

Восстановление ежедневных уровней
воды на гидропостах альtimетрии по
среднесуточным измерениям
отдаленных наземных гидропостов

Врублевский М.В., Лупян Е.А., Бурцев М.А.

Институт космических исследований РАН

Москва, 2025

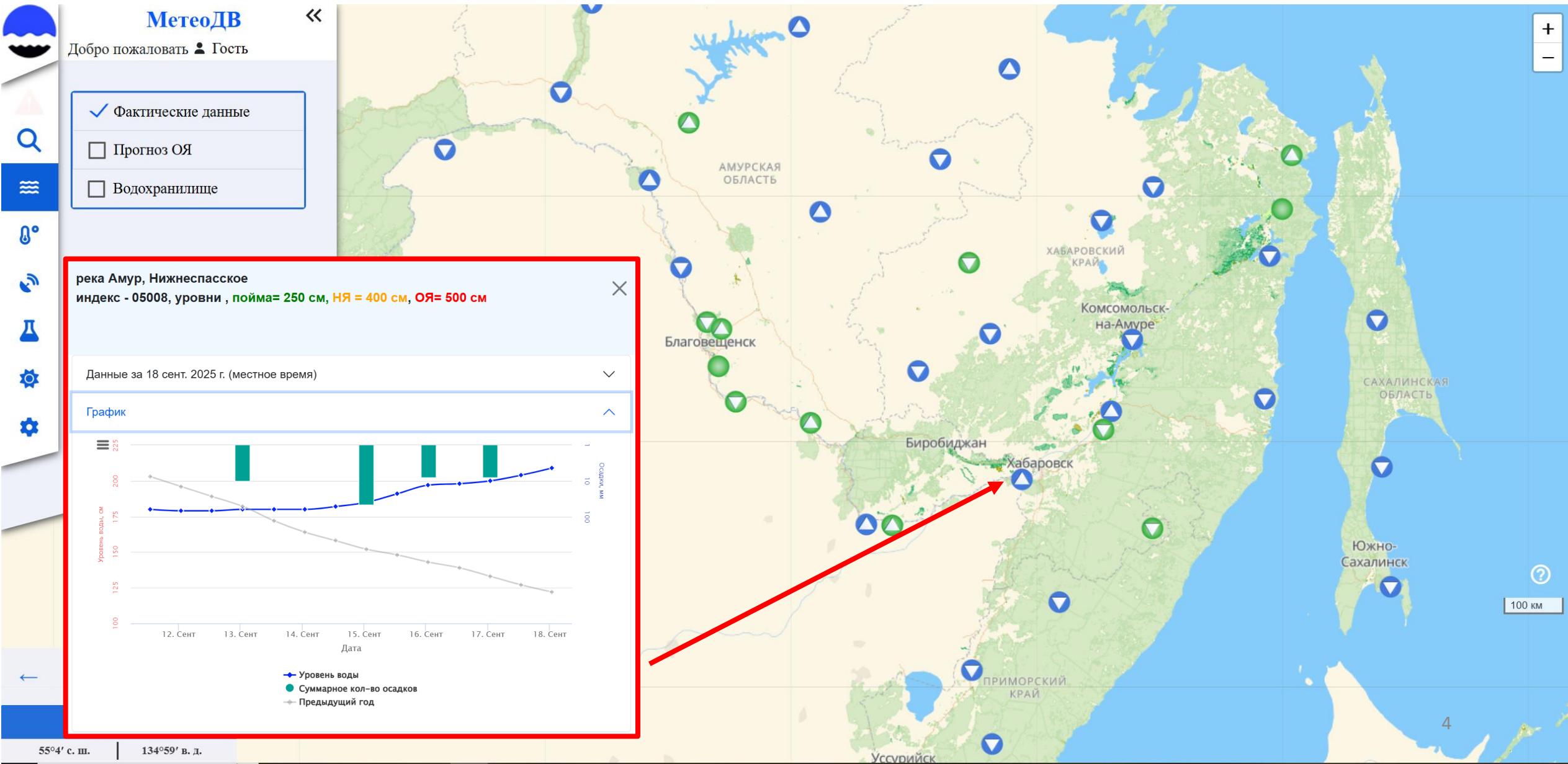
Актуальность

- Изменение климата сказывается на гидрологических режимах водоемов, что для мониторинга внутренних вод, прогнозирования и оценки опасных гидрологических явлений требует развития наблюдательной сети.
- Высокая стоимость традиционных наземных гидрологических станций не позволяет реализовать подобные сети гидропостов.
- Использование данных альtimетрии позволяет решить проблему низкой пространственной частоты наблюдательных станций, а методы учащения рядов измерений альtimетрии – проблему низкого временного разрешения измерений спутниковой альtimетрии.

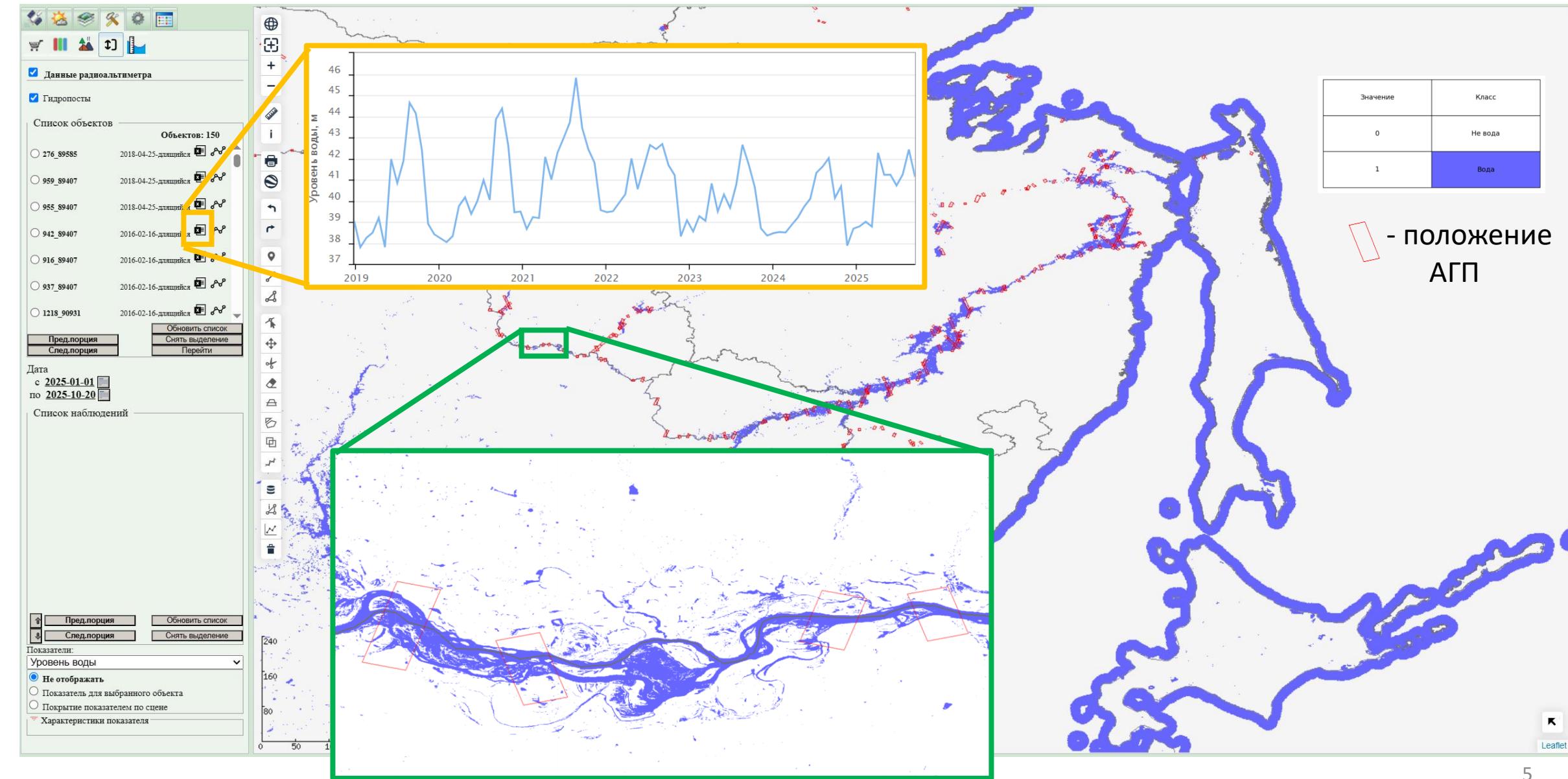
Цель работы

Разработать метод восстановления ежедневных измерений на гидропостах альтиметрии на основе среднесуточных данных об уровне воды отдаленных наземных гидропостов.

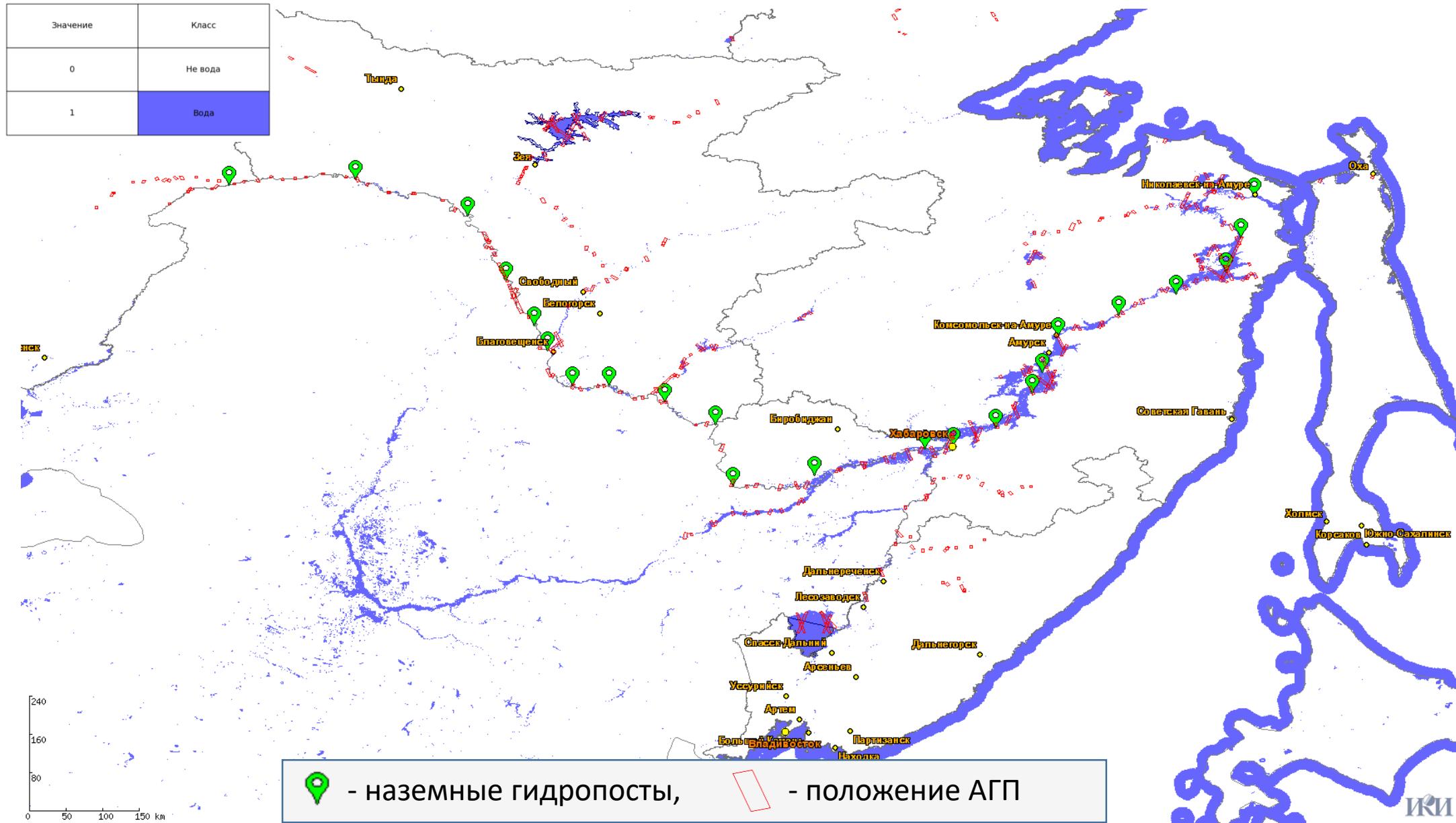
Использованные данные: наземные гидропосты



Использованные данные: гидропосты альtimетрии (Вега-Гидро)

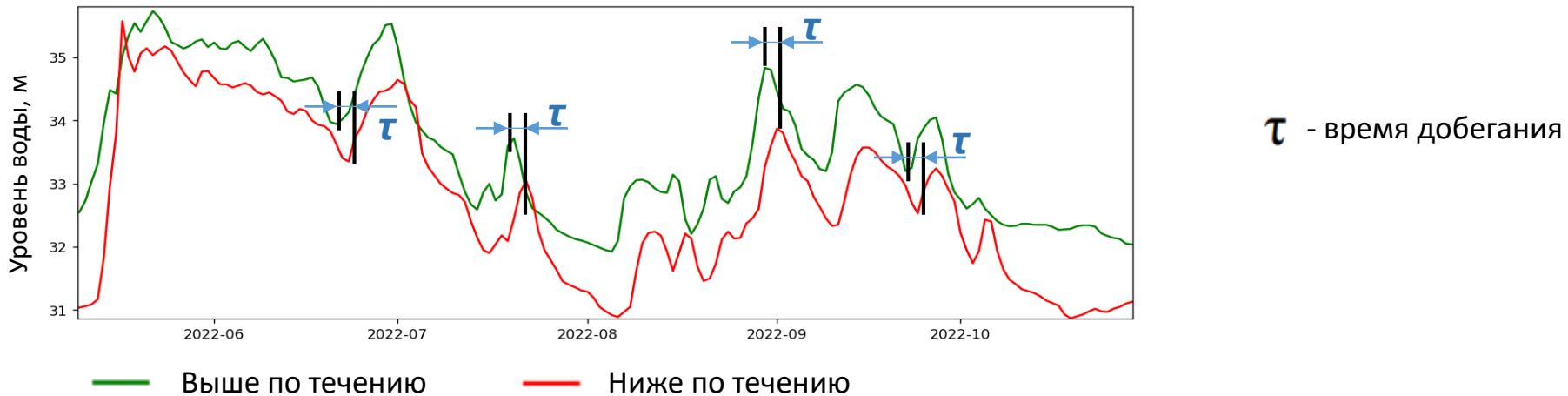


Сеть гидропостов альтиметрии и наземных (Вега-Гидро)



Подложка – Максимальная площадь воды, GSW, Рекел

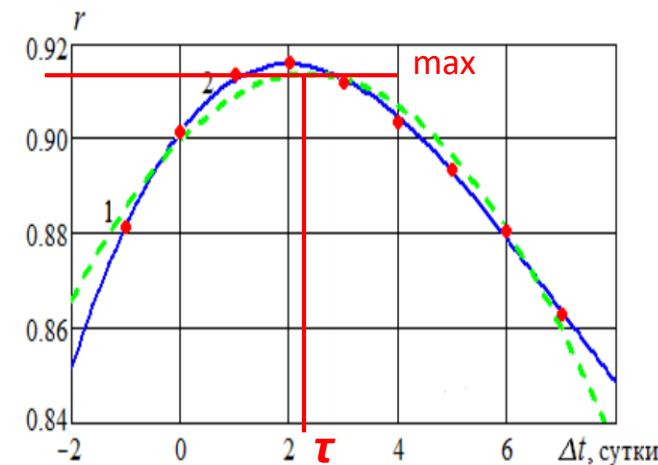
Определение времени добегания



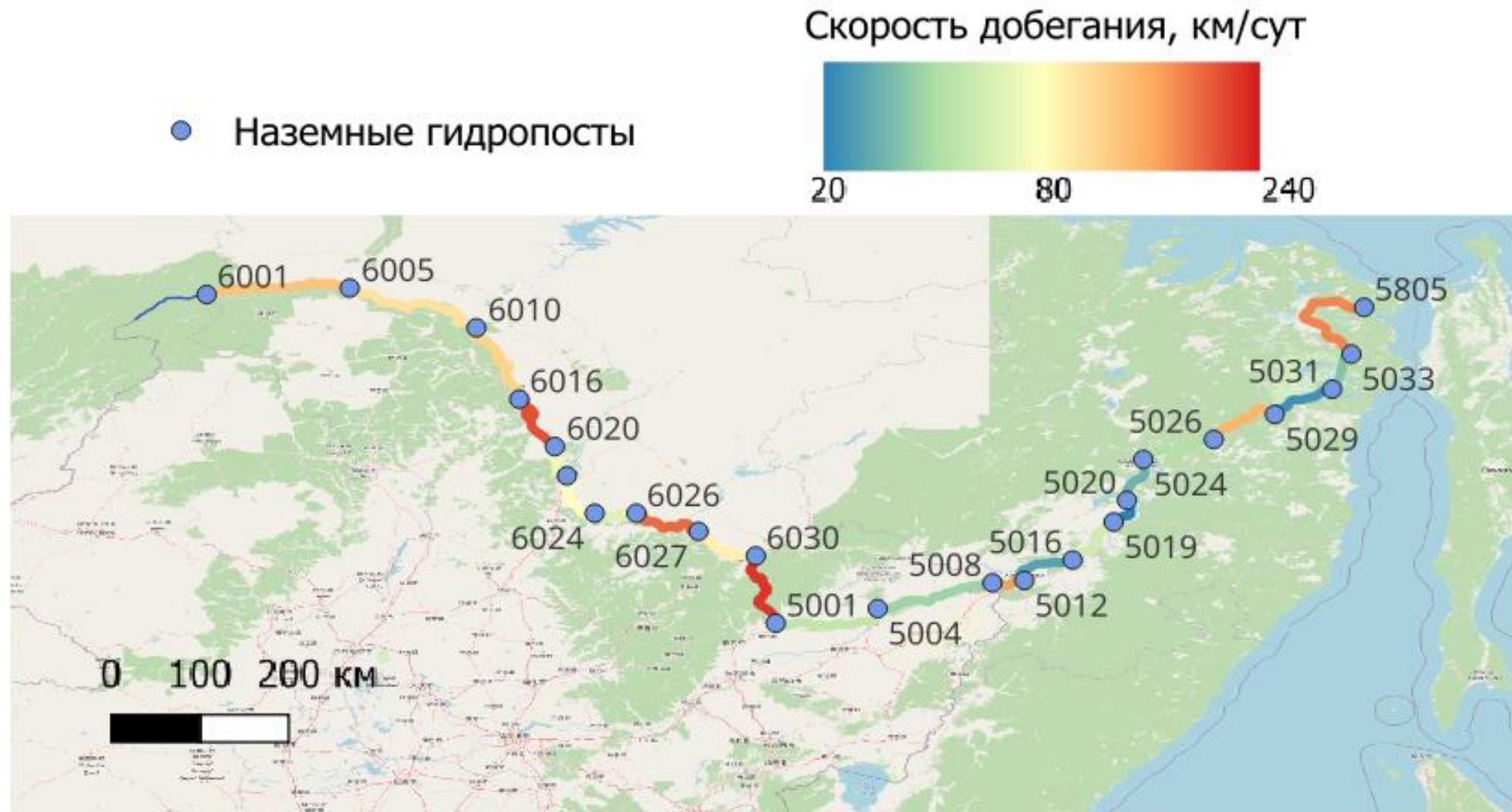
уравнение степенной регрессии порядка m :

$$rt(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_m t^m.$$

$$\tau = \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 - 3a_1 a_3}}{-3a_3}$$



Определение скорости добегания



Модель восстановления ежедневных уровней воды

$$wl(t) = a + \sum b_i \cdot x_i(t - \tau),$$

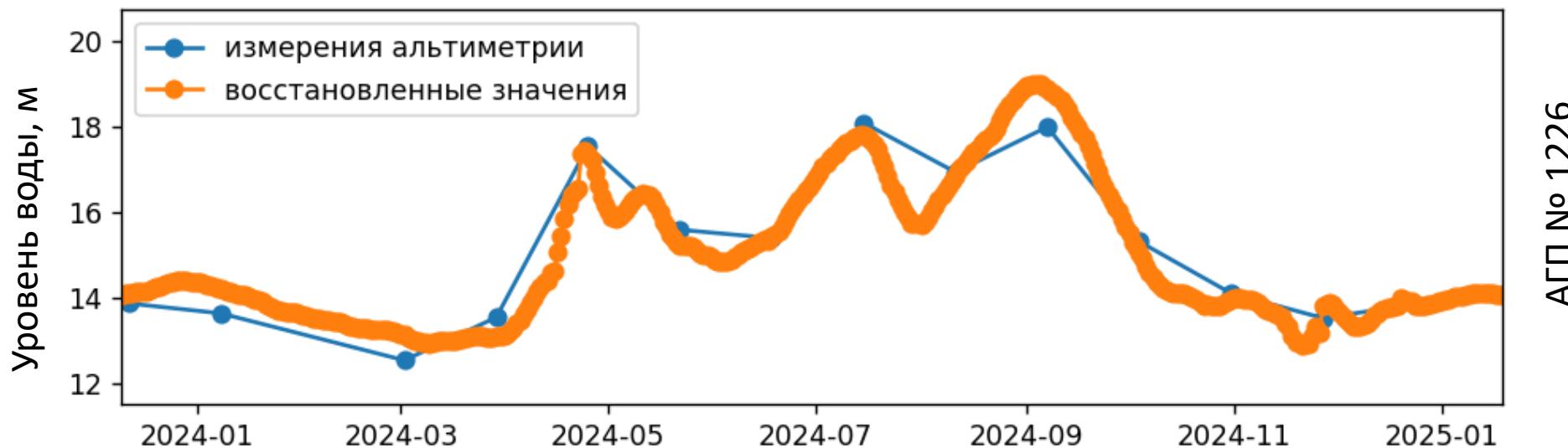
где

$wl(t)$ – уровень воды в дату наблюдений t на АГП;

a, b_i – коэффициенты регрессии;

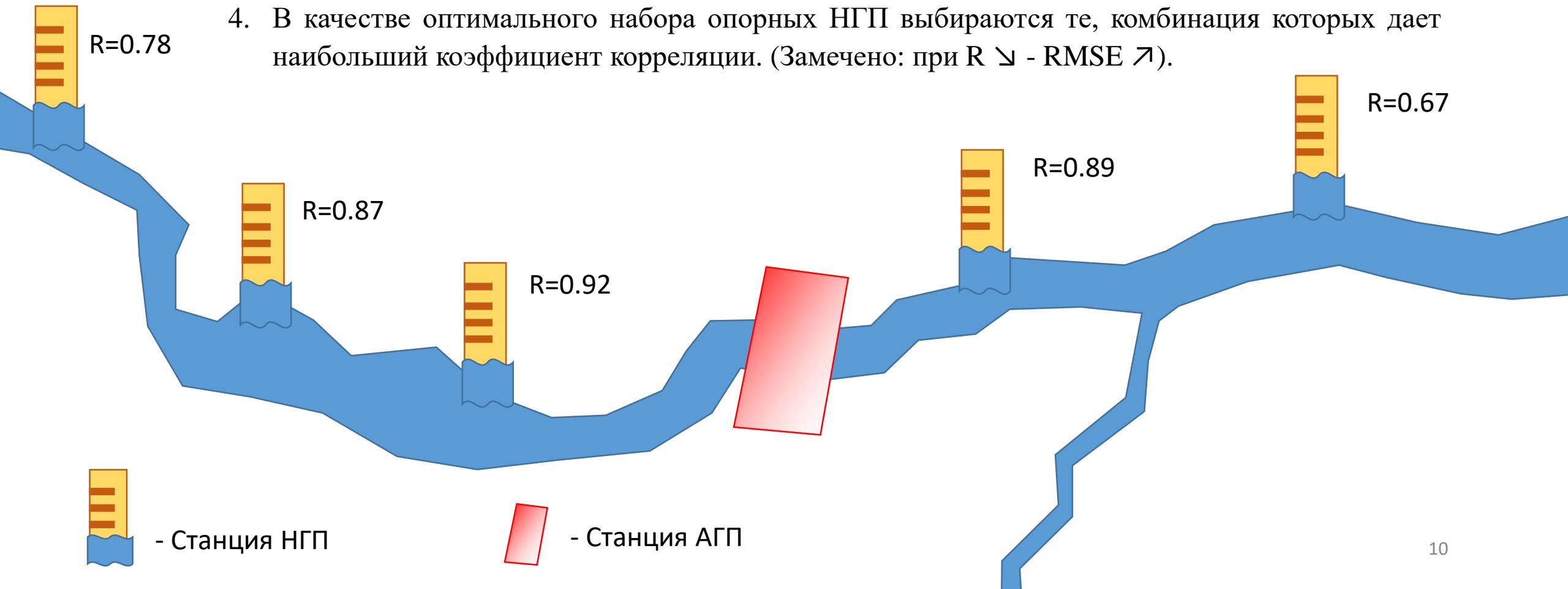
$x_i(t - \tau)$ – измерения уровня воды на i -том наземном гидропосту;

τ – время дебегания.

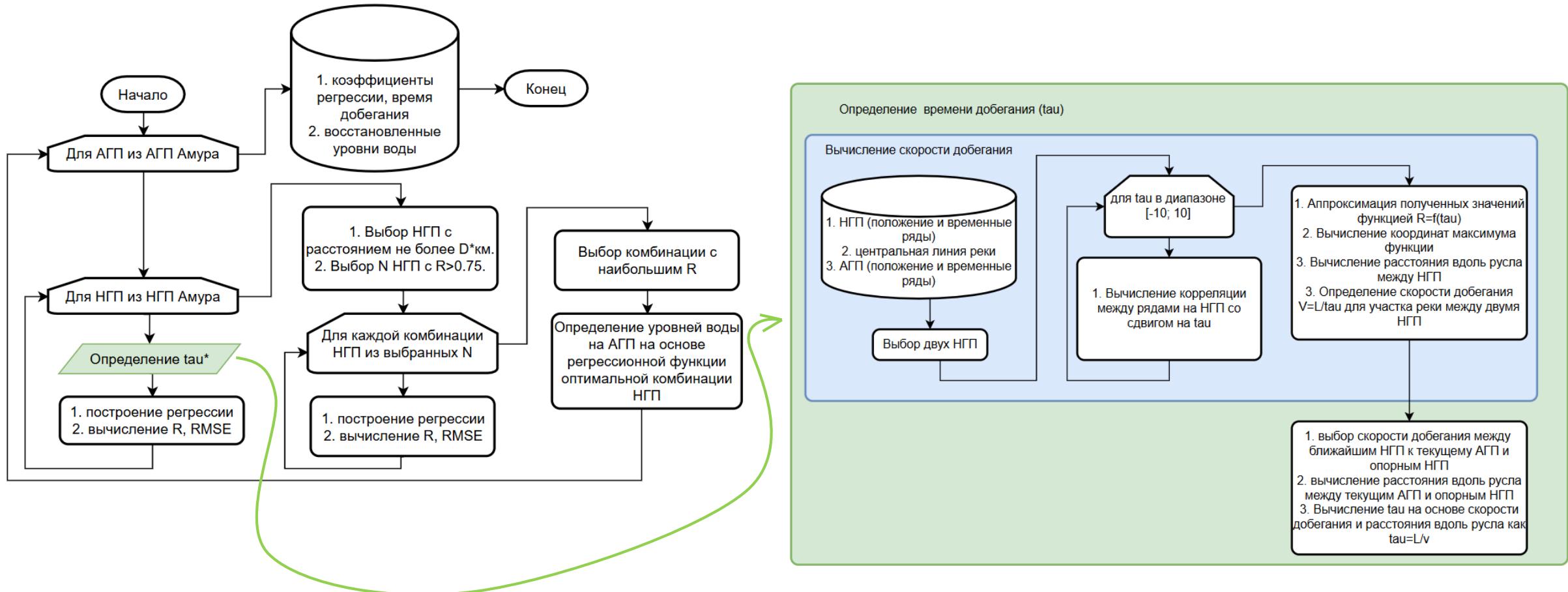


Оптимальный выбор опорных НГП

1. Список НГП, в пределах некоторого расстояния.
2. Выбор N НГП с наибольшим R . Где N – вручную задаваемый параметр.
3. Определение регрессионной функции, коэффициента корреляции Пирсона R и среднеквадратического отклонения RMSE.
4. В качестве оптимального набора опорных НГП выбираются те, комбинация которых дает наибольший коэффициент корреляции. (Замечено: при $R \searrow$ - $RMSE \nearrow$).



Алгоритм работы программного модуля вычисления ежедневных уровней



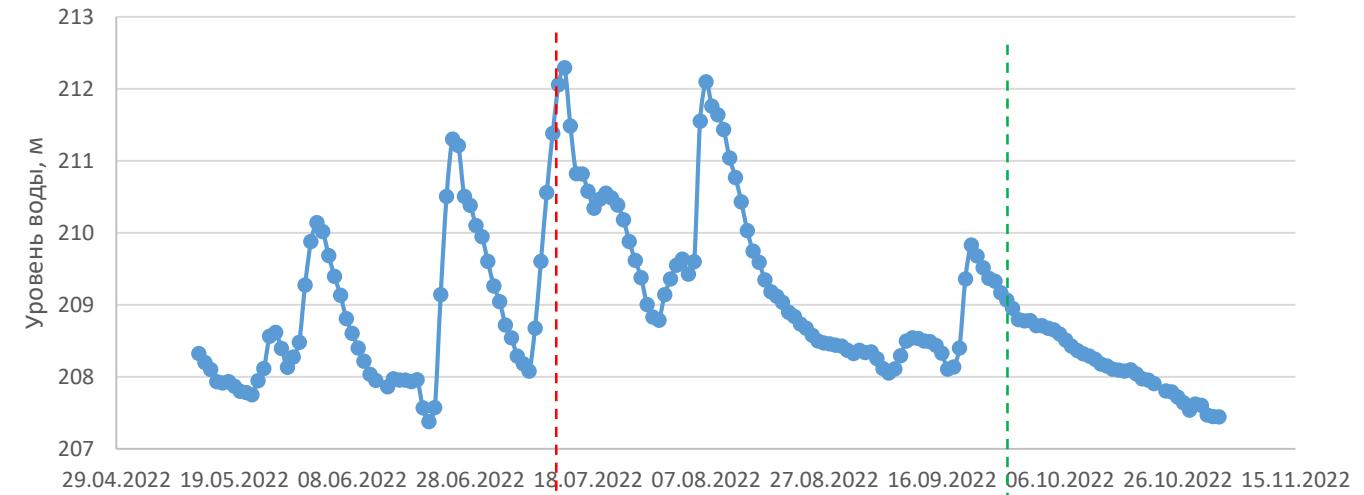
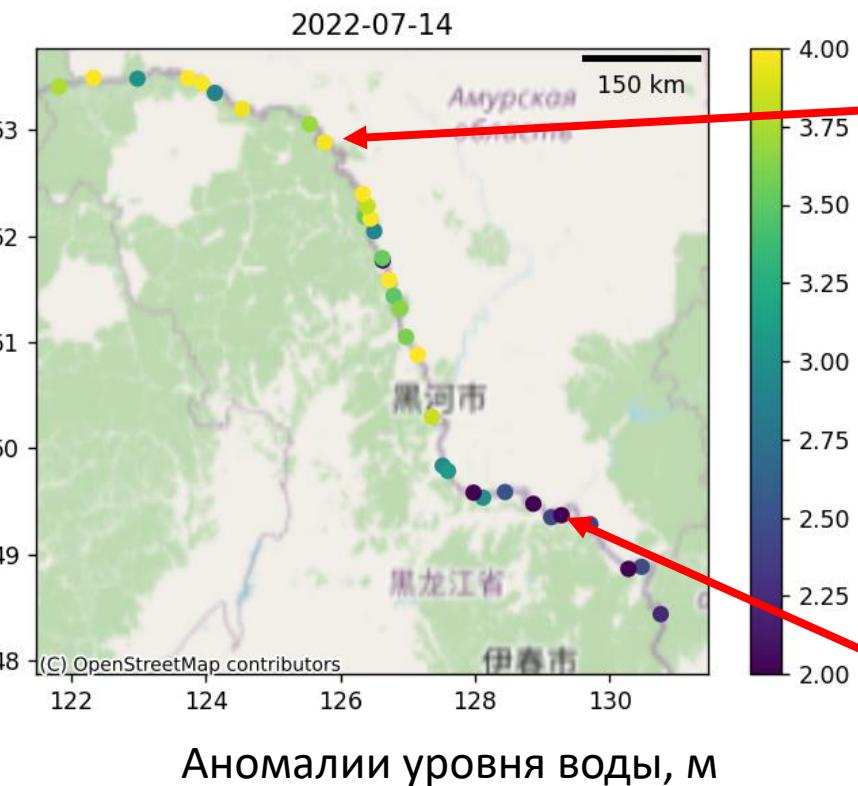
*в работе $N = 4$, τ – время добегания, D – расстояние между НГП и АГП, в работе $D=500$ км.

Оценка метода восстановления уровней воды

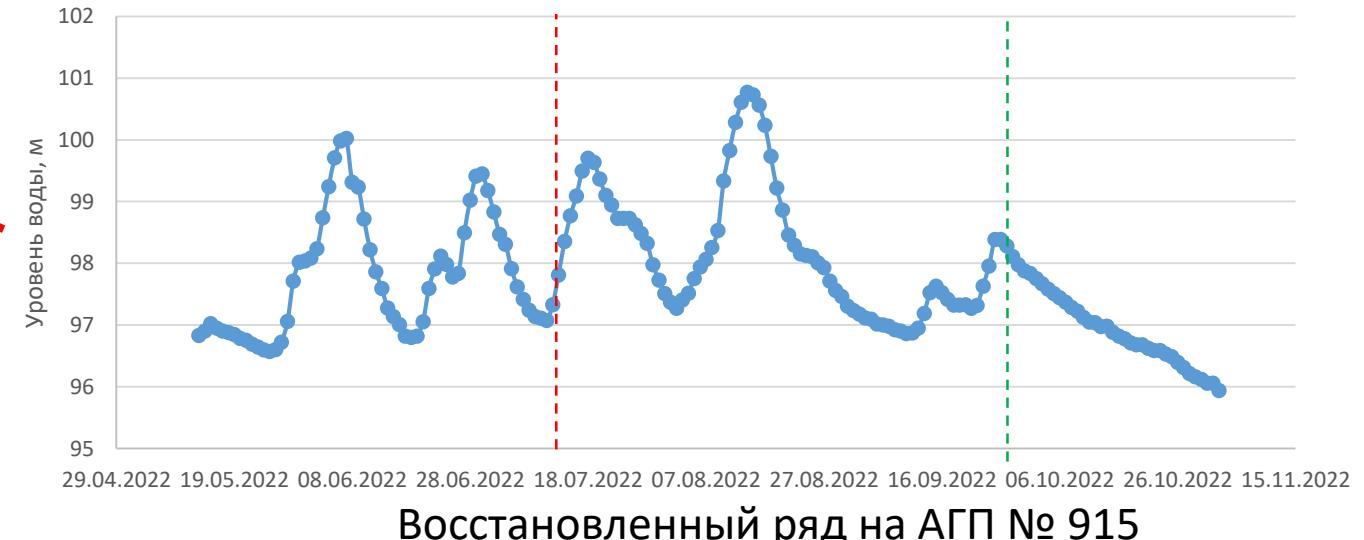
| № | АГП | НГП (проверочный) | Расстояние АГП-НГП, км | НГП (опорные) | R | RMSE, м |
|----|------|-------------------|------------------------|------------------------|------|---------|
| 1 | 702 | 6005 | 3 | 6001, 6010 | 0,97 | 0,33 |
| 2 | 942 | 5008 | 6 | 5004, 5012, 5016 | 0,97 | 0,30 |
| 3 | 947 | 5012 | 12 | 5004, 5008, 5016 | 0,98 | 0,22 |
| 4 | 955 | 6024 | 3 | 6016, 6020, 6022, 6026 | 0,99 | 0,26 |
| 5 | 962 | 5008 | 10 | 5004, 5012, 5016 | 0,97 | 0,33 |
| 6 | 964 | 6016 | 3 (0) | 6010, 6020, 6022 | 0,93 | 0,46 |
| 7 | 1218 | 5019 | 5 (0) | 5012, 5016, 5020 | 0,93 | 0,41 |
| 8 | 1223 | 5029 | 19 | 5024, 5026 | 0,97 | 0,41 |
| 9 | 1226 | 5024 | 14 (0) | 5019, 5020, 5026 | 0,98 | 0,33 |
| 10 | 1227 | 5012 | 20 | 5004, 5008, 5016 | 0,98 | 0,26 |
| 11 | 1229 | 5031 | 6 | 5029, 5033 | 0,98 | 0,45 |
| 12 | 1232 | 5016 | 4 | 5008, 5012, 5019 | 0,98 | 0,28 |
| 13 | 1240 | 5026 | 10 | 5020, 5024, 5029 | 0,99 | 0,28 |
| 14 | 1254 | 5033 | 8 | 5031 | 0,95 | 0,56 |
| 15 | 1259 | 5029 | 15 | 5020, 5024, 5026 | 0,96 | 0,49 |
| 16 | 6637 | 5012 | 20 | 5004, 5008, 5016 | 0,98 | 0,28 |
| 17 | 6639 | 5026 | 6 | 5020, 5024, 5029 | 0,99 | 0,38 |
| | | | | Среднее: | 0,97 | 0,35 |

(0) означает, что НГП находится в границах АГП

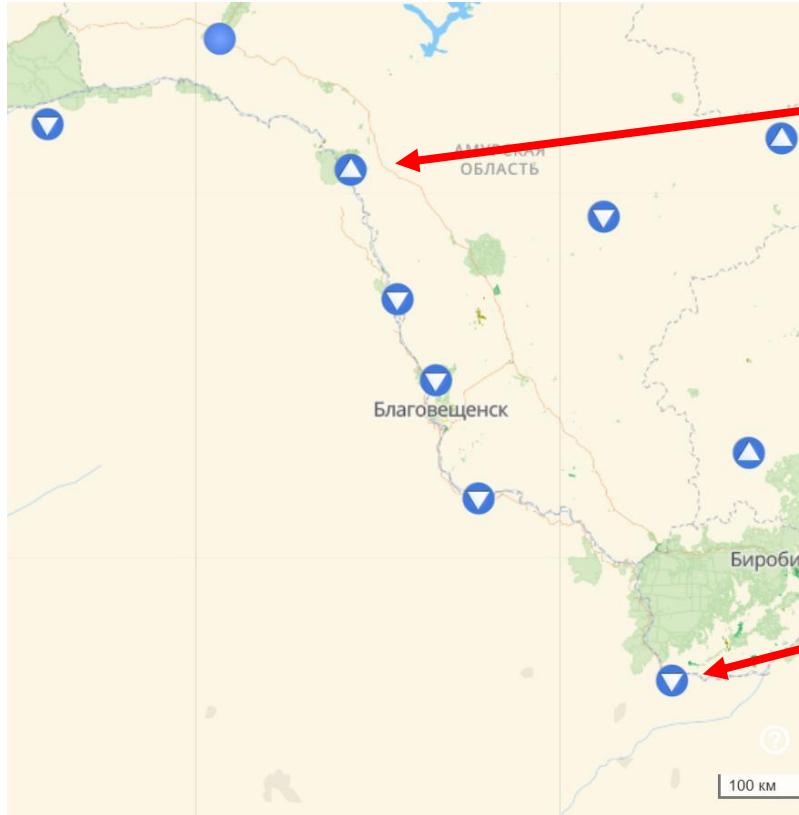
Восстановленные уровни воды на АГП



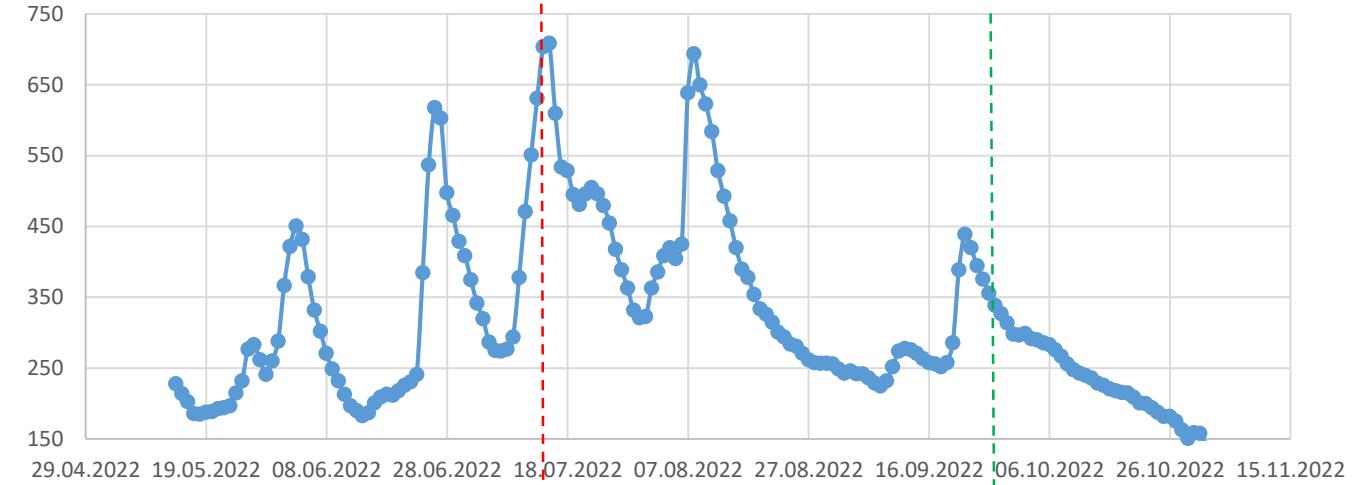
Восстановленный ряд на АГП № 713



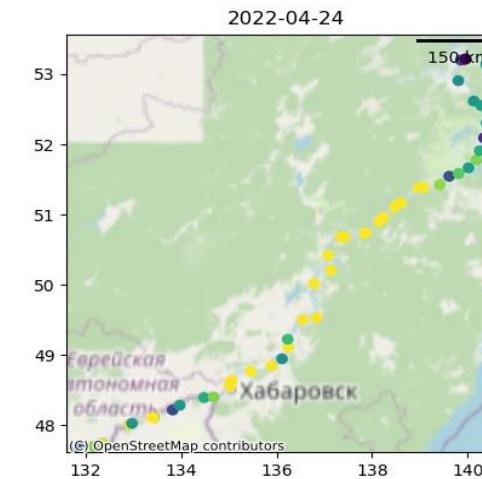
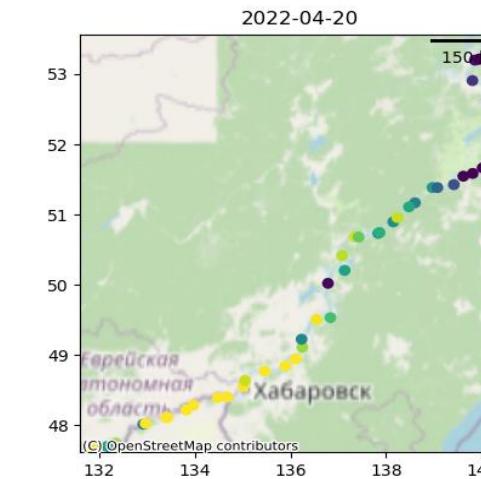
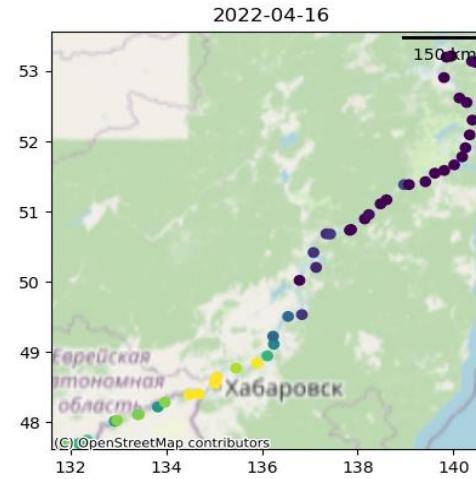
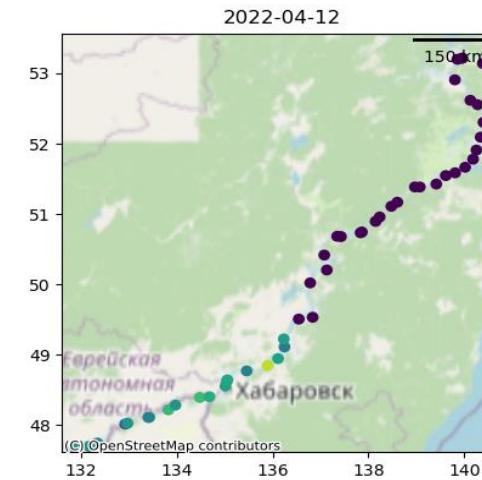
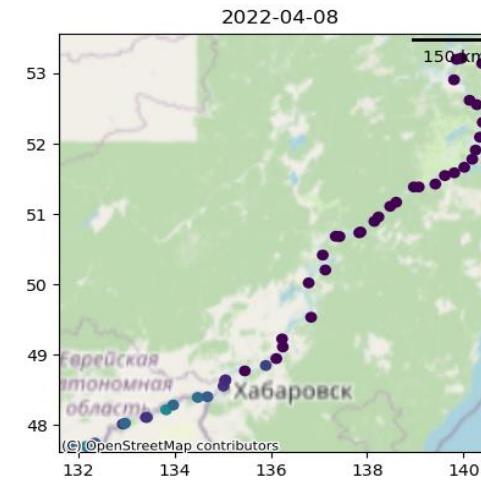
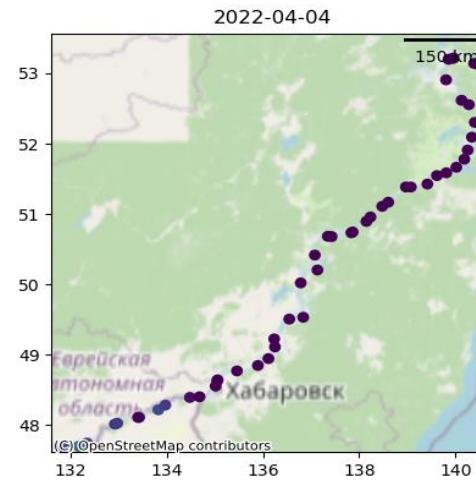
Среднесуточные уровни воды на НГП



Положение НГП



Восстановленные ежедневные аномалии уровня воды на АГП



Результаты

- Восстановленные временные ряды имеют высокие значения корреляции с фактическими ($R>0,9$) и среднюю RMSE = 0,35 м.
- Метод легко переносим на другие водоемы.
- Улучшение метода может происходить за счет повышения точности измерений альтиметрии, а также применения методов фильтрации как по времени, так и по пространству.
- Данный метод может быть применен и для участков рек с притоками при наличии измерений на притоках.
- Использование этого метода для водоемов без сети НГП требует дальнейшего рассмотрения, т.к. встает вопрос рассмотрения альтернативных способов оценки времени добегания.

Спасибо за внимание

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8) с использованием возможностей центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».