



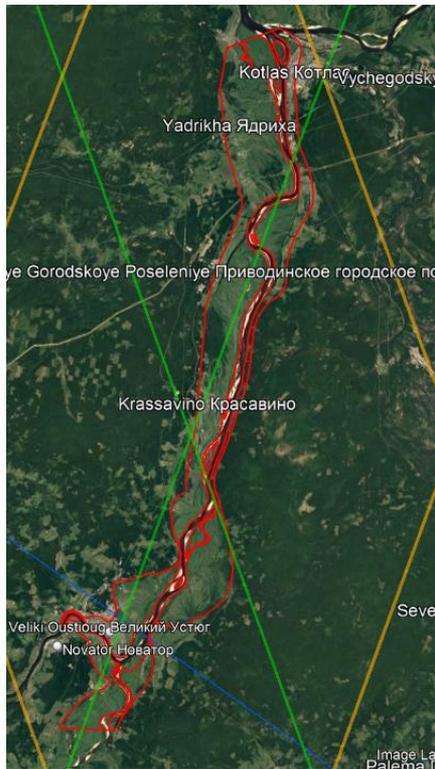
Исследование уровня режима арктических рек с учетом ледовых явлений на основе спутниковой альтиметрии и гидродинамического моделирования

Крыленко И.Н.^{1,2}, Захарова Е.А.², Головлев П.П.¹, Лисина А.А.^{1,2}
Сазонов А.А.^{1,2}, Семенова Н.К.^{1,2}, Филатов Е.А.¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

Спутниковые данные и объекты исследования



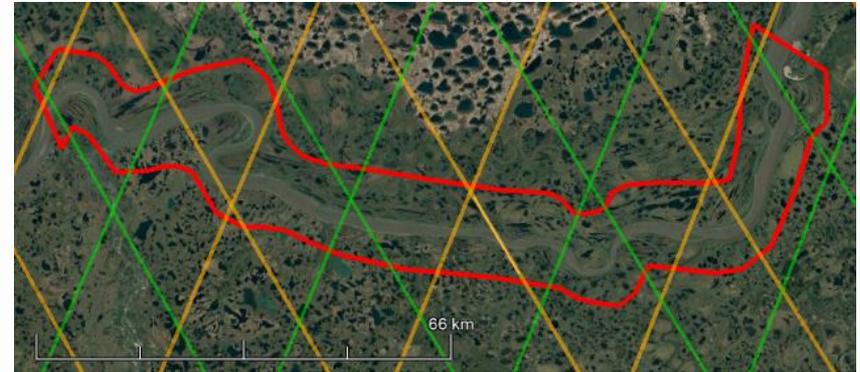
*р. М.Сев.Двина,
протяженность
участка*

*моделирования 85
км, ширина до 10км*



*р. Лена у г. Якутск,
протяженность
участка
моделирования 75 км*

*р.Колыма от с. Колымское до пос. Черский,
протяженность участка моделирования 165 км*



Данные альтиметрических спутников

- **Sentinel-3A** (на орбите с 2016 г.)

- **Sentinel-3B** (на орбите с 2018 г.).

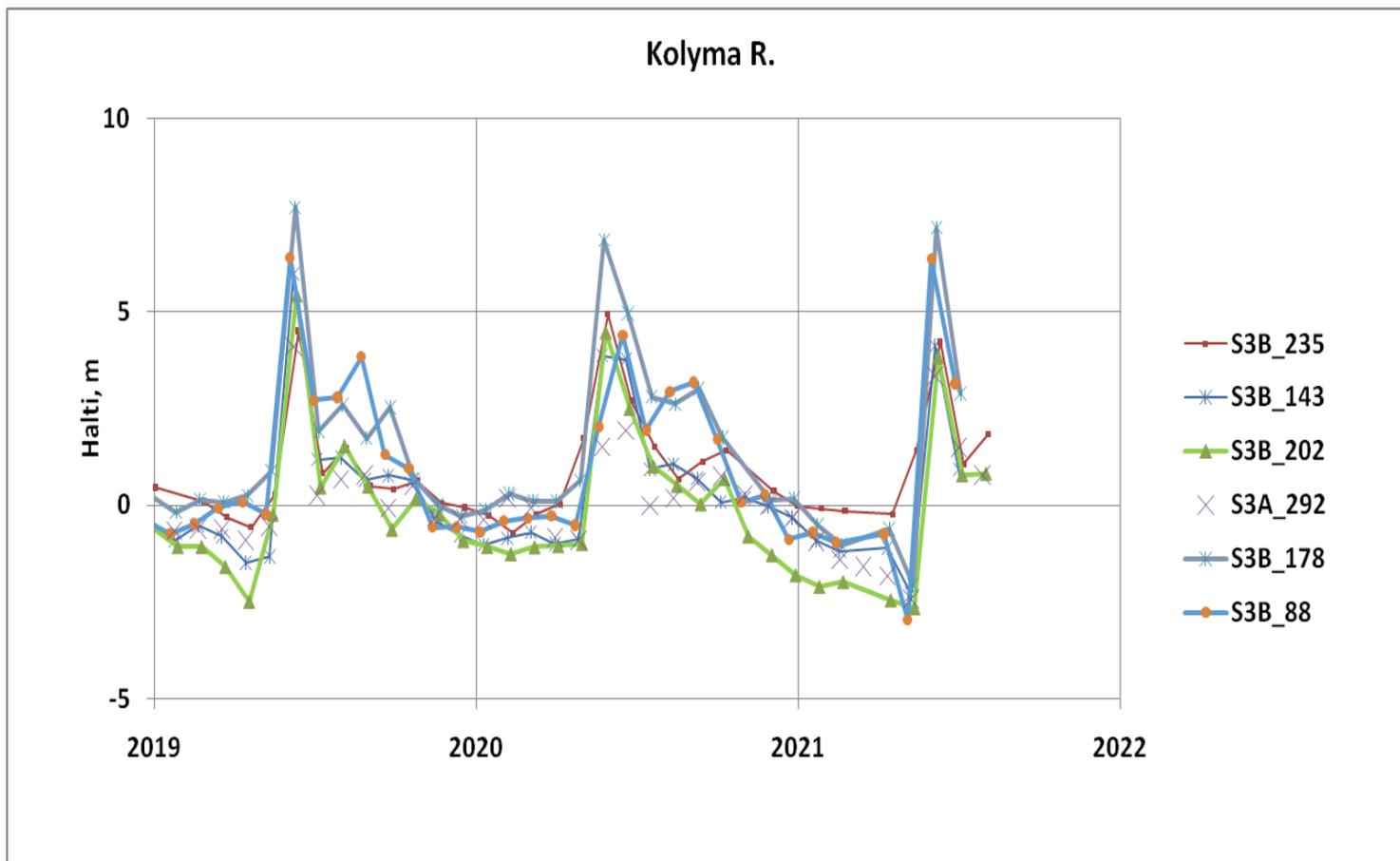
период наблюдения **27 суток**

- **Jason** (на орбите с 2016 г.).

период наблюдения **10 суток**

ретрекинг SAMOSA (геофизические коррекции, используемые для вод суши (влажная и сухая атмосферная и ионосферная коррекции, периодические деформации земной коры, геоид) представленные в геофизическом продукте уровня L2 (Geophysical Data Records).

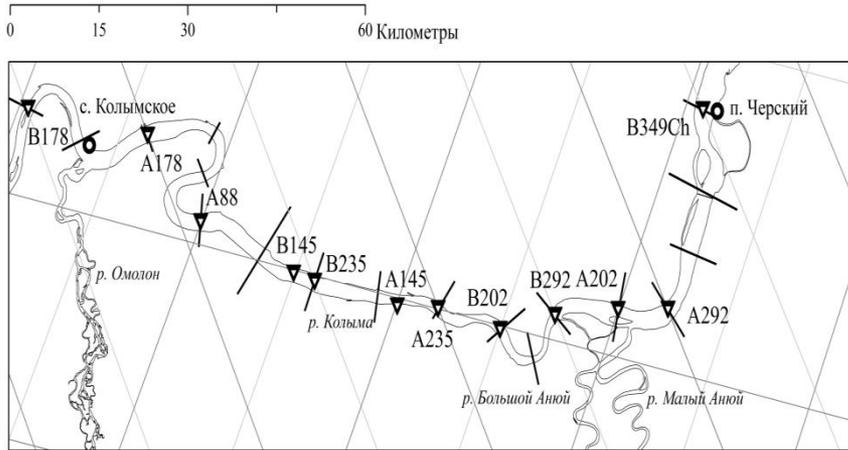
Спутниковые данные, временные ряды



Расчеты уровней воды по данным альтиметрических измерений включают точную географическую выборку 20 Гц вдольтрековых радарных измерений на частотах 13.6 Гц, пространственную интерполяцию 1 Гц геофизических коррекций к 20 Гц координатам и их суммирование с радарными измерениями, а также фильтрацию выбросов, полученных в результате влияния водных поверхностей в непосредственной близости от русла реки, дающих доминирующий обратный сигнал, или высоких берегов.

Гидродинамические модели

DHI MIKE 11 – одномерная



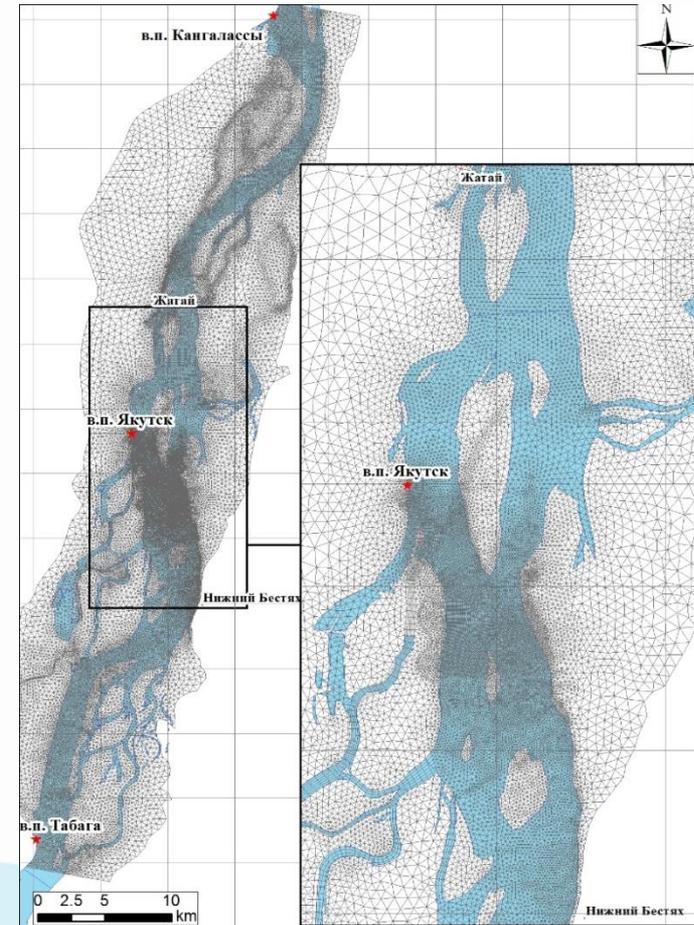
Условные обозначения



- 1 - виртуальные станции, 2 - населенные пункты,
- 3 - Sentinel-3A, 4 - Sentinel-3B,
- 5 - поперечные профили модели

р. Колыма от с. Колымское до пос. Черский, протяженность участка моделирования 165 км, 18 поперечных профилей

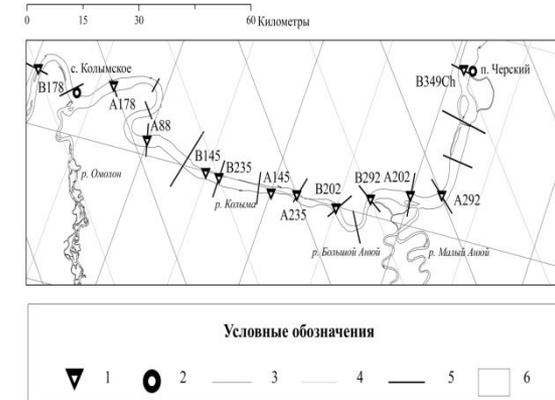
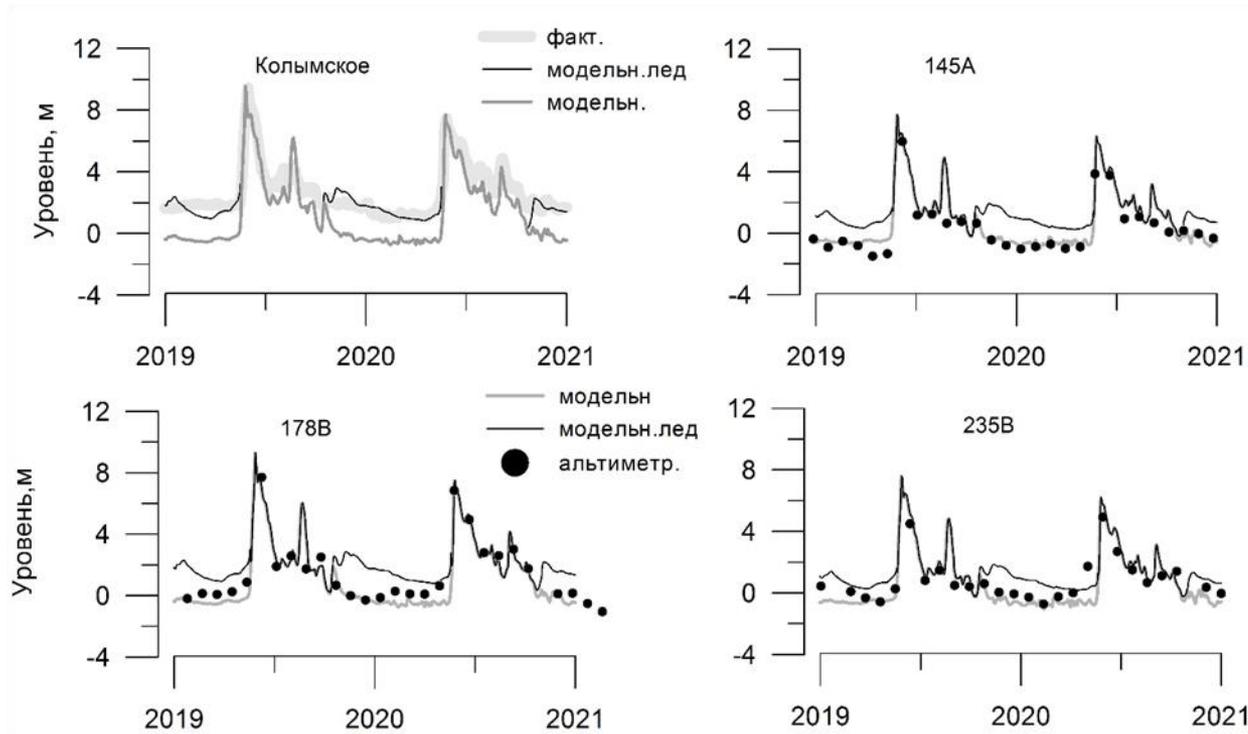
STREAM 2D – двумерная с ледовым блоком (авт. В.В. Беликов, А.И. Алексюк)



р. Лена у г. Якутск

М. Сев. Двина у г. Великий Устюг

Верификация модели, временные ряды



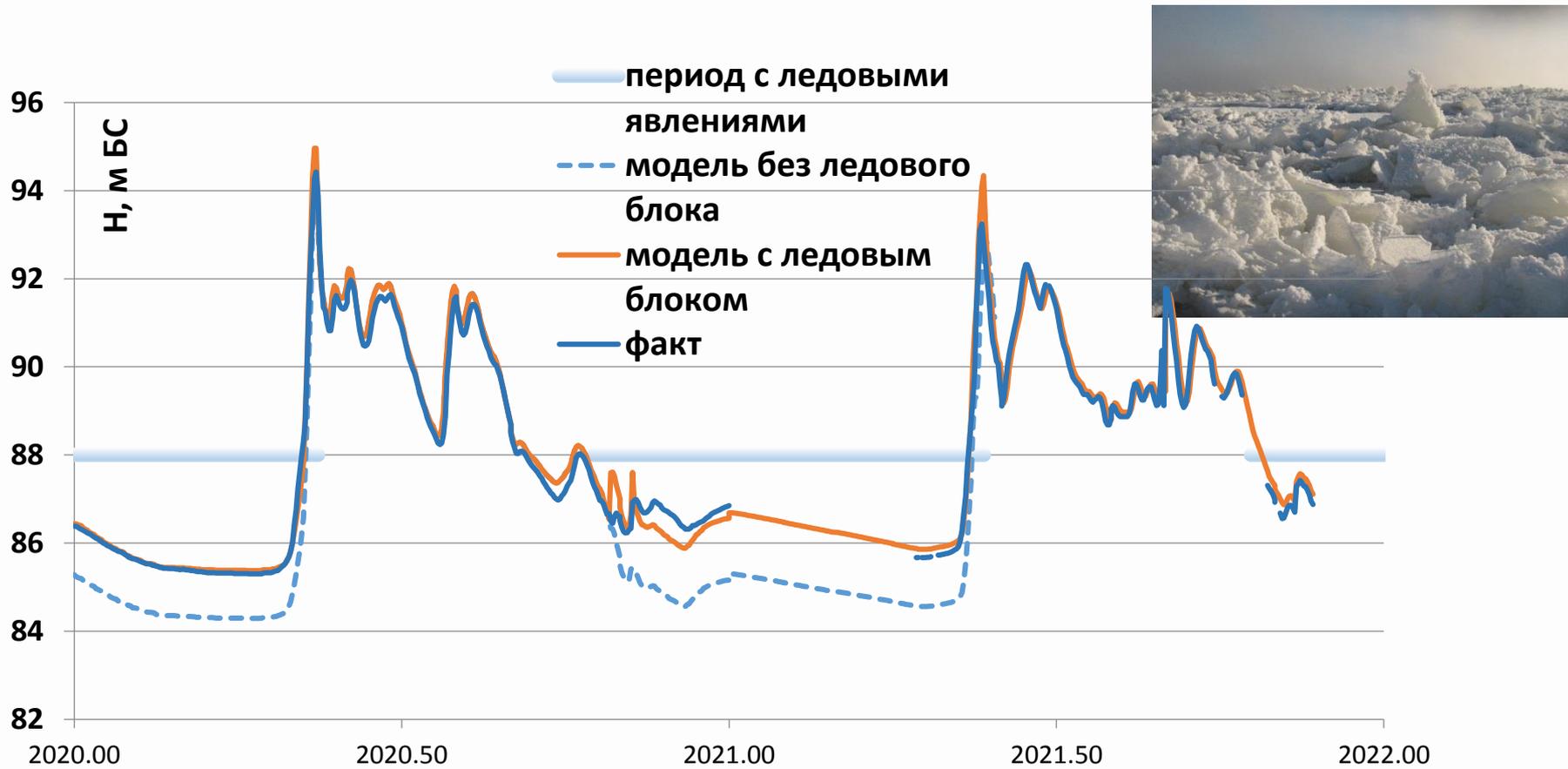
1 - виртуальные станции,
3 - Sentinel-3A,
4 - Sentinel-3B

Альтиметрические и модельные временные серии уровней воды при калибровке по данным на в.п. Кольмское и верификации на виртуальных станциях, расположенных вдоль моделируемого участка реки Колымы.

В условиях гладкого льда на р. Колыме спутниковый сигнал воспроизводит высотные отметки положения водной поверхности подо льдом, т.е. отражение происходит от поверхности раздела “лед-вода”.



Гидродинамическое моделирование, временные ряды



Смоделированные и фактические уровни воды р. Лена – г.п. Табага

В условиях шугохода и торосистого льда на р. Лена значительная часть спутникового сигнала отражается от поверхности льда, аналогичная ситуация наблюдается и на Малой Северной Двине.

Гидродинамическое моделирование, временные ряды



Смоделированные и фактические уровни воды р. Сухона – г.п. Великий Устюг

Статистические критерии при сопоставлении модельных и спутниковых данных

| Критерий | р. Мал. Сев. Двина | | р. Колыма | | р. Лена | |
|------------------------|--------------------|---------|------------|------------|---------|------|
| | S3_249B | S3_197B | S3_88B | S3_202B | J3_231 | J3_8 |
| Период открытой воды | | | | | | |
| R | 0.69 | 0.97 | 0.92 | 0.93 | 0.95 | 0.94 |
| Rmse, м | 0.82 | 0.31 | 0.83 | 0.65 | 0.48 | 0.64 |
| bias_residual | -0.14 | -0.10 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| Nobs | 14 | 12 | 10 | 11 | 24 | 21 |
| Период ледовых явлений | | | | | | |
| R | 0.92 | 0.92 | 0.13/0.57 | 0.32/0.18 | 0.53 | 0.74 |
| Rmse, м | 0.45 | 0.78 | 1.81/0.61 | 1.14/0.56 | 1.22 | 0.74 |
| bias_residual | 0.05 | -0.56 | 1.62/-0.29 | 0.99/-0.18 | 1.04 | 0.41 |
| Nobs | 13 | 13 | 17 | 17 | 31 | 31 |
| Год | | | | | | |
| R | 0.81 | 0.94 | 0.80/0.95 | 0.92/0.94 | 0.92 | 0.94 |
| Rmse, м | 0.67 | 0.60 | 1.47/0.68 | 0.96/0.69 | 0.97 | 0.70 |
| bias_residual | -0.05 | -0.34 | 0.97/-0.18 | 0.60/-0.11 | 0.58 | 0.24 |
| Nobs | 27 | 25 | 29 | 29 | 55 | 52 |

Спасибо за внимание!

**Работа выполнена при поддержке
РНФ 22-27-00633 "Исследование уровня режима рек
методами спутниковой альтиметрии и гидродинамического
моделирования",
РНФ 24-17-00084 " Гидрологические последствия изменения
климата и антропогенного воздействия в криолитозоне" и
ГЗ ИВП РАН тема FMWZ-2022-0001 .**