

Ольга П. Шевякова



*Майкопский государственный
технологический университет*

Сергей А. Лебедев

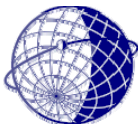


Геофизический Центр РАН



*Майкопский государственный
технологический университет*

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

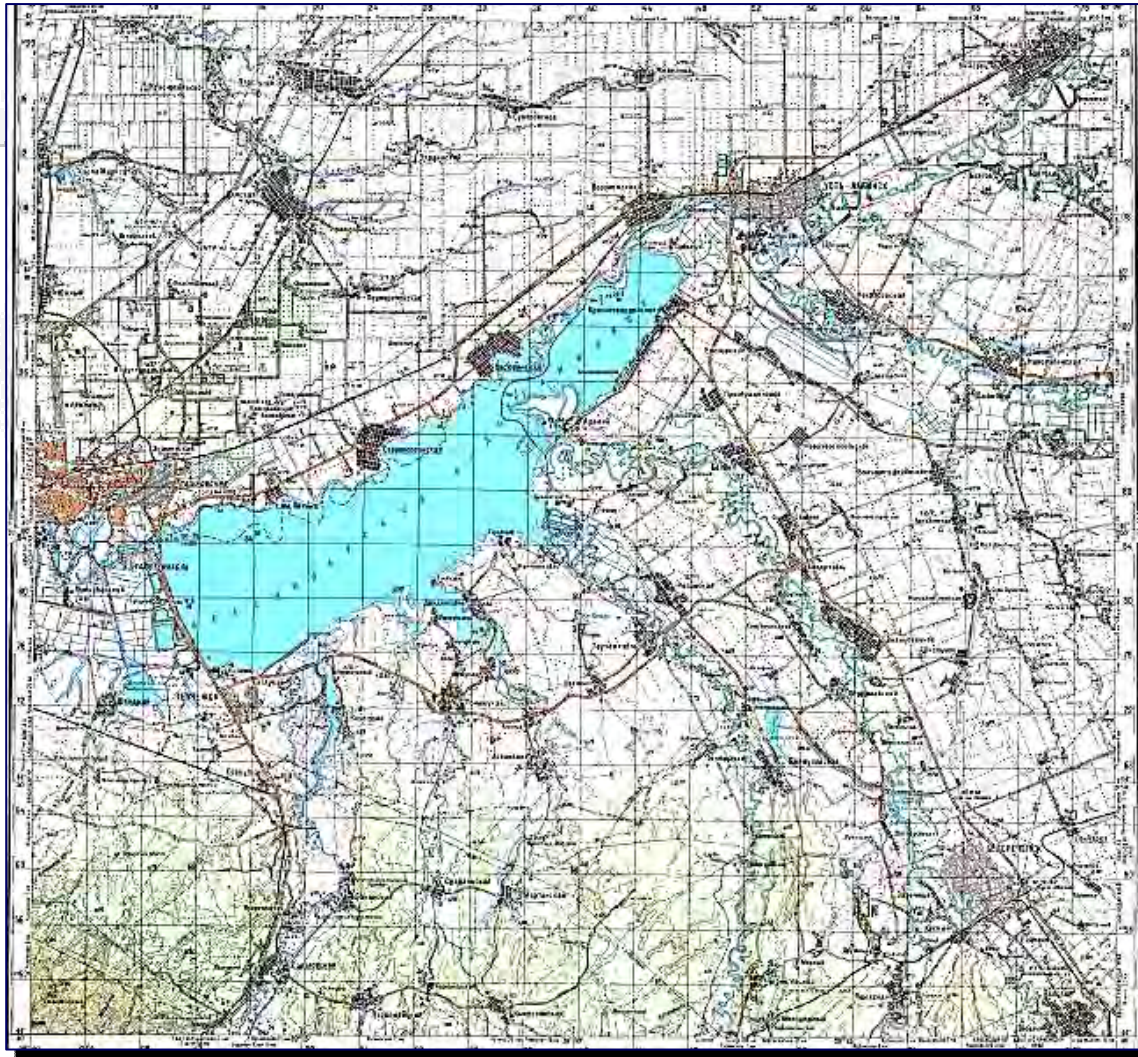


Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

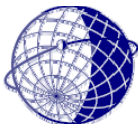
© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Краснодарское водохранилище

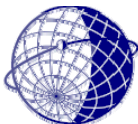
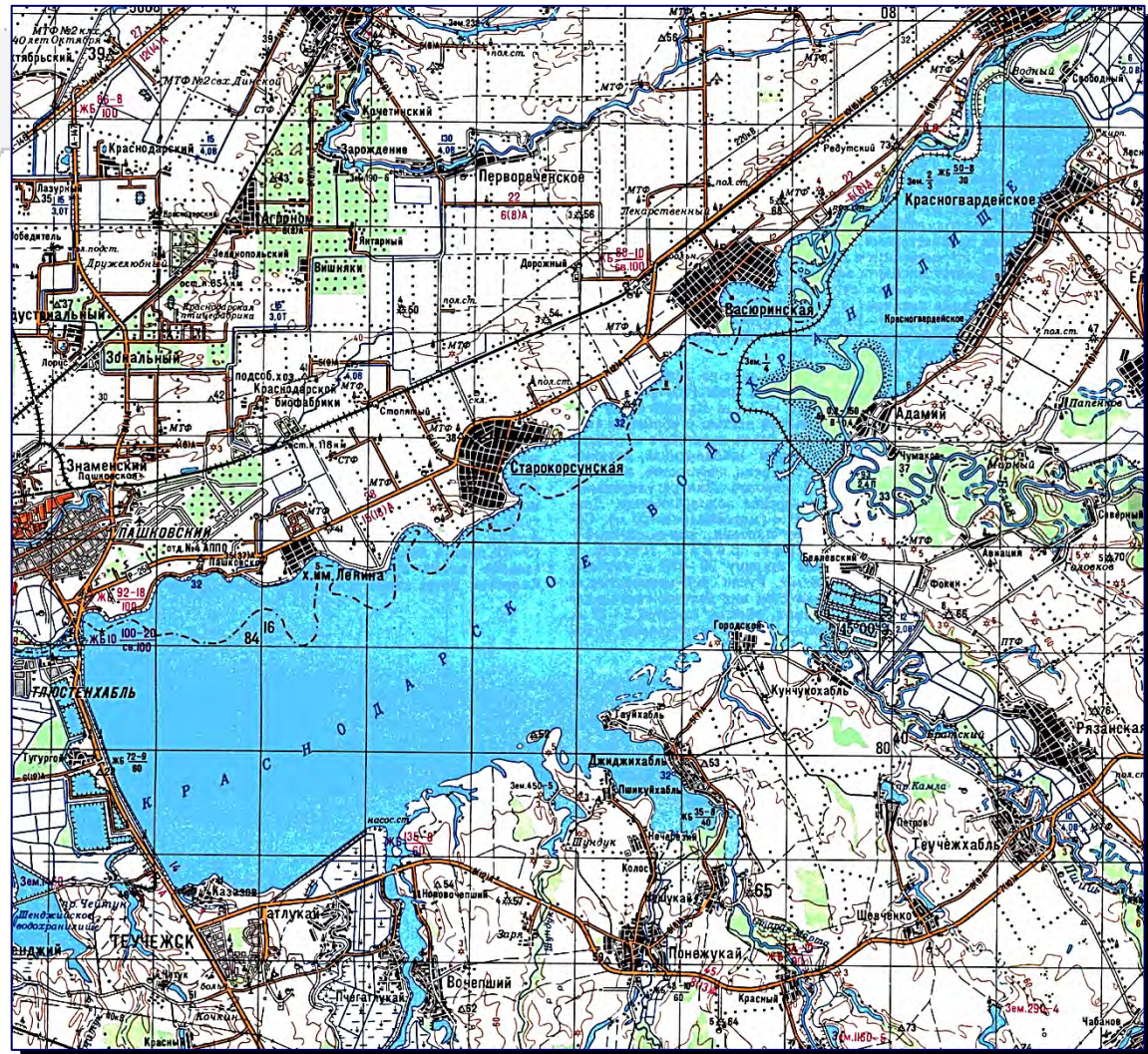


Краснодарское водохранилище, расположенное в среднем течении р. Кубани между станцией Воронежской и Краснодаром, введено в эксплуатацию в 1973 г. После его заполнения водой оно полностью слилось с Тшикским водохранилищем. В это русловое водохранилище, кроме Кубани, впадают левые ее притоки – Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс. При заполнении чаши были затоплены нижние течения упомянутых притоков Кубани (за исключением р. Белой), что вызвало образование заливов типа эстуариев.



Краснодарское водохранилище

При вводе в эксплуатацию этот крупнейший на Северном Кавказе искусственный водоем, включивший в своей северо-восточной части построенное в 1940–1941 гг. Тщикское водохранилище, имело площадь зеркала около 400 км², длину 46 км, ширину до 8–11 км, среднюю глубину 5,9 м, максимальную глубину до 24,7 м, полезный объем воды 2,2 км³ при полной емкости около 3 км³. Наполнение водой водохранилища до проектного нормального подпорного уровня (НПУ) произошло в 1977 г.



Краснодарское водохранилище

Основное предназначение Краснодарского водохранилища – перераспределение естественного весьма неравномерного стока Кубани и ее притоков в соответствии с режимом водопотребления и водопользования, т.е. регулирование стока. Основные функции Краснодарского водохранилища:



т. га земель
елей при

систем;

евое

ара с
роса воды

и низких

вьяйства и
овских

ловий на



Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Гидрометрические характеристики Краснодарского водохранилища

Показатель	Проектное положение (1973 г.)
Емкость, млн м ³	
– при форсированном уровне (ФУ)	3048
– при нормальном подпорном уровне (НПУ) 33,65 м	2396
– при уровне мёртвого объёма (УМО)	236
– полезная емкость (при НПУ=33,65 м)	2160
– противопаводковой призмы (при НПУ=33,65 м)	652
– мертвого объёма	236
Площади зеркала, км ²	
– при форсированном уровне	419,5
– при нормальном подпорном уровне 33,65 м	400,0
– при уровне мёртвого объёма	128,0

В 1973–1992 гг. НПУ был установлен на отметке 33,65 м.

С 1993 г. водохранилище фактически эксплуатируется со сниженным на 0,9 м НПУ (32,75 м), что повлияло на водный режим и другие преобразования в водоеме.

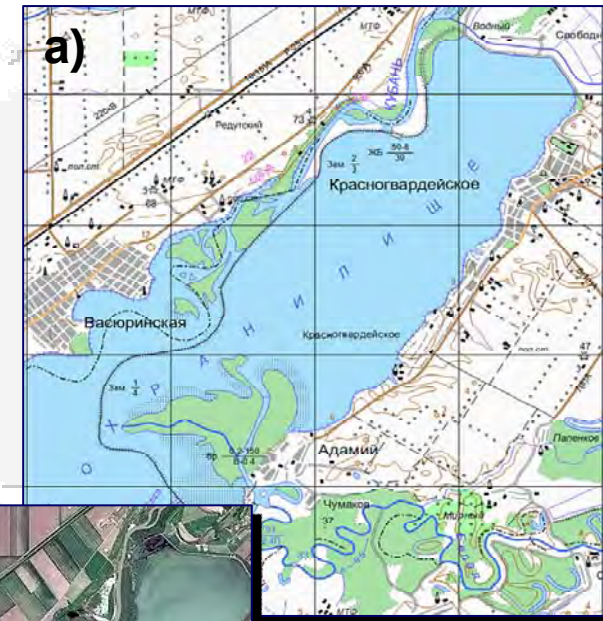


Заиление Краснодарского водохранилища

Среди рек России, на которых построены водохранилища, р. Кубань характеризуется одним из наиболее высоких показателей мутности. В 1940–1960 гг. мутность Кубани в среднем составляла 0,68 кг/м³, а сток взвешенных наносов в среднем был равен 8,4 млн т. Наносы р. Белой, левого притока Кубани, оцениваются в 2 млн т. В водохранилище осаждается до 95% наносов, приносимых Кубанью. По оценкам экспертов в водохранилище осаждается 97–98% объема поступающего твердого стока.

При этом средний годовой сток наносов пяти основных рек (Кубань, Лаба, Белая, Псекупс, Пшиш) равен 6 млн м³. На заиление дополнительно влияет процесс переработки берегов.

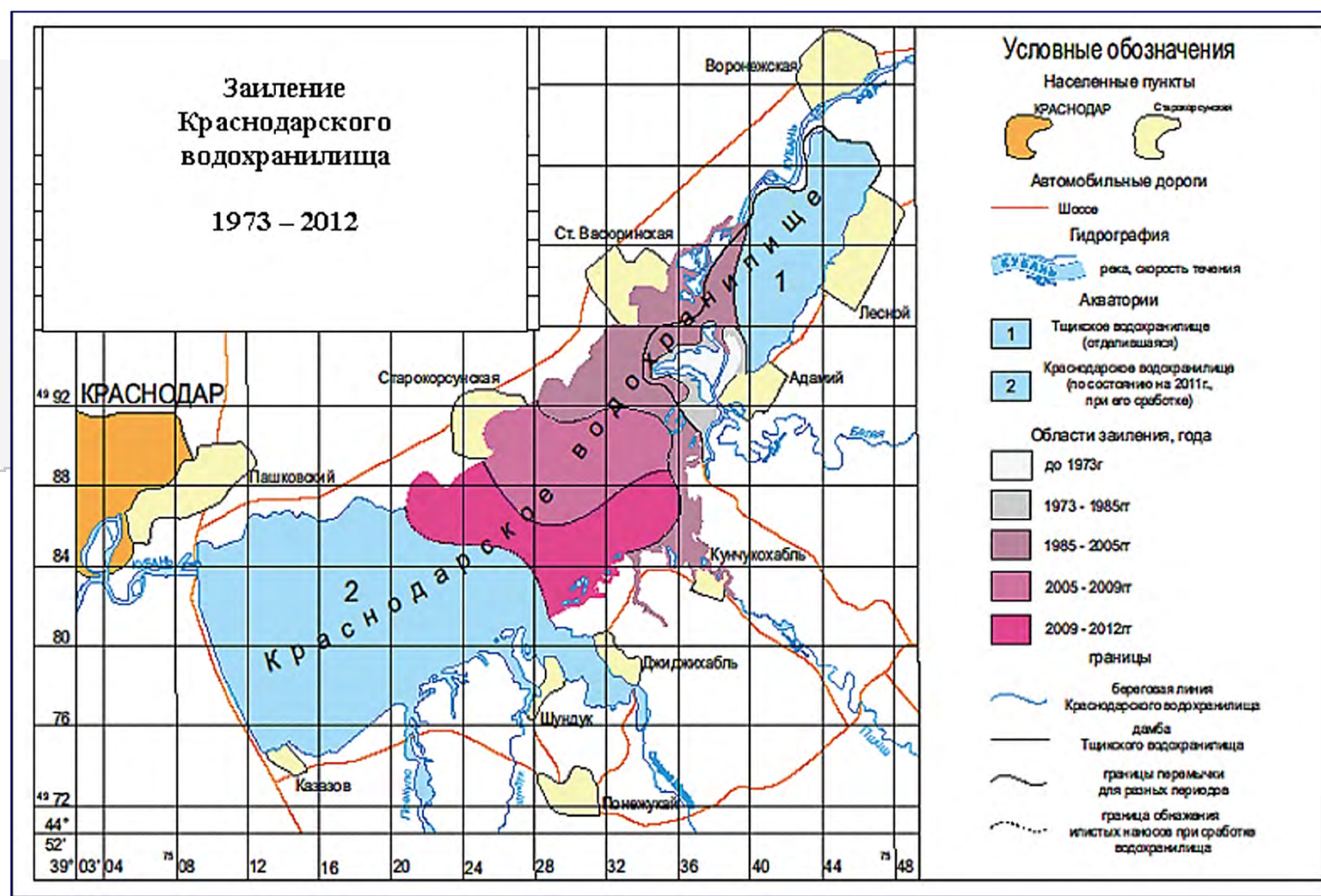
Объем тела заиления в виде отложений непрерывно увеличивается. Заиление, как наиболее существенный дефект водохранилищ, влечет за собой утрату их регулирующего значения



Заиление Краснодарского водохранилища: надводная и мелководная части дельты реки Белой на карте 1995 г. (а), на изображении с ИСЗ Pleiades-1a 6 мая 2012 г. (б).



Заиление Краснодарского водохранилища



**Краснодарское водохранилище 29 апреля 2018 г.
Уровень воды 32,77 м. Снимок Landsat-8**

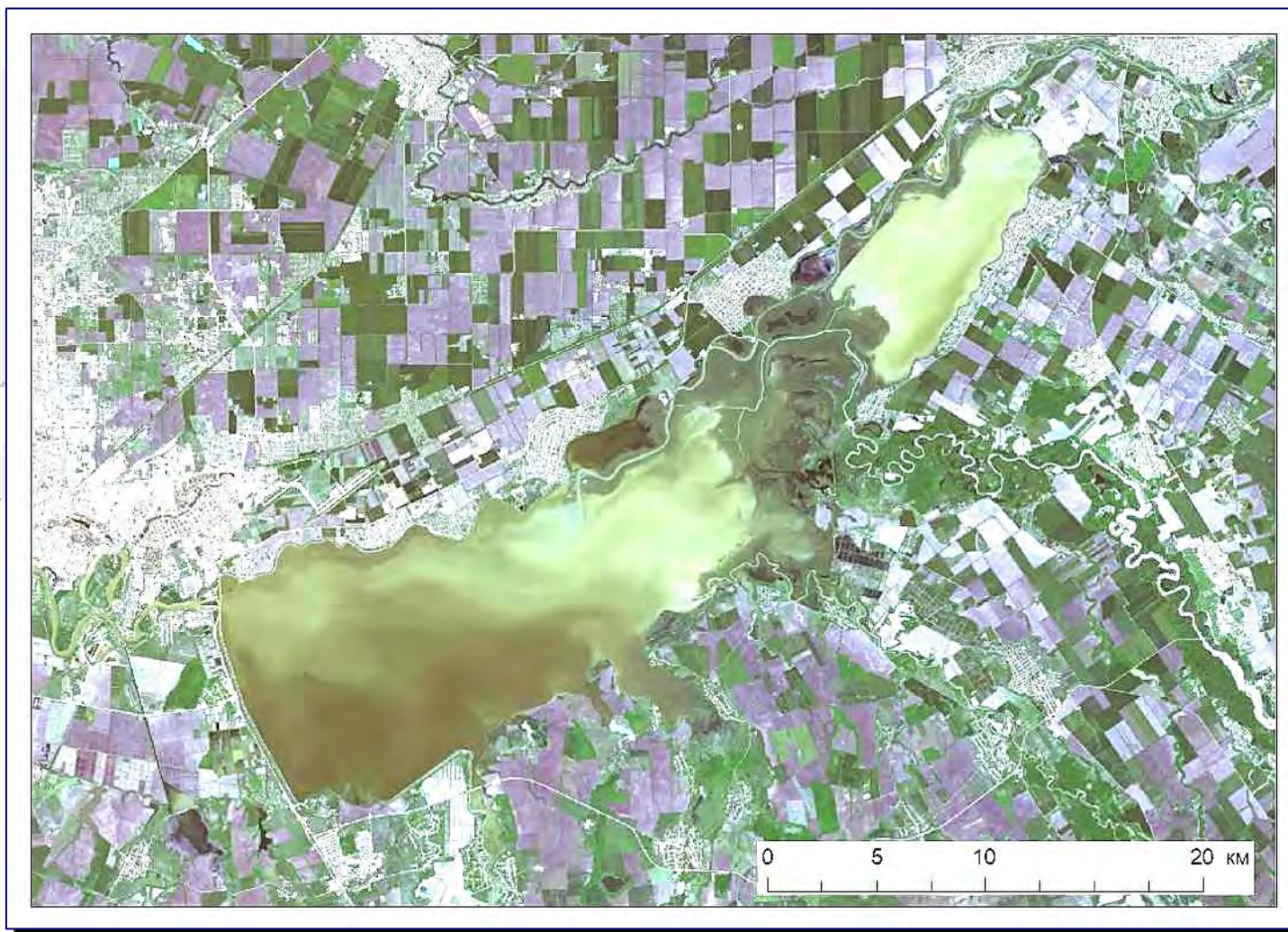


Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Заиление Краснодарского водохранилища



**Краснодарское водохранилище 29 апреля 2018 г.
Уровень воды 32,77 м. Снимок Landsat-8**

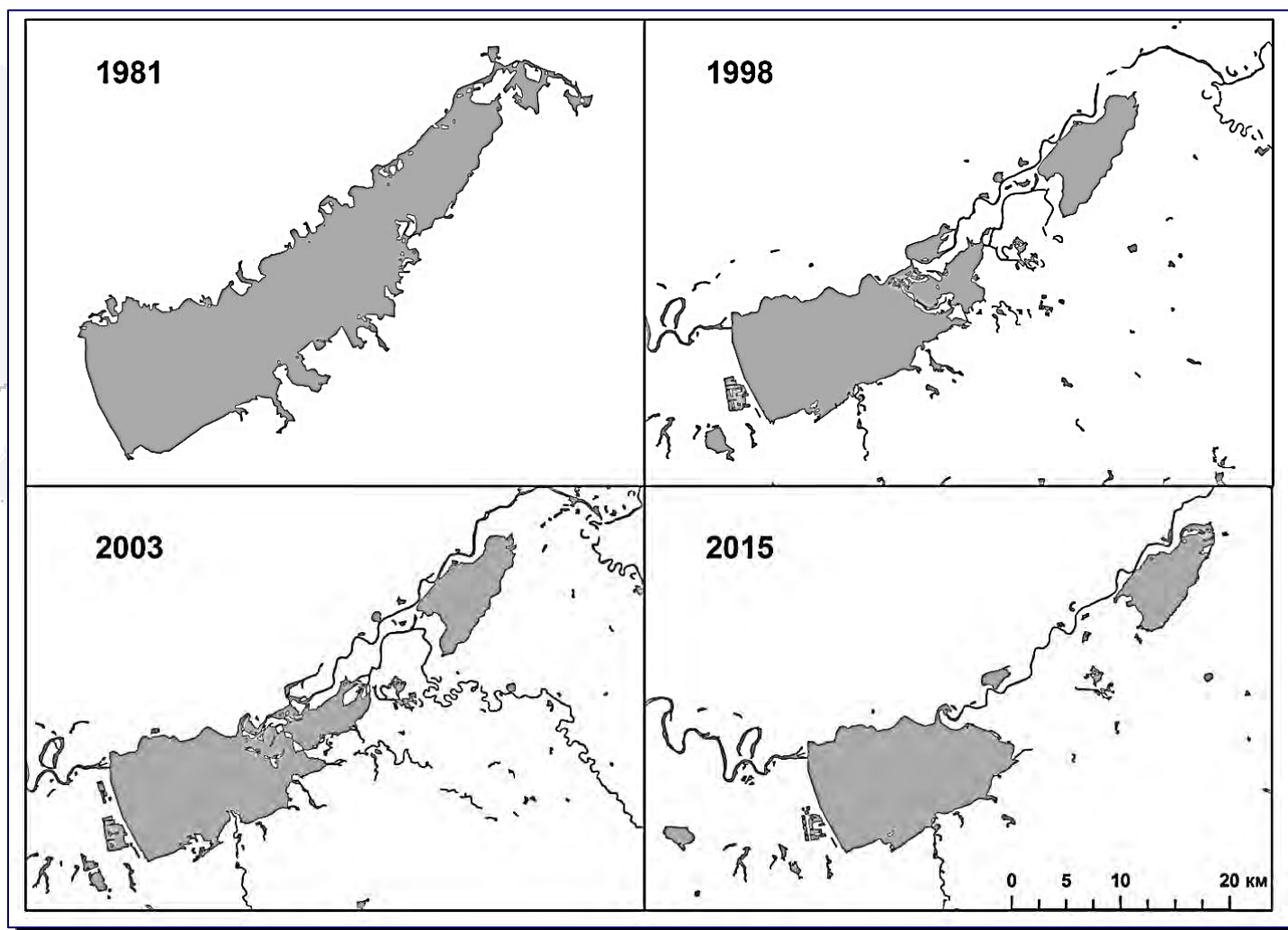


Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9–12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Заиление Краснодарского водохранилища



Динамика контуров Краснодарского водохранилища в 1981–2015 гг.

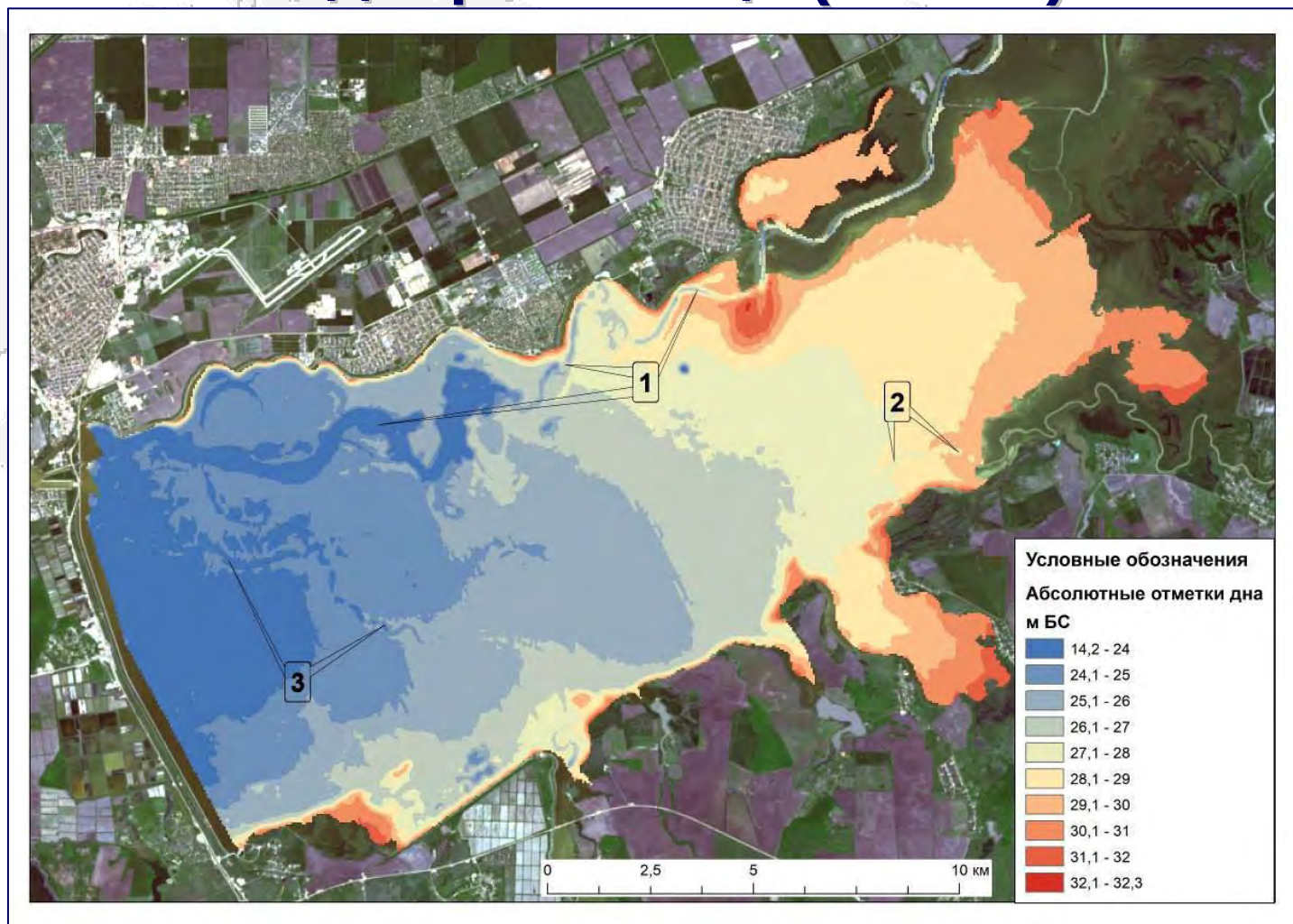


Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9–12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Гипсометрическая карта дна Краснодарского водохранилища (2016 г.)



Цифрами показаны затопленные русла рек Кубань (1), Пшиш (2) и Псекупс (3)



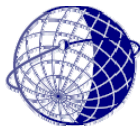
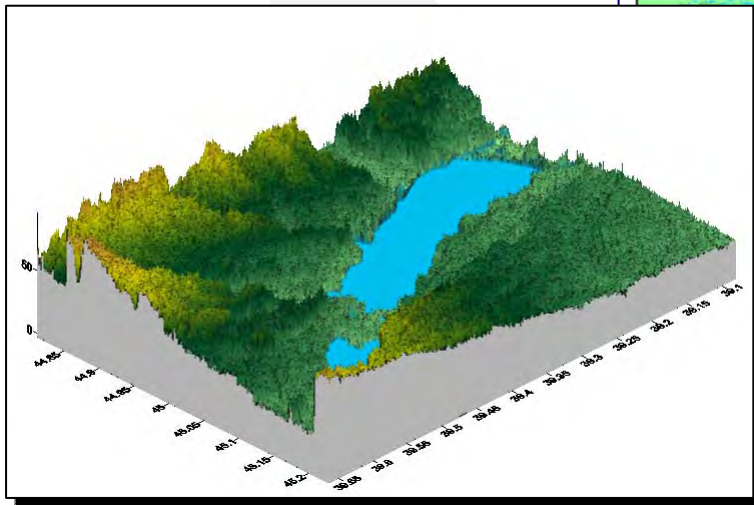
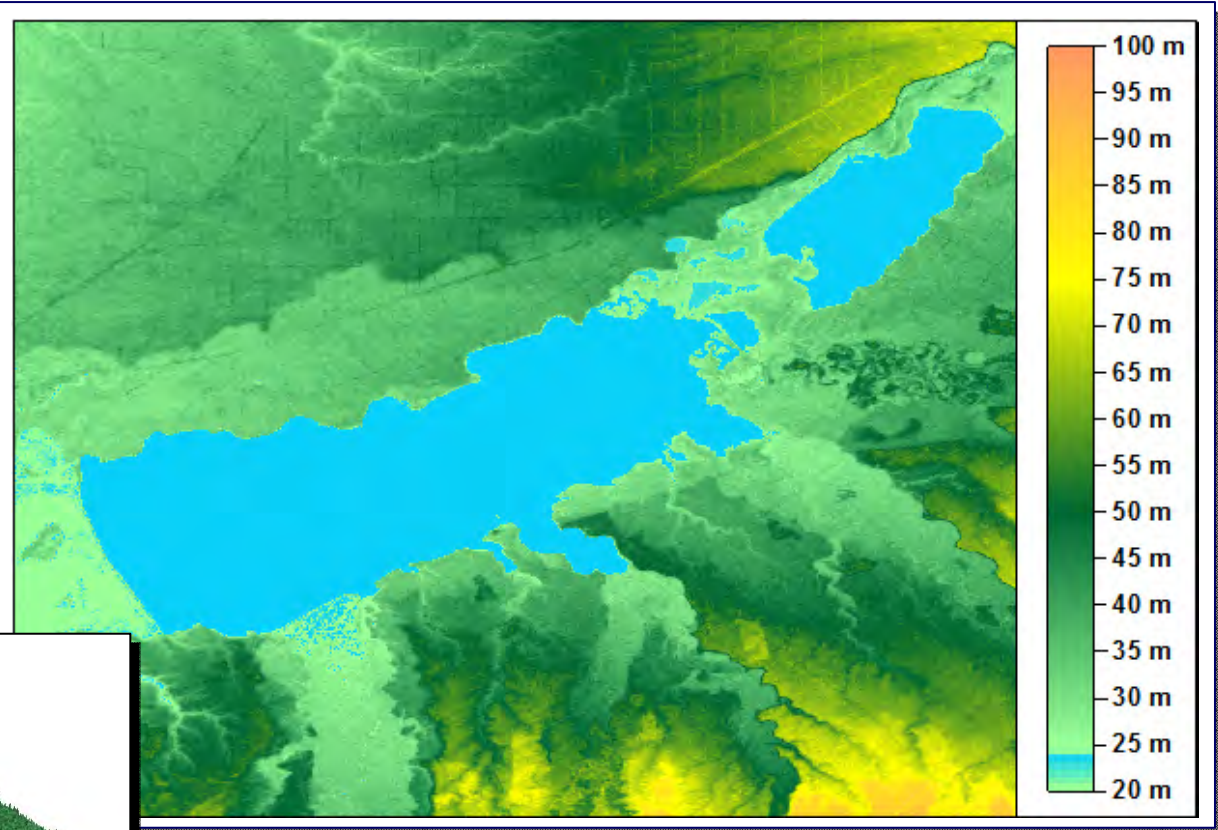
Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9–12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Цифровая модель рельефа

Цифровая модель
рельефа территорий,
прилегающих к
Краснодарскому
водохранилищу, по
данным SRTM-3 с
уточнением по
береговой линии лета
2017 года.



Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

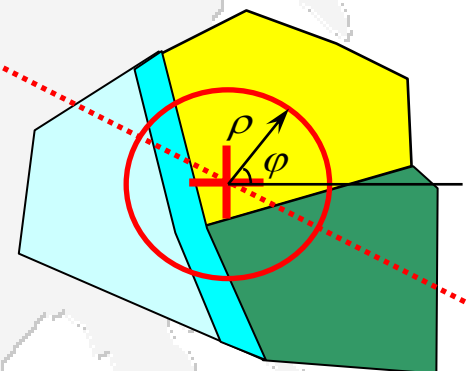
© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Региональный адаптивный ретрекинг

Средняя форма импульса, отраженного от неровной неоднородной поверхности

$$P_i(\tau) = \frac{P_0}{\sqrt{2\pi}h^4} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{\sigma^0(\rho, \varphi)}{s(\rho, \varphi)} e^{-\left(\frac{4}{\gamma} + \alpha(\rho, \varphi)\right) \frac{\rho^2}{h^2}} \times$$
$$\times \exp \left[-\frac{\left(c\tau - 2H(\rho, \varphi) - \rho^2 / h \right)^2}{8s^2(\rho, \varphi)} \right] \rho d\rho d\varphi$$



Для воды:

H – высота уровня воды

S – существенная высота волнения

σ – зависит от скорости ветра

Для суши:

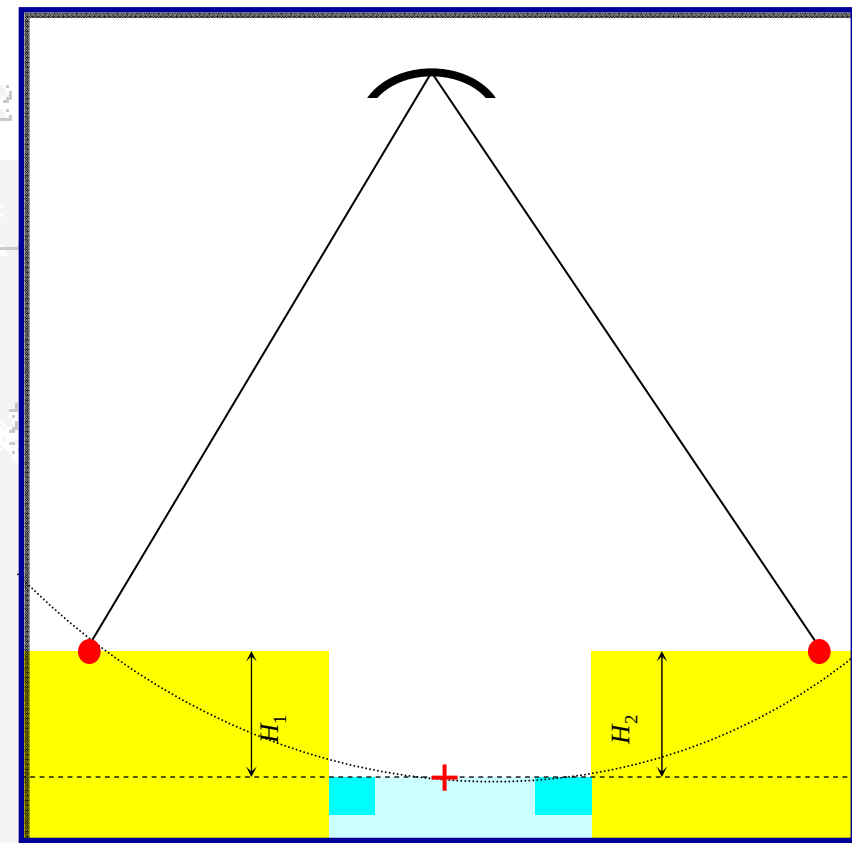
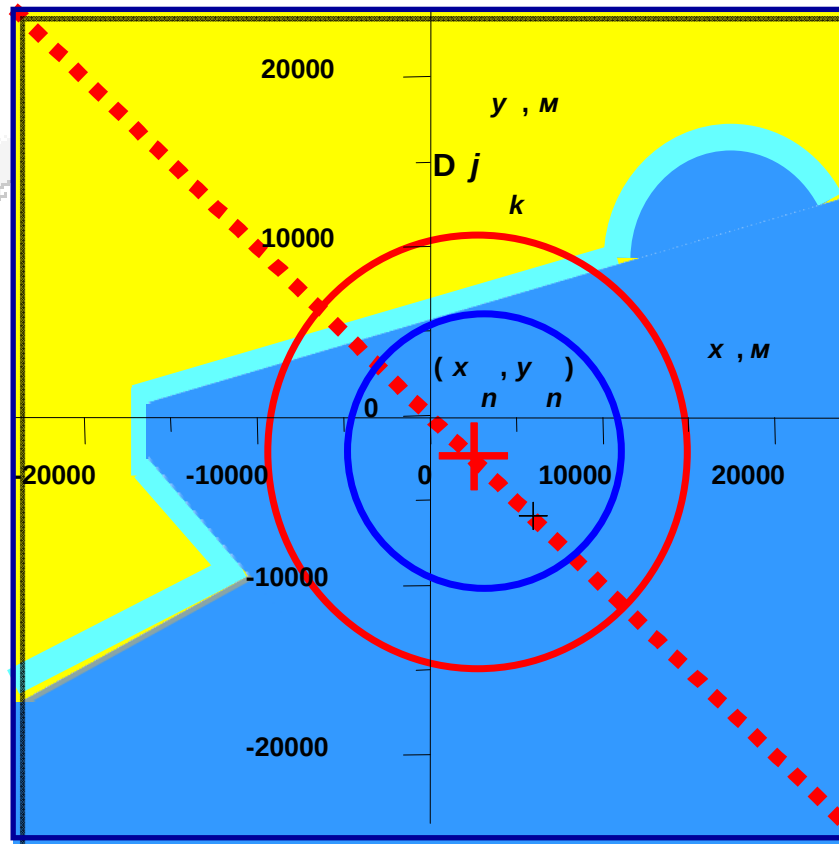
H – определяется рельефом

$S(\rho, \varphi)$ – шероховатостью поверхности

$\sigma(\rho, \varphi)$ – отражающие свойства поверхности



Региональный адаптивный ретрекинг



Кусочно-постоянная топографическая модель отражающей поверхности Горьковского водохранилища (горизонтальная и вертикальная структуры)



Региональный адаптивный ретрекинг

Средний отраженный импульс для кусочно-постоянной модели отражающей поверхности в районе Горьковского водохранилища

$$P_i(\tau) = P_{water}(\tau) + P_{land}(\tau) + P_{coast}(\tau)$$

Вклад воды и суши, (k=вода,суша)

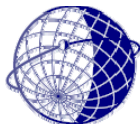
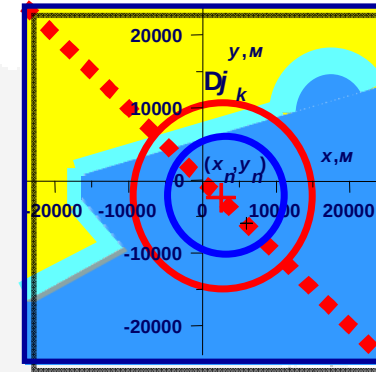
$$P_k(\tau) = \frac{P_0 \sigma_k^{(0)}}{2h^4} e^{-\left(\frac{4}{\gamma} + \alpha_k\right) \frac{(c\tau - 2H_k)}{h}} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{(c\tau - 2H_k)}{\sqrt{2} \sqrt{s_k^2 + c^2 \tau_i^2}} \right) \right) \Delta \varphi_k \left(x_N, y_N, \sqrt{h(c\tau - 2H_k)} \right)$$

$\Delta \varphi_k \left(x_N, y_N, \sqrt{h(c\tau - 2H_k)} \right)$ - дуга окружности с радиусом соответствующим расстоянию от точки надира, с которого отраженный сигнал от земли (красный цвет) или с воды (синий) поступает на антенну в определенный момент τ

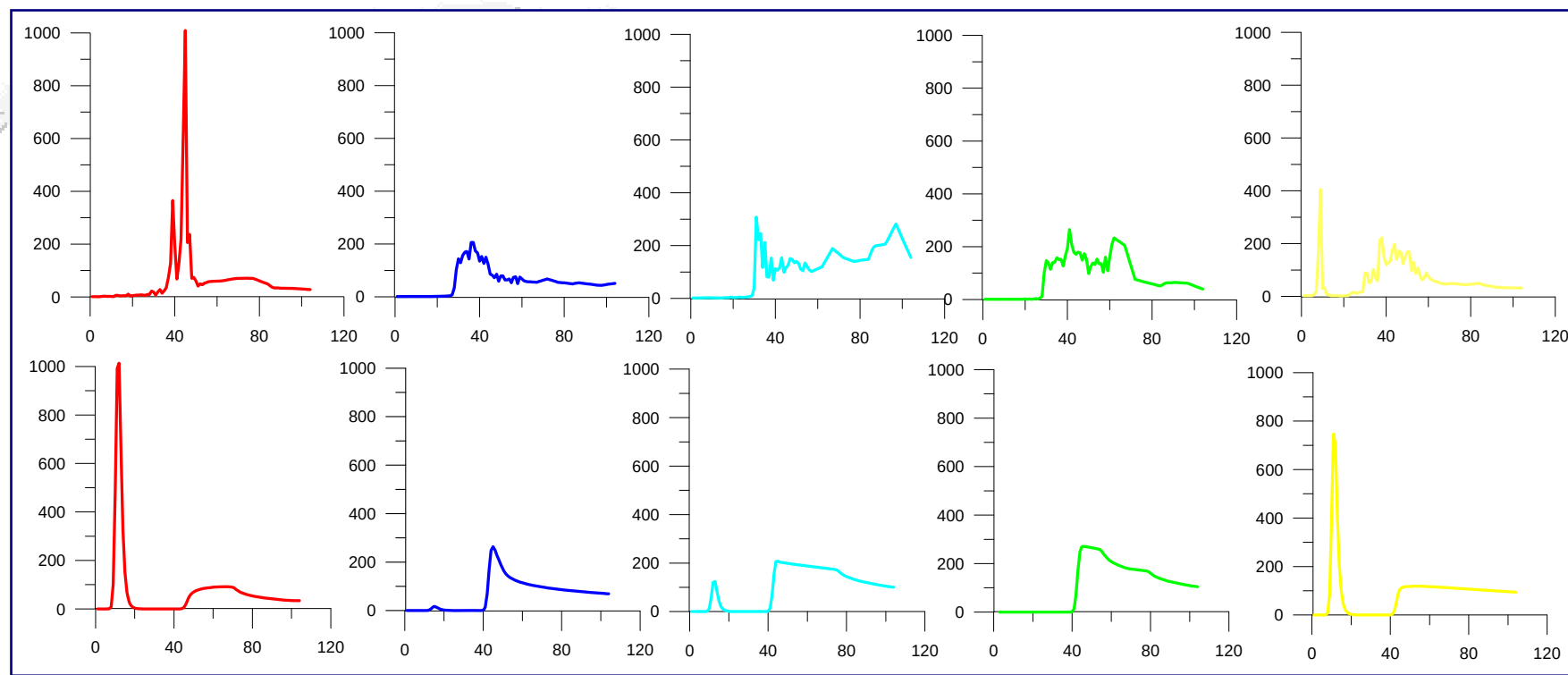
Вклад сликов

$$P_{coast}(\tau) = \frac{P_0}{\sqrt{2\pi} h^4 s_{coast}} e^{-\left(\frac{4}{\gamma} + \alpha(\rho, \varphi)\right) \frac{c\tau - 2H_{water}}{h}} \int_C e^{\left\{ - \left(c\tau - 2H_{water} - \frac{(x(l) - x_N)^2 + (y(l) - y_N)^2}{h} \right)^2 / 8s_{coast}^2 \right\}} dl$$

(x_N, y_N) – координаты точки надира, $y=y(l)$, $x=x(l)$ – уравнение береговой линии



Региональный адаптивный ретрекинг



Зависимости мощности отраженного сигнала от времени: верхний ряд – на основе SGDR данных спутника Jason-1, нижний ряд – на основе модельных расчетов



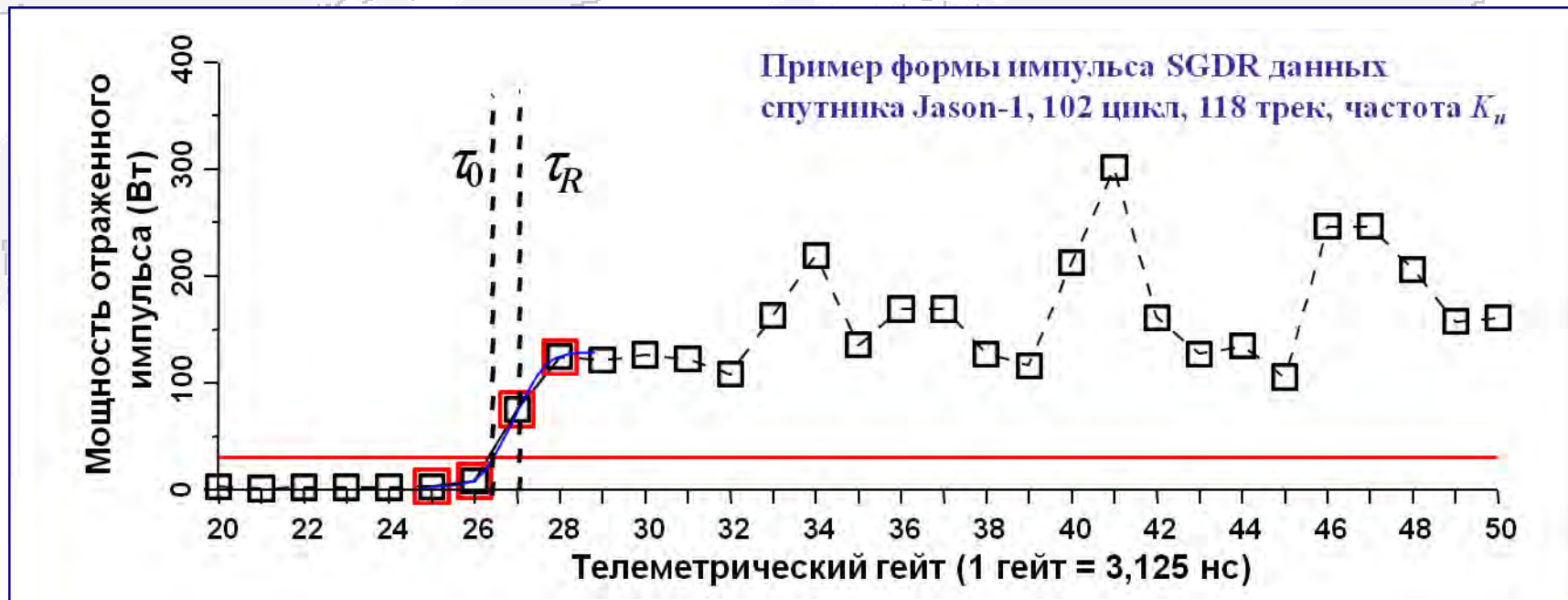
Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Региональный адаптивный ретрекинг

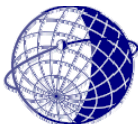
1. Пороговый ретрекинг определяет точку прихода импульса τ_0 по превышению заданного порога



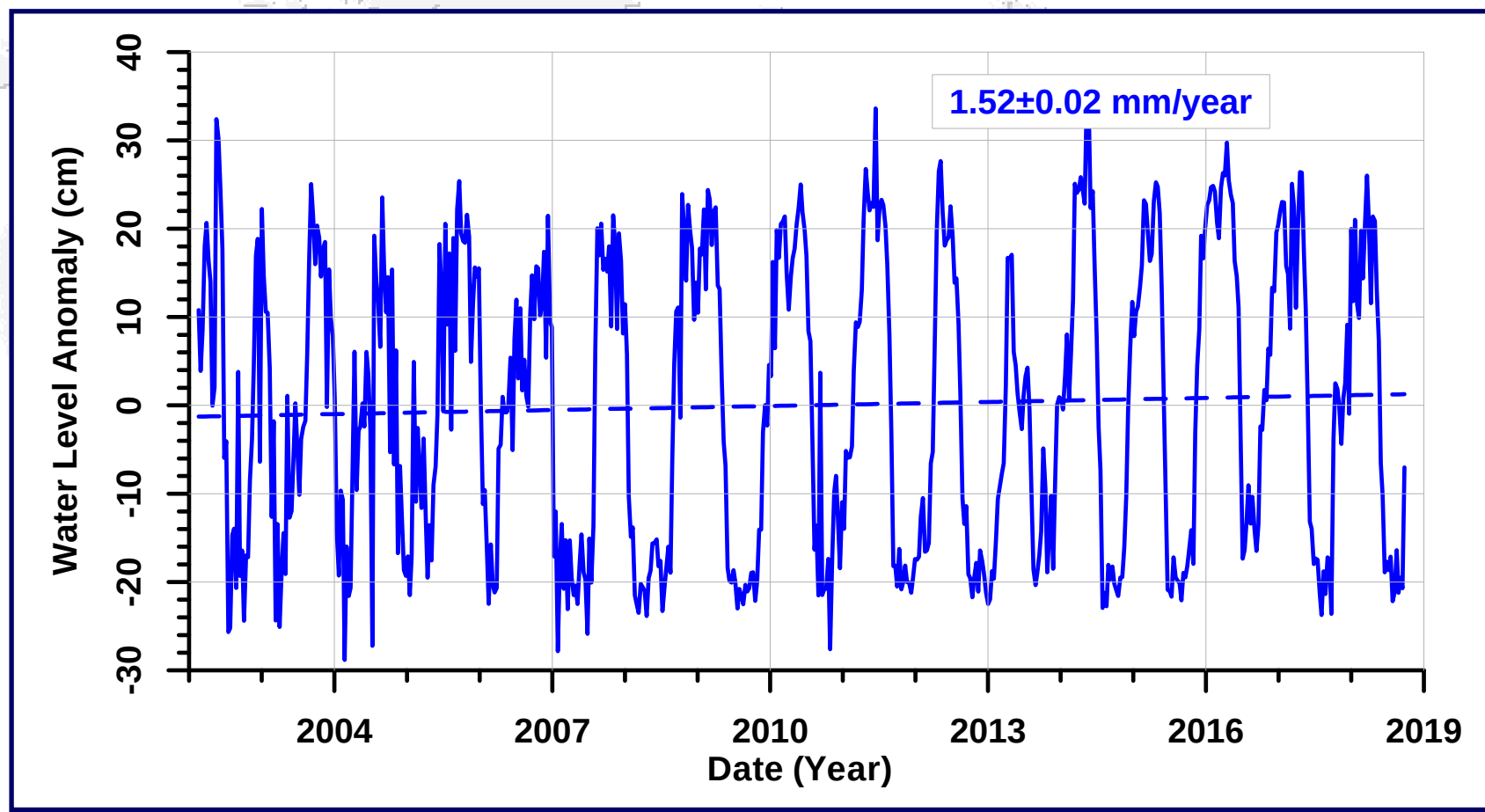
2. Улучшенный алгоритм ретрекинга – 4 точки вблизи порога аппроксимируются функцией ошибок

$$A \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\tau - \tau_R}{S} \right) \right)$$

Параметры A , τ_R , S определяются из алгоритма оптимизации (минимизируются среднеквадратичные отклонения)



Изменчивость уровня Краснодарского водохранилища



Изменчивость аномалий уровня Краснодарского водохранилища по данным альтиметрических измерений спутников Jason-1/2/3, обработанных алгоритмом адаптивного регионального ретрекинга



Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев



Спасибо за внимание



Десятая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 9– 12 апреля 2019г.

© 2019, ГЦ РАН, МГТУ, С.А. Лебедев

