



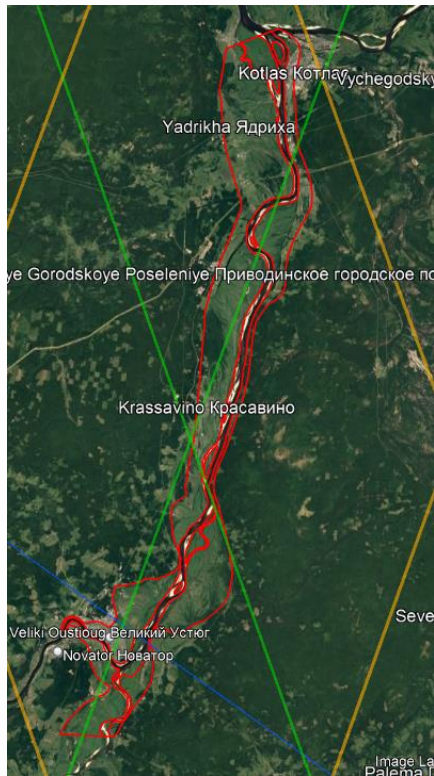
# Исследование уровня режима арктических рек с учетом ледовых явлений на основе спутниковой альтиметрии и гидродинамического моделирования

Крыленко И.Н.<sup>1,2</sup>, Захарова Е.А.<sup>2</sup>, Головлев П.П.<sup>1</sup>, Лисина А.А.<sup>1,2</sup>  
Сазонов А.А.<sup>1,2</sup>, Семенова Н.К.<sup>1,2</sup>, Филатов Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

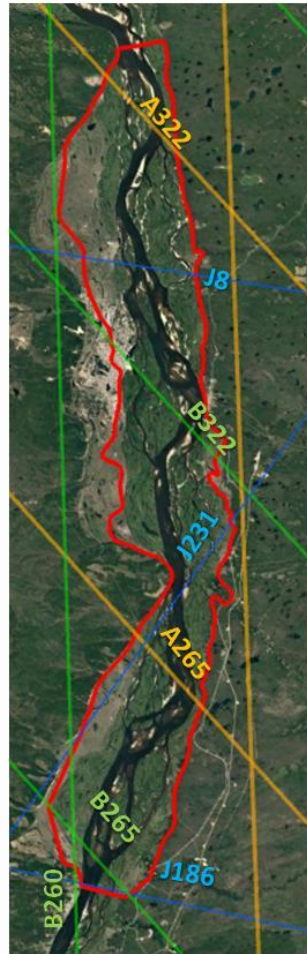
<sup>2</sup> *Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

# Спутниковые данные и объекты исследования



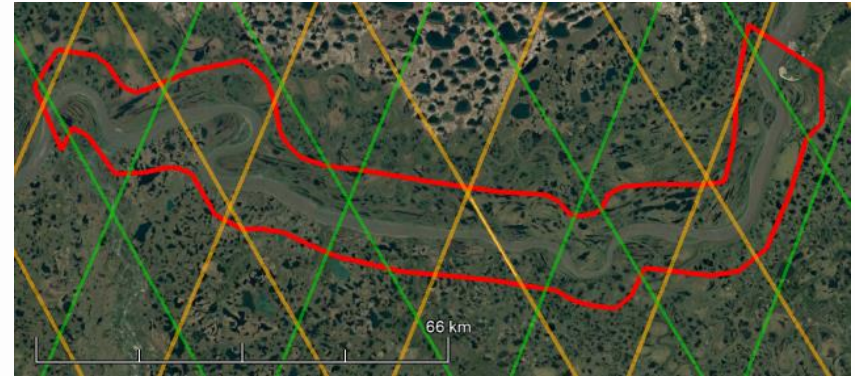
*р. М.Сев.Двина,  
протяженность  
участка*

*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.).

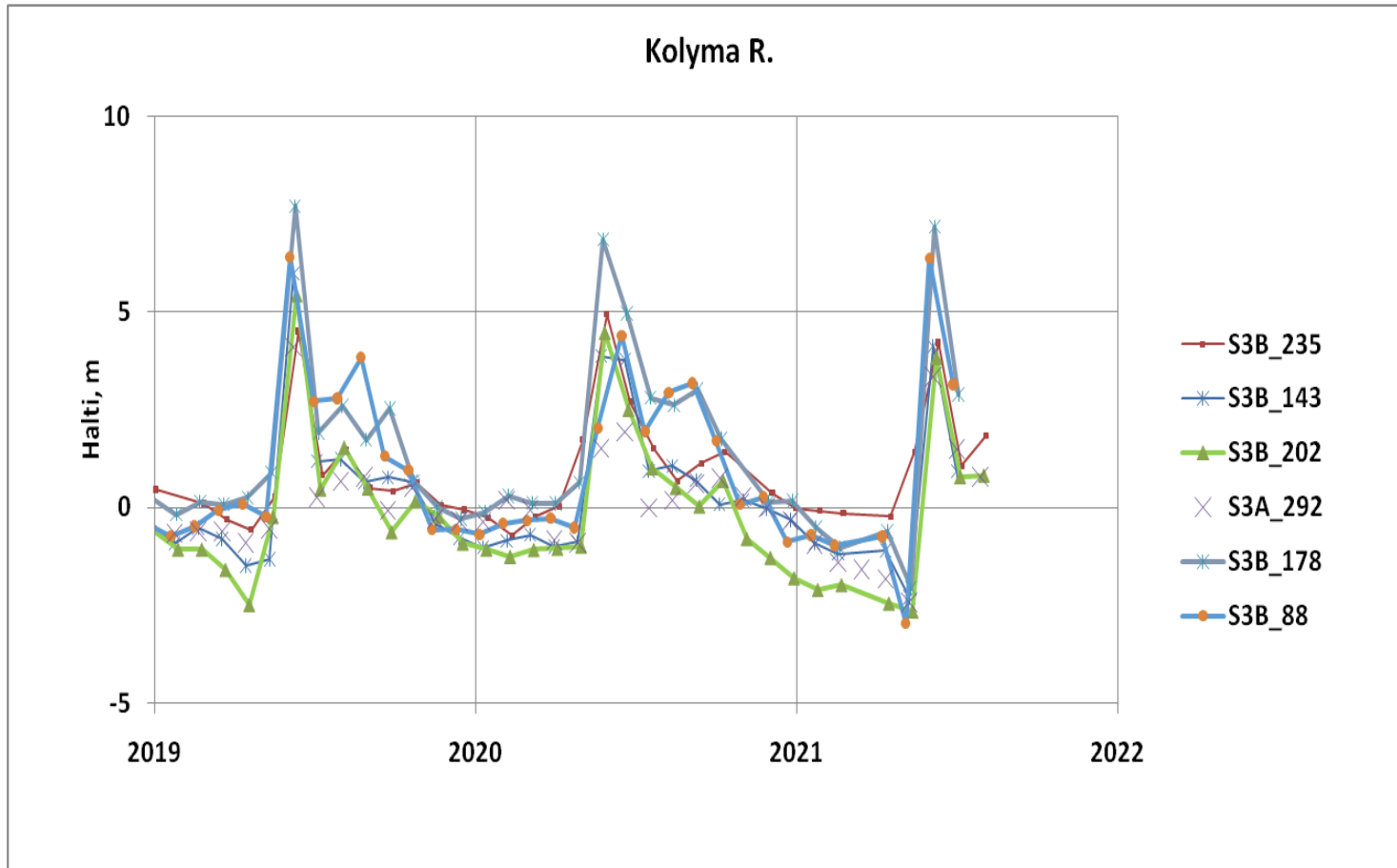
период наблюдения **27 суток**

- **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

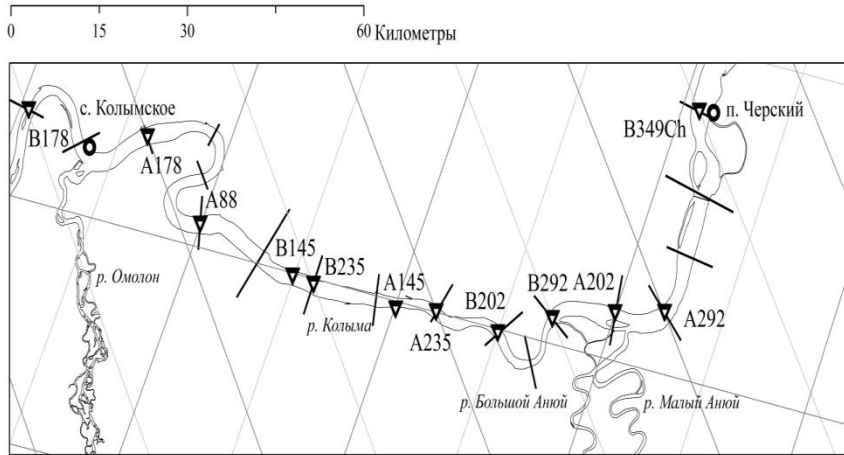


Расчеты уровней воды по данным альтиметрических измерений включают точную географическую выборку 20 Гц вдольтрековых радарных измерений на частотах 13.6 Гц, пространственную интерполяцию 1 Гц геофизических коррекций к 20 Гц координатам и их суммирование с радарными измерениями, а также фильтрацию выбросов, 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



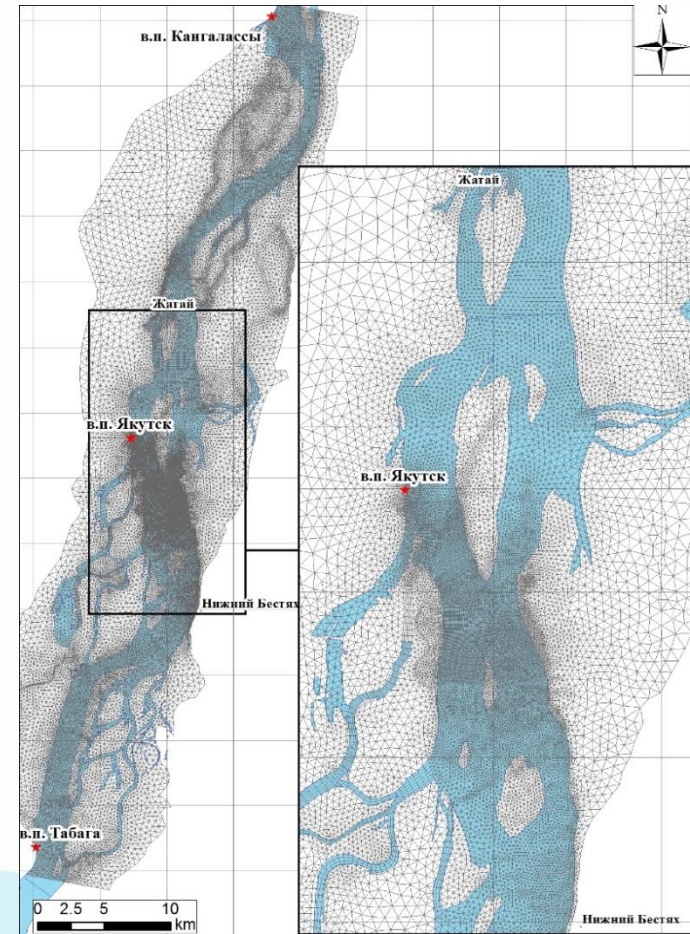
### Условные обозначения



- 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*

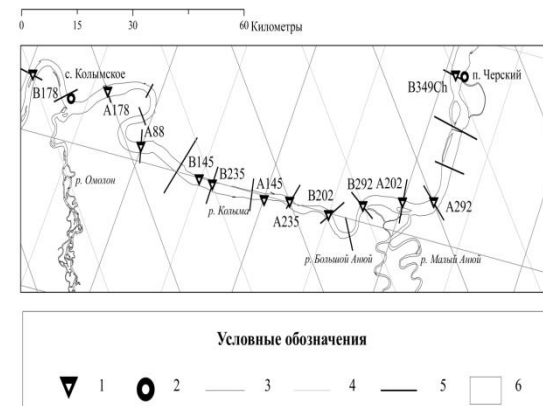
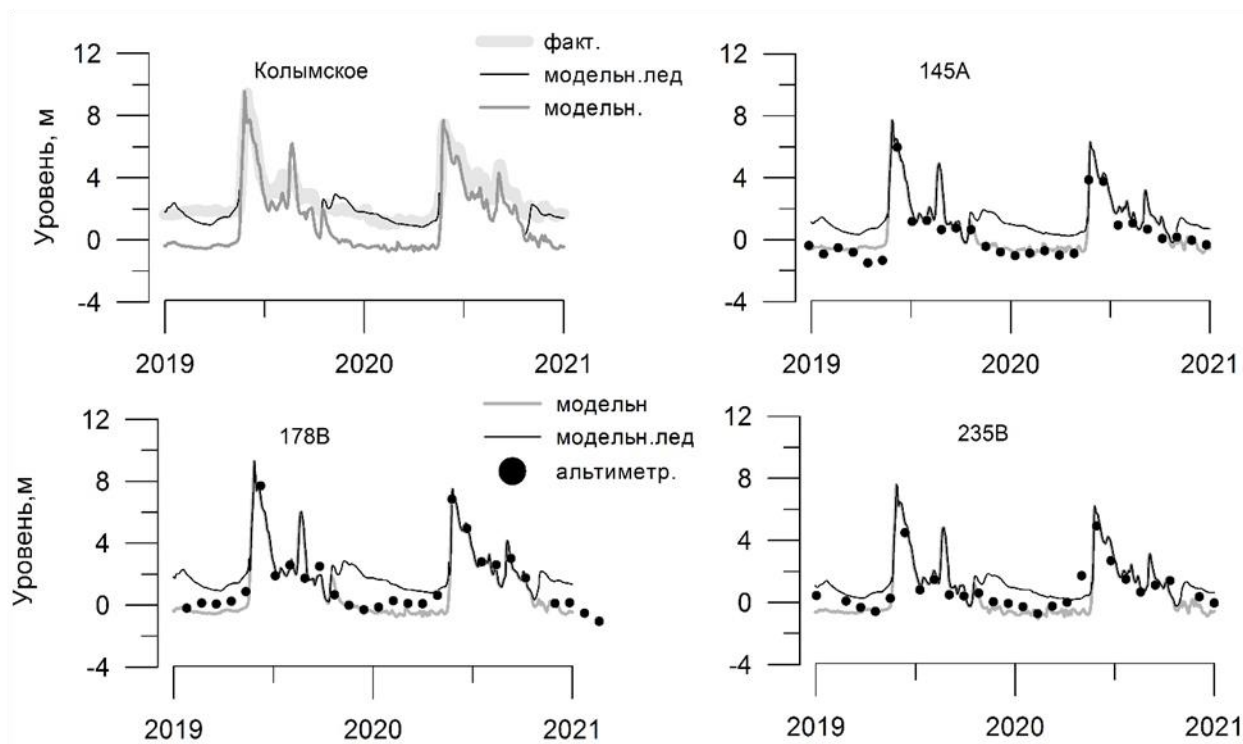
## STREAM 2D – двумерная с ледовым блоком (авт. В.В. Беликов, А.И. Алексюк)



*р. Лена у г. Якутск*

*М. Сев. Двина у г. Великий Устюг*

# Верификация модели, временные ряды



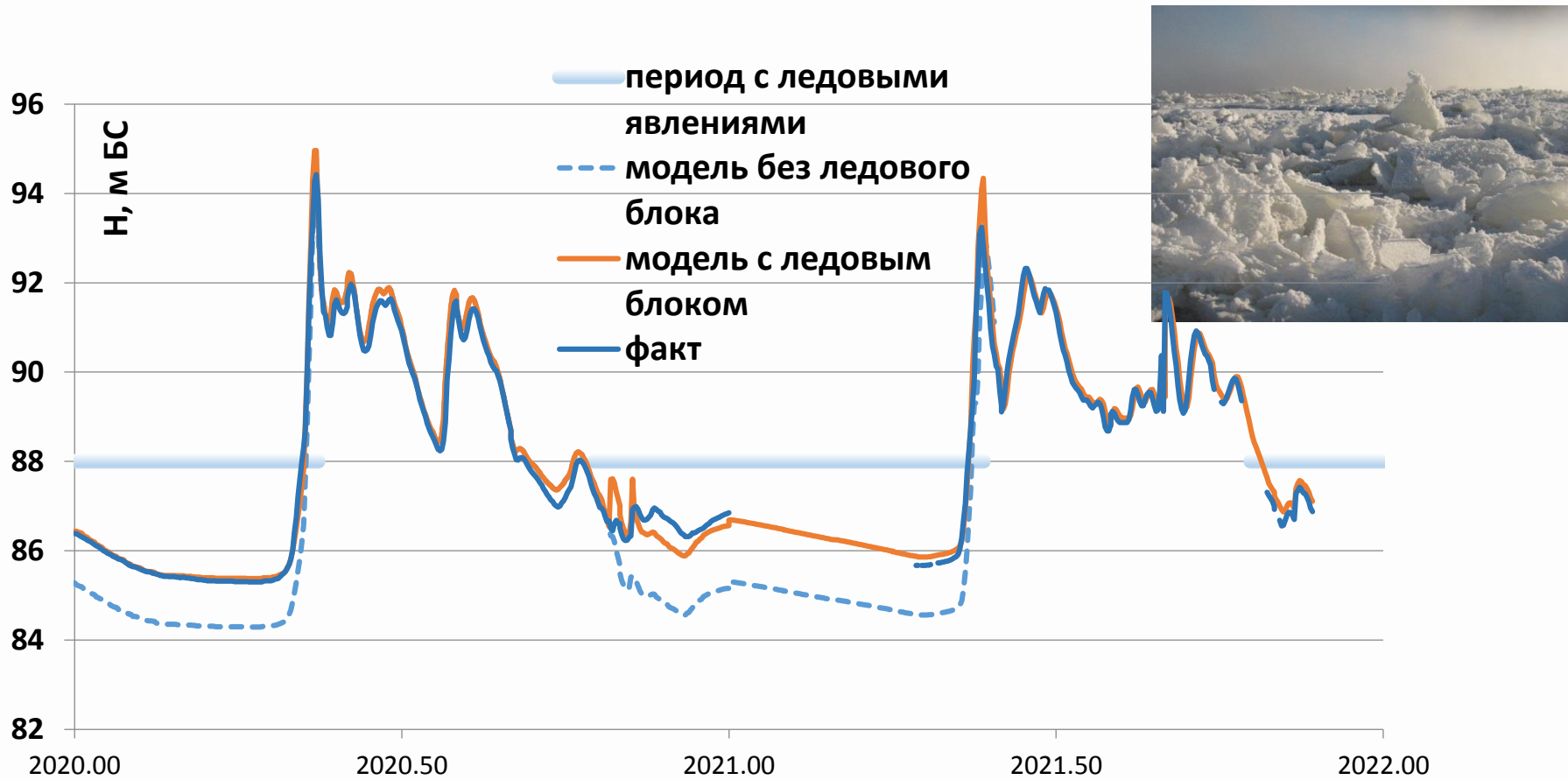
1 - виртуальные станции,  
3 - Sentinel-3A,  
4 - Sentinel-3B

Альтиметрические и модельные временные серии уровней воды при калибровке по данным на в.п. Колымское 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”.



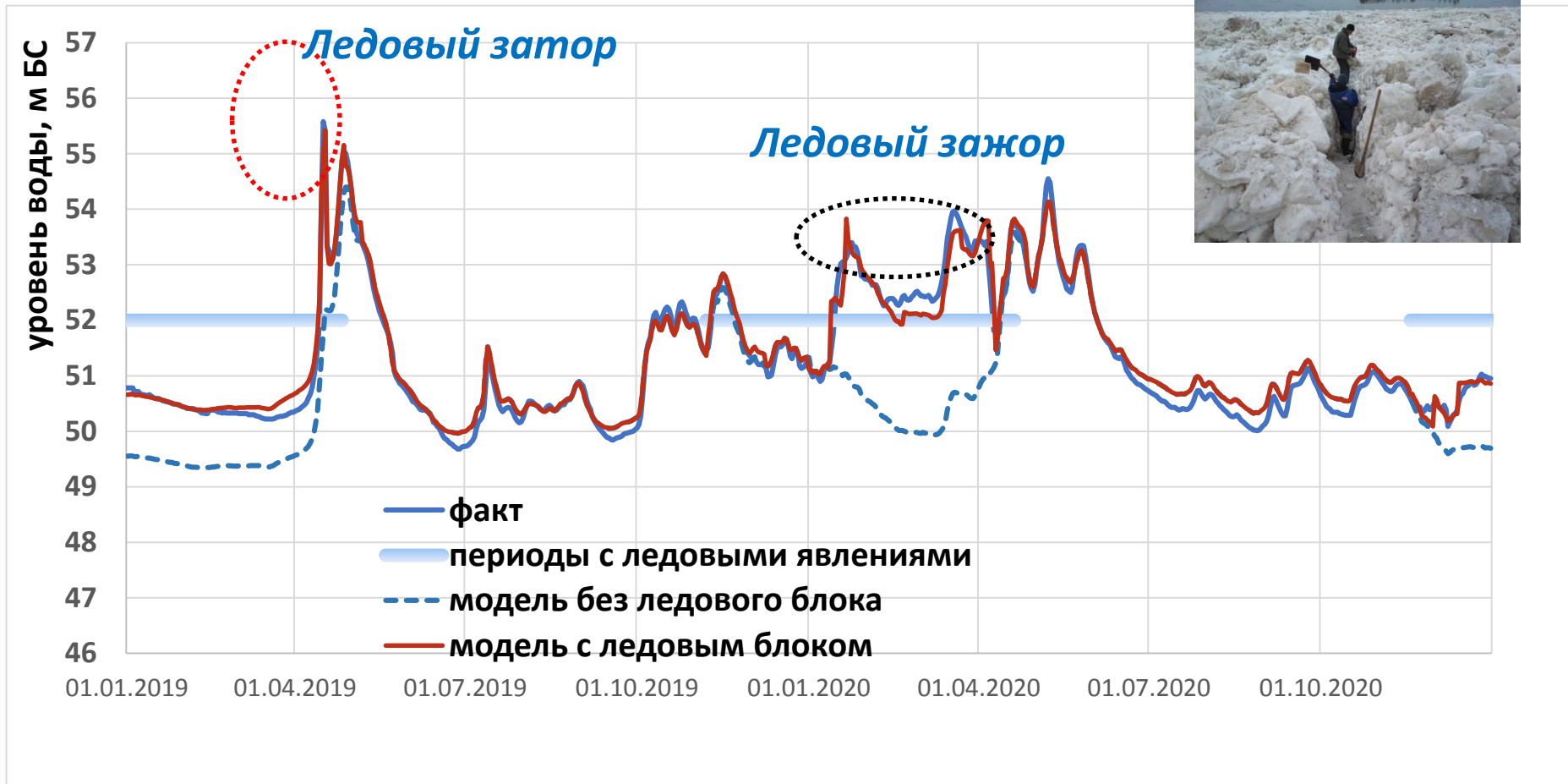
# Гидродинамическое моделирование, временные ряды



## *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
<b>Период открытой воды</b>						
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
<b>Период ледовых явлений</b>						
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
<b>Год</b>						
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 .**