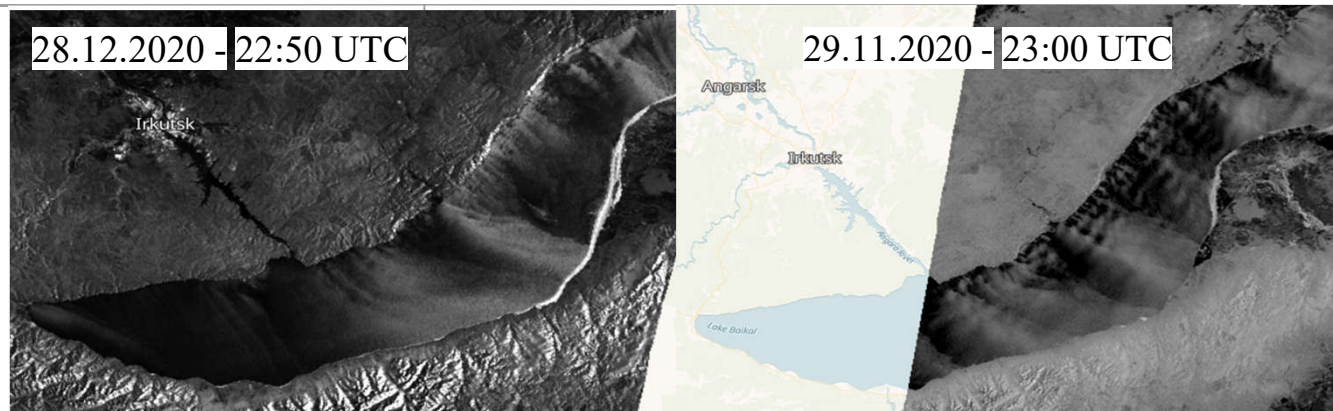


«Изображения» байкальской на радиолокационных снимках Sentinel-1

29.11.2021: Скорость ветра 10-14 м/с. Четкие следы выноса холодного воздуха на радарном снимке.

28.12.2020: Скорость ветра 13-21 м/с. Ярко выраженные полосообразные структуры.

16.11.2019: Скорость ветра 14-18 м/с. Характерные "языки" выноса с побережья.



Статистика и сезонность боры Горная (Байкал, 2014-2021 гг.)

Всего зафиксировано случаев боры: 38

Распределение по годам:

Максимум: 2014 (11 случаев)

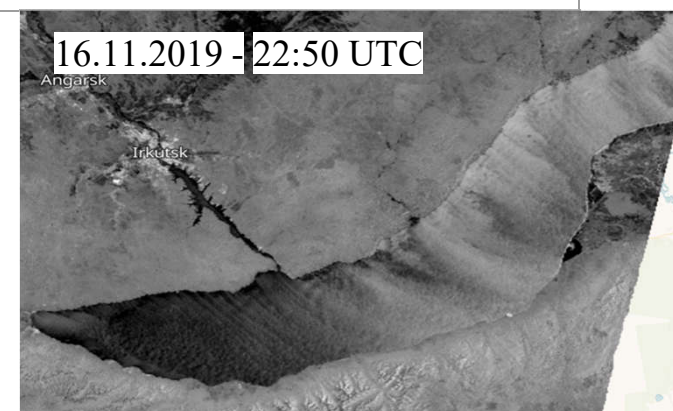
Минимум: 2017 (3 случая)

Сезонное распределение:

Пик: Ноябрь (7 случаев)

Минимум: Март (0 случаев)

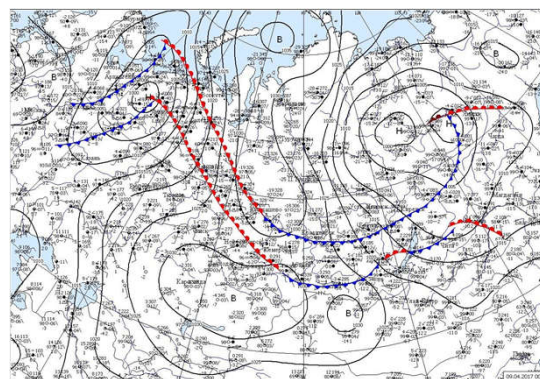
71% случаев (27 из 38) приходится на осенне-зимний период.



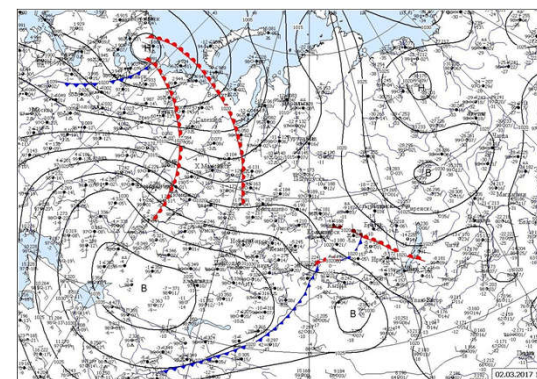
Синоптическая ситуация. Новоземельская бора

Ключевым индикатором являлась синоптическая ситуация, при которой непосредственно за орографическим препятствием наблюдалась зона с ясным небом, сменяющаяся облачными улицами, ориентированными перпендикулярно или под углом к хребту.

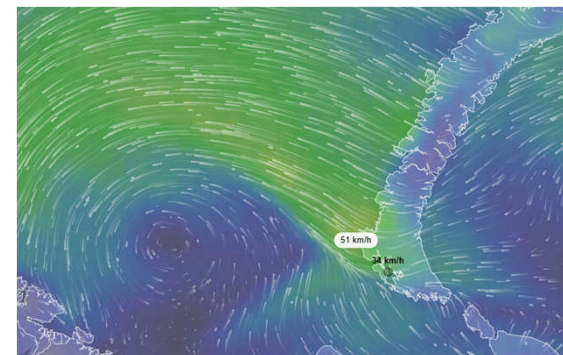
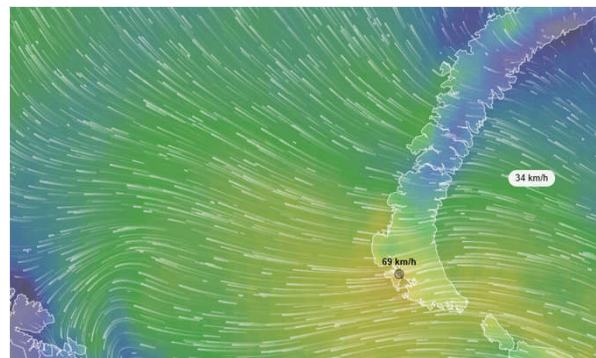
09.04.2017



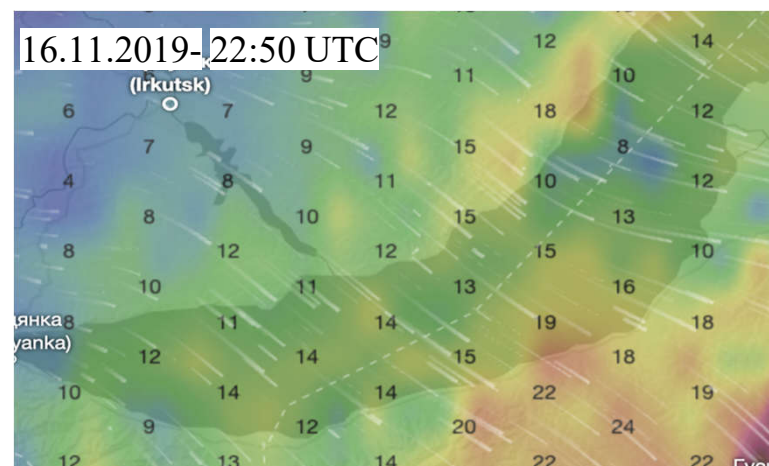
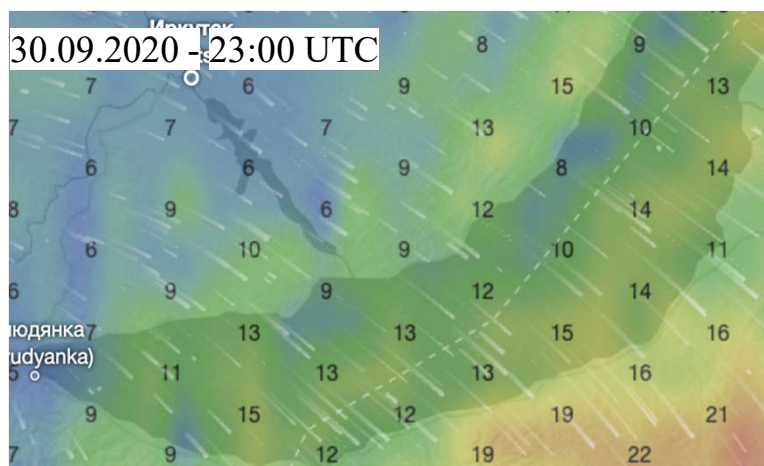
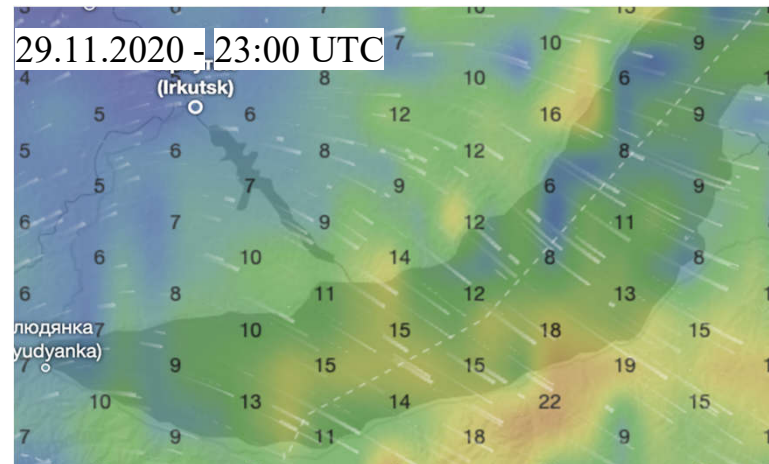
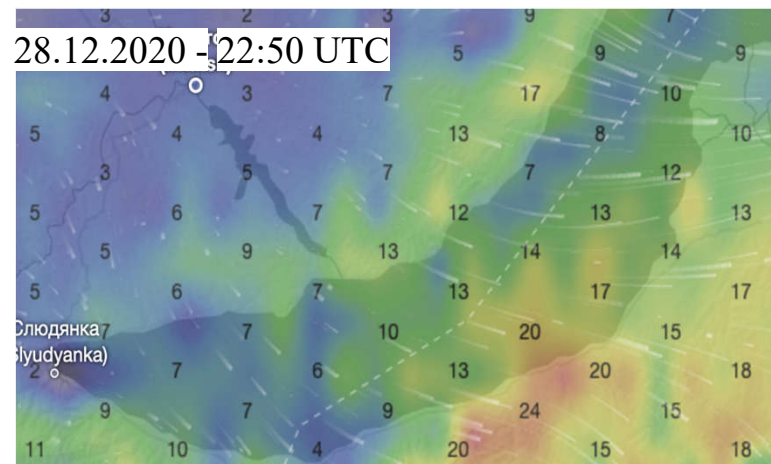
02.03.2017



Карта скорости ветра. Модель ICON



Карта скорости ветра. Модель ICON. Байкальская бора.



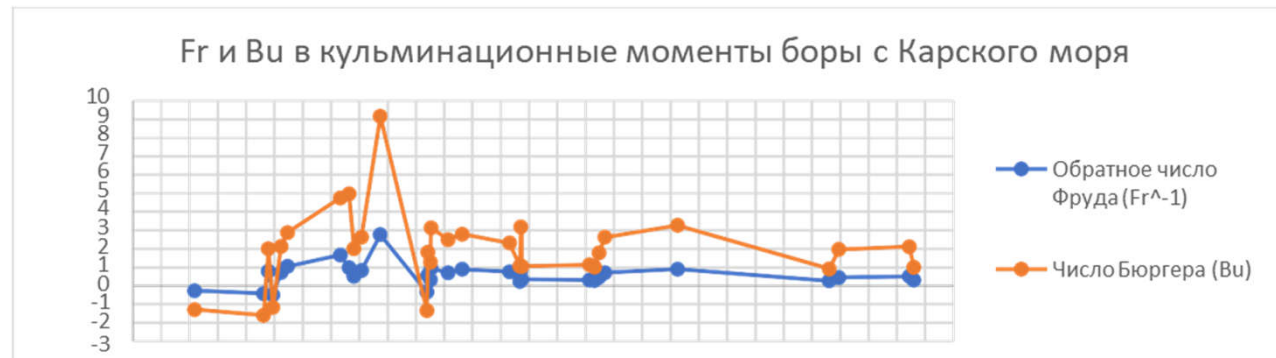
Гидродинамические индикаторы

Обратное число Фруда (Fr^{-1})

- $Fr^{-1} = (N * H) / U$
- $Fr^{-1} > 1$ — указывает на высокую вероятность блокировки потока горой.

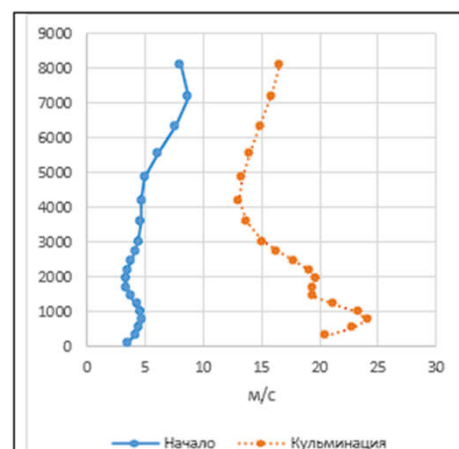
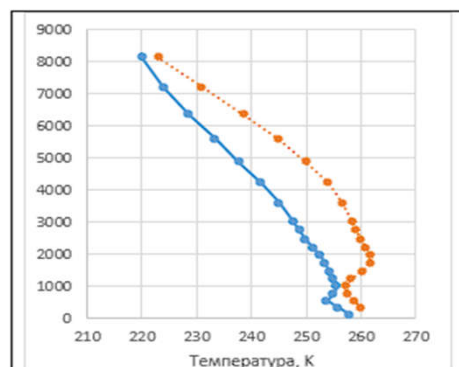
Число Бюргера (Bu)

- $Bu = (N * H) / (f * L)$
- $Bu > 1$ — препятствие считается "гидродинамически крутым".

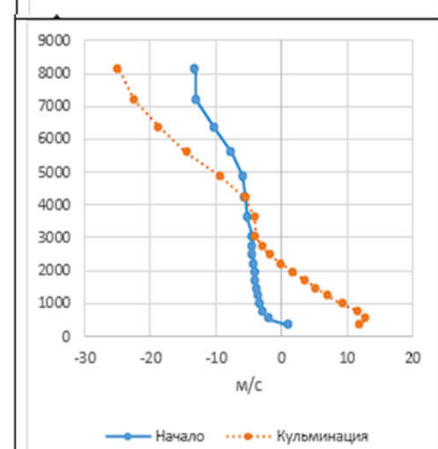
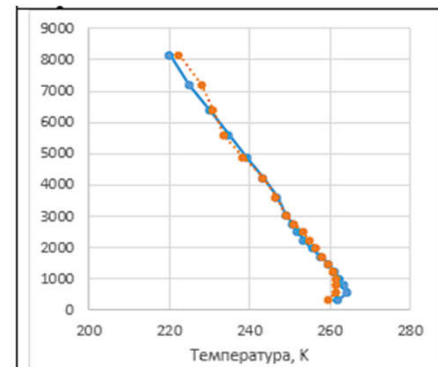


Профили температуры и скоростей ветра

Анализ вертикальных профилей температуры и компоненты скорости ветра, перпендикулярной горному хребту, показал наличие приподнятой температурной инверсии и нижнетропосферного струйного течения, расположенного либо в нижней части приподнятой инверсии, либо непосредственно под ней.



Карская 09.04.17

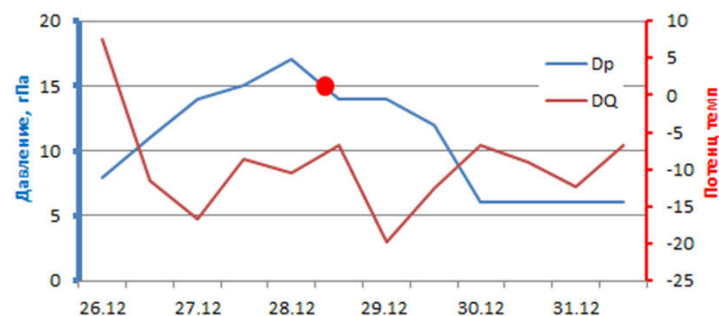


Карская 02.03.17

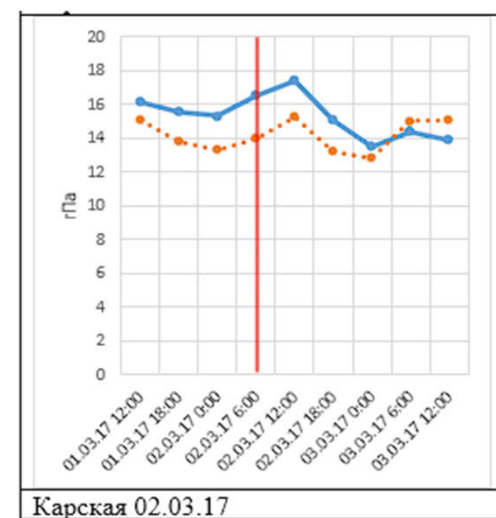
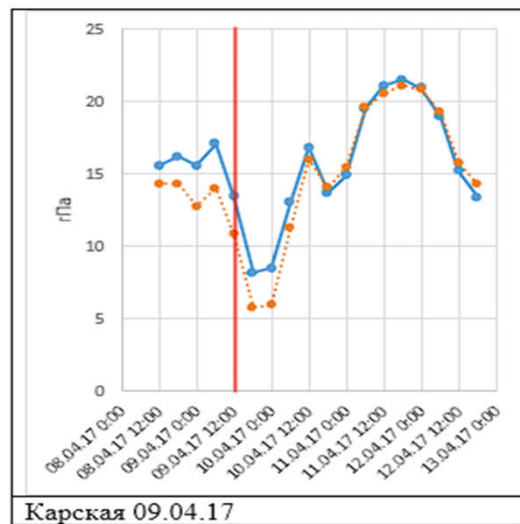
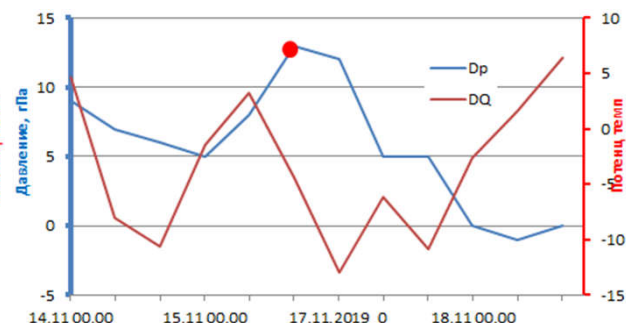
Временной ход. Разность давлений и потенциальных температур

Установлено, что в предшествующие боре сроки наблюдался значительный рост барического градиента, свидетельствующий об усилении разности давления между наветренной и подветренной сторонами хребта и создании условий для развития явления. К барическому градиенту присоединяется сила тяжести холодной воздушной массы, что создаёт большие нисходящие составляющие скорости ветра. По окончании эпизода боры происходит выравнивание давления по разные стороны хребта, что приводит к ослаблению градиента. Противоположный ход характеристики наблюдается для разности потенциальной температуры: температурный градиент падает в сроки перед началом боры, а по достижении кульминации начинает снова расти.

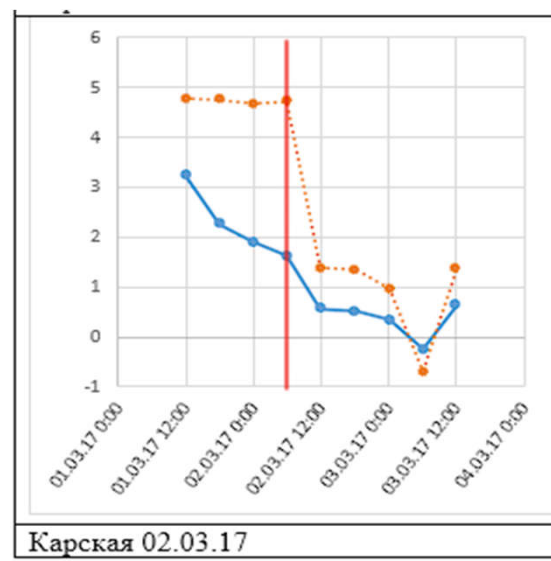
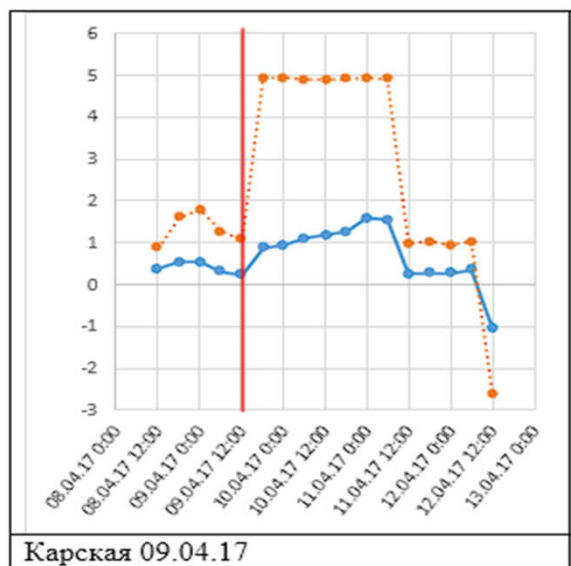
28.12.2020



16.11.2019



Временной ход. Обратные числа Фруда (сплошная линия) и числа Бюргера (пунктирная линия) при Новоземельской боре



Рассчитанные по аэрологическим данным обратные числа Фруда и числа Бюргера были характерны для ситуации частичного блокирования потока горным препятствием в момент кульминации бory и демонстрировали резкий рост в сроки, предшествующие боре. Таким образом, динамика указанных метеорологических параметров позволяет отслеживать процессы накопления и переваливания воздушных масс через орографический барьер.

Заключение

1. Исследование бороподобного ветра на Новой земле и оз. Байкал дало ценные сведения о ее характеристиках и поведении.
2. Выявлены значимые характеристики для диагностирования частичной блокировки потока, набегающего на препятствие при боре:
 - Число Бюргера (Bu) — основной диагностический параметр для Байкала.
 - Синоптическая ситуация с зоной ясного неба за хребтом.
 - Рост барического градиента в предборевые сроки.
3. Установлена сезонная закономерность (осень-зима).
4. Автоматизация обработки данных доказала свою эффективность.
5. Результаты имеют практическую прогностическую ценность для улучшения прогнозов опасных явлений.