

Проблемы определения видового состава фитопланктона по спутниковым данным

Качур В.А.^{1,2}, Алексанин А.И.^{1,2}

¹ Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Теория

Наклон графика рассеивания света в воде зависит от характерных размеров и формы частиц в воде.

$$I \sim \lambda^{-p}$$

λ – длина волны, параметр $p < 4$ и p обратно пропорционален размеру частиц.

В заливе Петра Великого Японского моря в каждой пробе воды на доминирующий вид водоросли обычно приходится более 50% биомассы.

Алгоритм определения вида доминирующей водоросли

Расчет обратного рассеивания воды методами ДЗЗ

По наклону спектра определить характерный размер микроводоросли

Зная сезон и характерный размер клетки, определить наиболее вероятный вид доминирующей микроводоросли и его биомассу

Проблемы

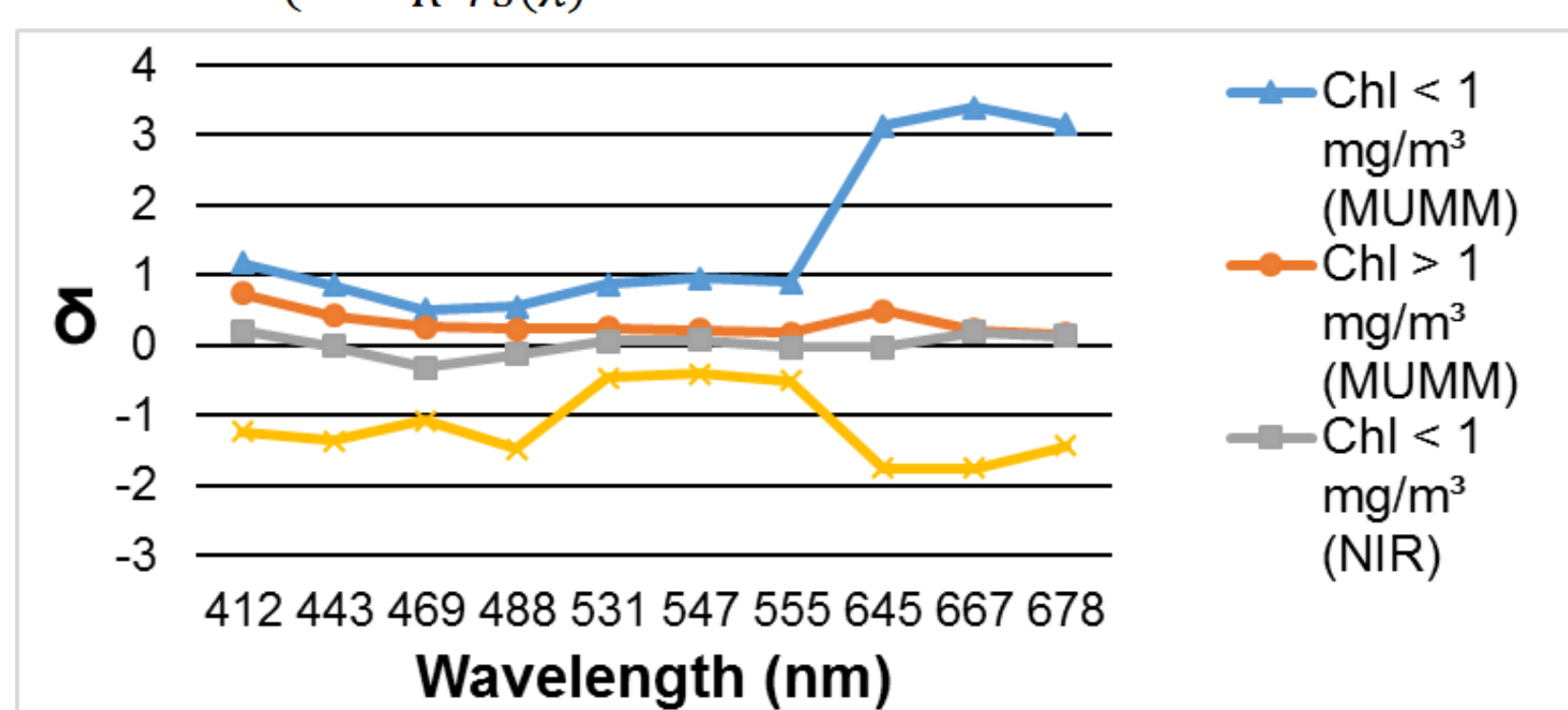
1. Ошибки связанные с атмосферной коррекцией
2. Ошибки алгоритма расчета обратного рассеивания частицами по спутниковым данным (bbp)
3. Ошибки алгоритма расчета размера частиц по наклону спектра обратного рассеивания

Погрешности, связанные с атмосферной коррекцией

Основными параметрами, на которых базируются спутниковые биооптические алгоритмы, являются значения коэффициентов отражения света над поверхностью воды, применяемые при дистанционном зондировании $Rrs(\lambda)$.

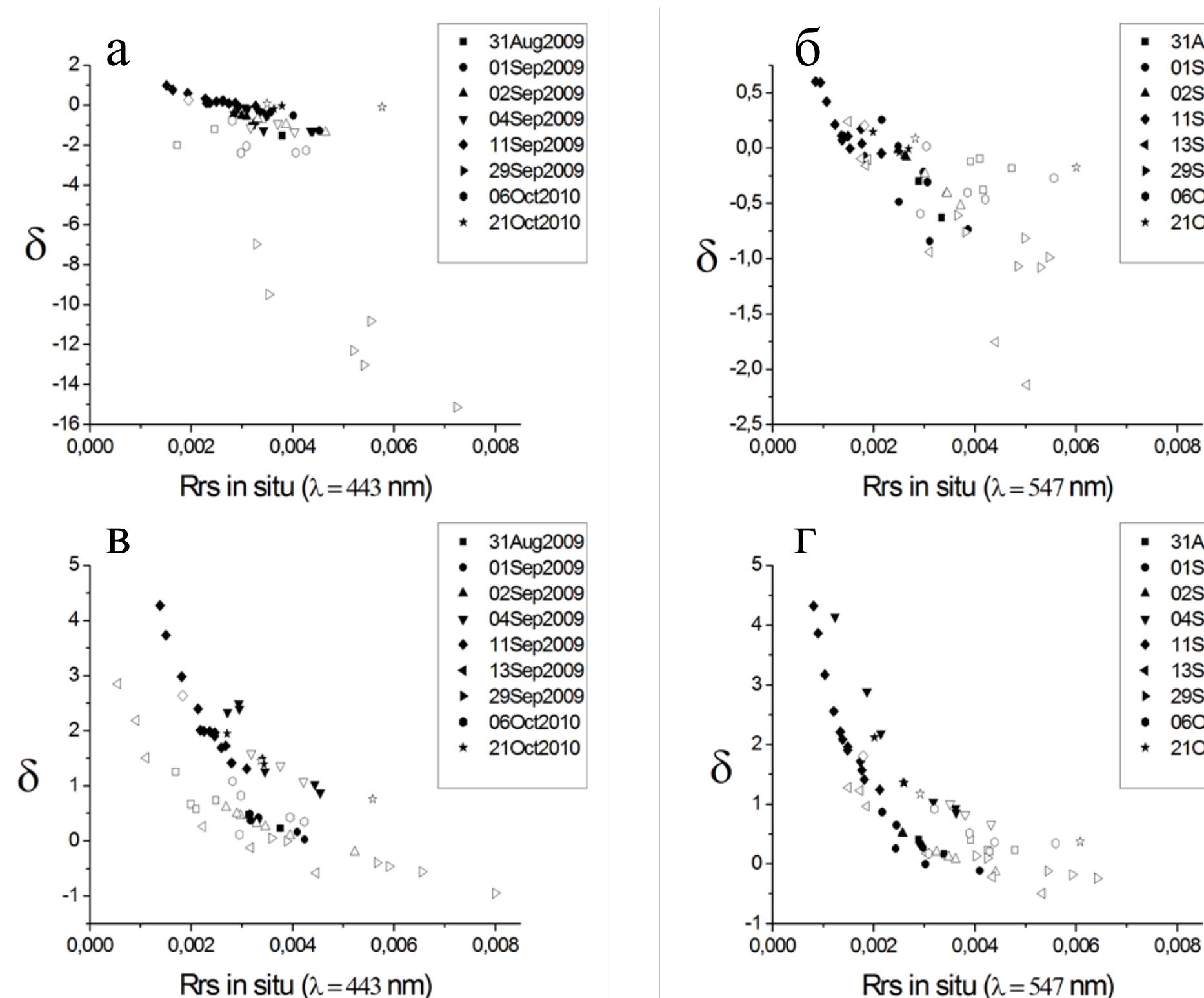
Рассмотрим ошибку δ оценки $R^*rs(\lambda)$ по спутниковым данным относительно *in situ* измеренной $Rrs(\lambda)$ для двух наиболее распространенных алгоритмов атмосферной коррекции NIR (стандартная) и MUMM (разработанная для вод высокой тропности)

$$\delta = \begin{cases} \frac{R^*rs(\lambda) - Rrs(\lambda)}{Rrs(\lambda)}, & R^*rs(\lambda) > Rrs(\lambda) \\ \frac{R^*rs(\lambda) - Rrs(\lambda)}{R^*rs(\lambda)}, & R^*rs(\lambda) < Rrs(\lambda) \end{cases}$$



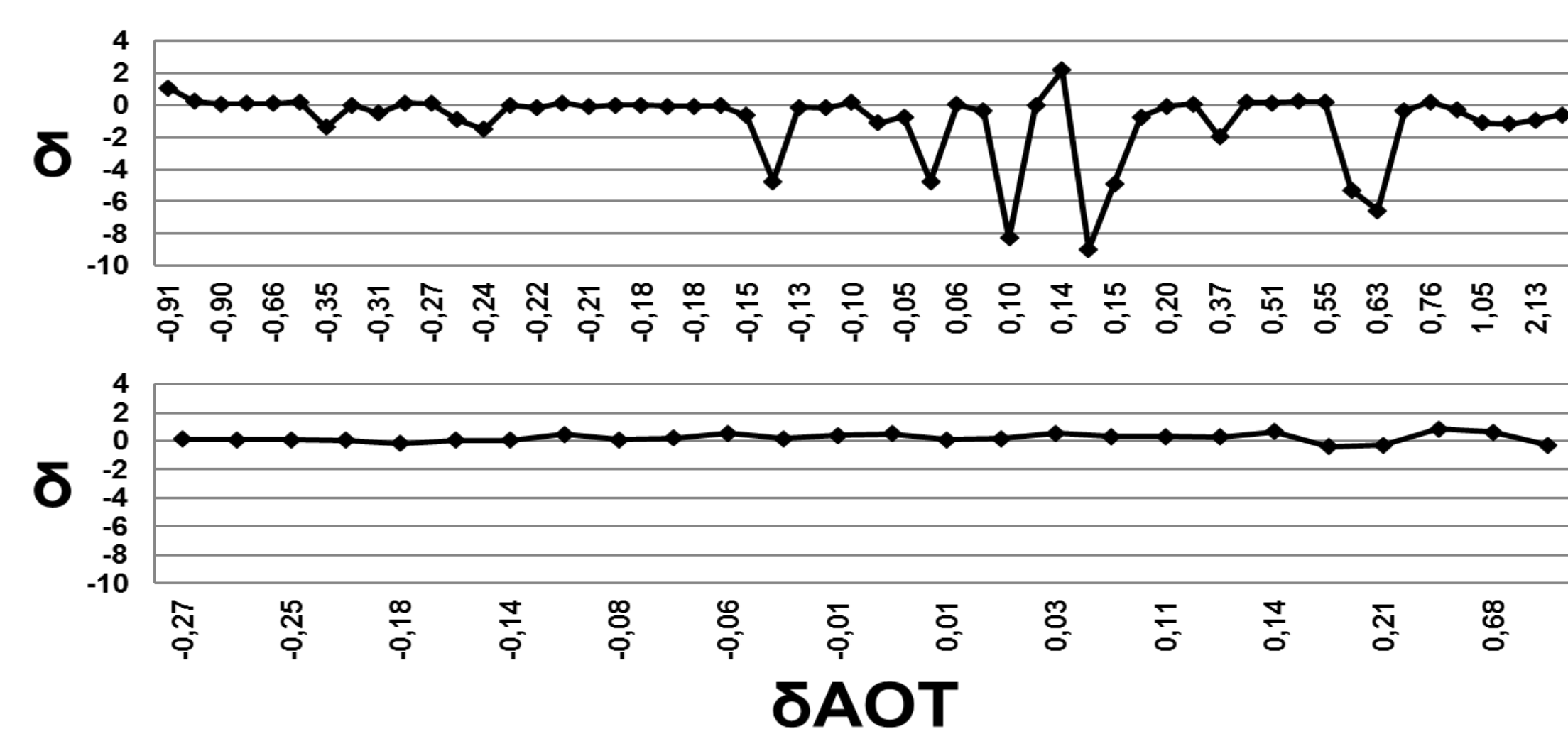
Графики медианных оценок ошибки δ для MUMM и NIR атмосферных коррекций показывают, что систематическая ошибка спутниковых данных, вносимая атмосферной коррекцией, зависит от характеристик воды. Для чистых вод, где концентрация хлорофилла-а менее 1 мг/м³ лучше применять NIR коррекцию. Для вод с концентрацией хлорофилла-а более 1 мг/м³ лучше применять MUMM коррекцию.

Графики ошибок δ для одиночных изображений



Графики ошибок расчета Rrs в двух спектральных каналах в зависимости от ASD-измерений для NIR (а, б) и MUMM (в, г) алгоритмов атмосферной коррекции. Незаполненные цветом фигуры относятся к измерениям излучения воды с концентрацией хлорофилла-а больше 1 мг/м³. Графики показывают, что ошибки носят в основном систематический характер. Можно отметить, что ошибки измерения за один день хорошо соответствуют гладкой кривой.

Сравнение ошибок расчетов Rrs для юго-восточной Азии и восточного побережья США по данным сети станций AERONET



Зависимости ошибок расчета $Rrs(443 \text{ нм})$ от относительной точности спутниковой оценки оптической толщины аэрозоля $\tau(869 \text{ нм})$ для станций Южной Кореи (вверху) и станции США (внизу) при NIR-коррекции атмосферы. Ошибки спутниковых данных в Дальневосточном регионе значительно выше, чем около побережья Америки. И эти ошибки не коррелируют с точностью восстановления оптической толщины атмосферы. Ошибки вероятно связаны с выносом пылевого аэрозоля в Дальневосточном регионе. В результате этого, даже при верном расчете оптической толщины атмосферы ошибки NIR коррекции выше, чем в других регионах Земли.

Погрешности оценки bb по квазианалитическому методу

Квазианалитический алгоритм (QAA) предназначен для расчета коэффициентов поглощения (а) и рассеивания назад (b_b) света в воде по Rrs . QAA сначала рассчитываются коэффициенты а и b_b для базовой длины волны λ_0 , а затем, используя параметр η , экстраполирует их на весь спектр.

Основные формулы:

$$r_{rs}(\lambda) = R_{rs}(\lambda) / (0.52 + 1.7 R_{rs}(\lambda))$$

$$\eta = 2(1 - 1.2 \exp(-0.9 * (r_{rs}(443)) / (r_{rs}(\lambda_0))))$$

$$u(\lambda) = (-g_0 + \sqrt{g_0^2 + 4g_1 * r_{rs}(\lambda)}) / (2g_1)$$

где $g_0 = 0.089$, $g_1 = 0.1245$

$$b_{bp}(\lambda_0) = u(\lambda_0) * a(\lambda_0) / (1 - u(\lambda_0)) - b_{bw}(\lambda_0)$$

где b_{bw} - табличный коэффициент рассеивания назад света для чистой воды, $a(\lambda_0)$ - определяется эмпирически

$$b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(\lambda_0) * (\lambda / \lambda_0)^\eta$$

$$b_b(\lambda) = b_{bp}(\lambda) + b_{bw}(\lambda)$$

Аппроксимация параметра η

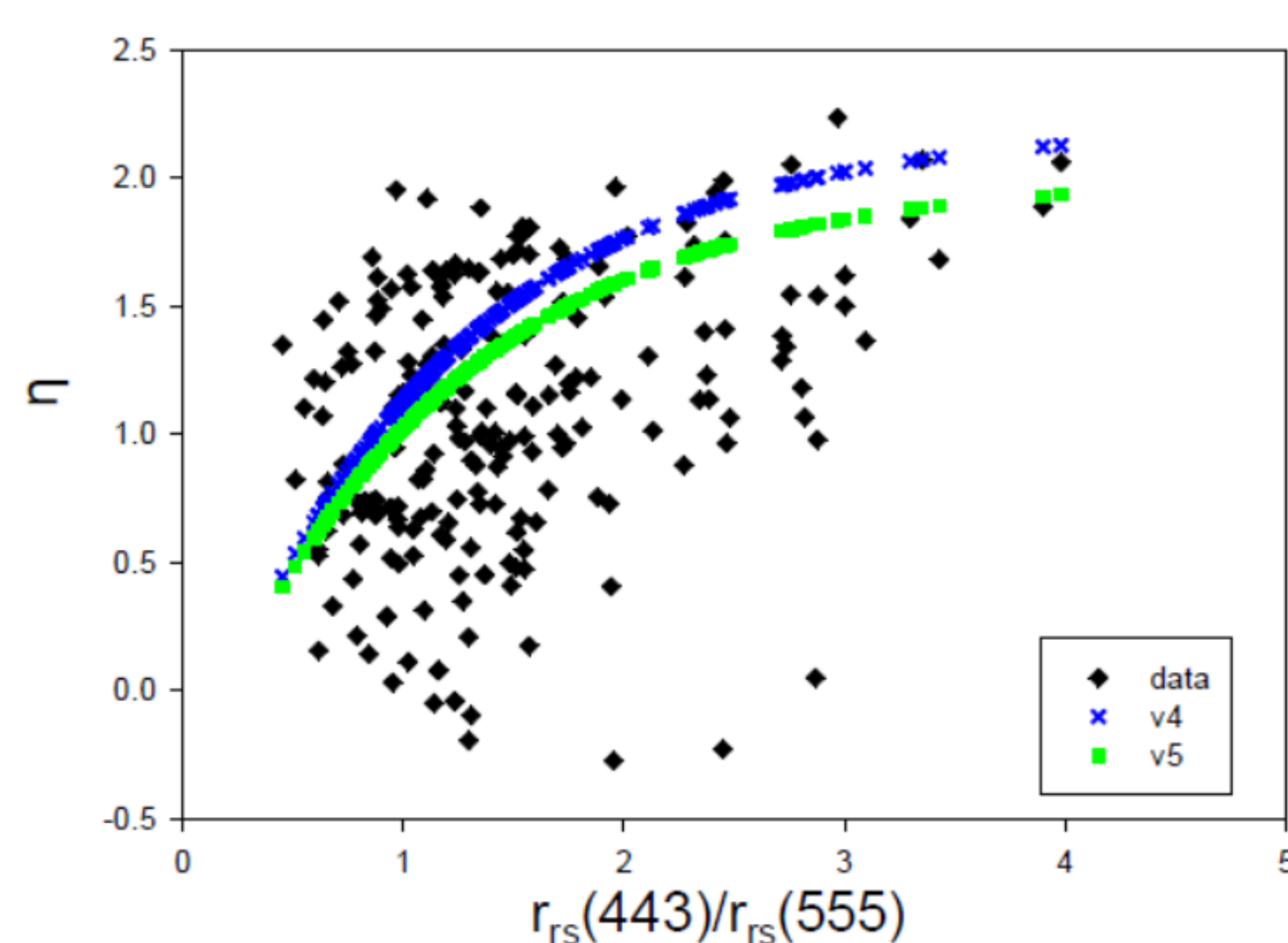
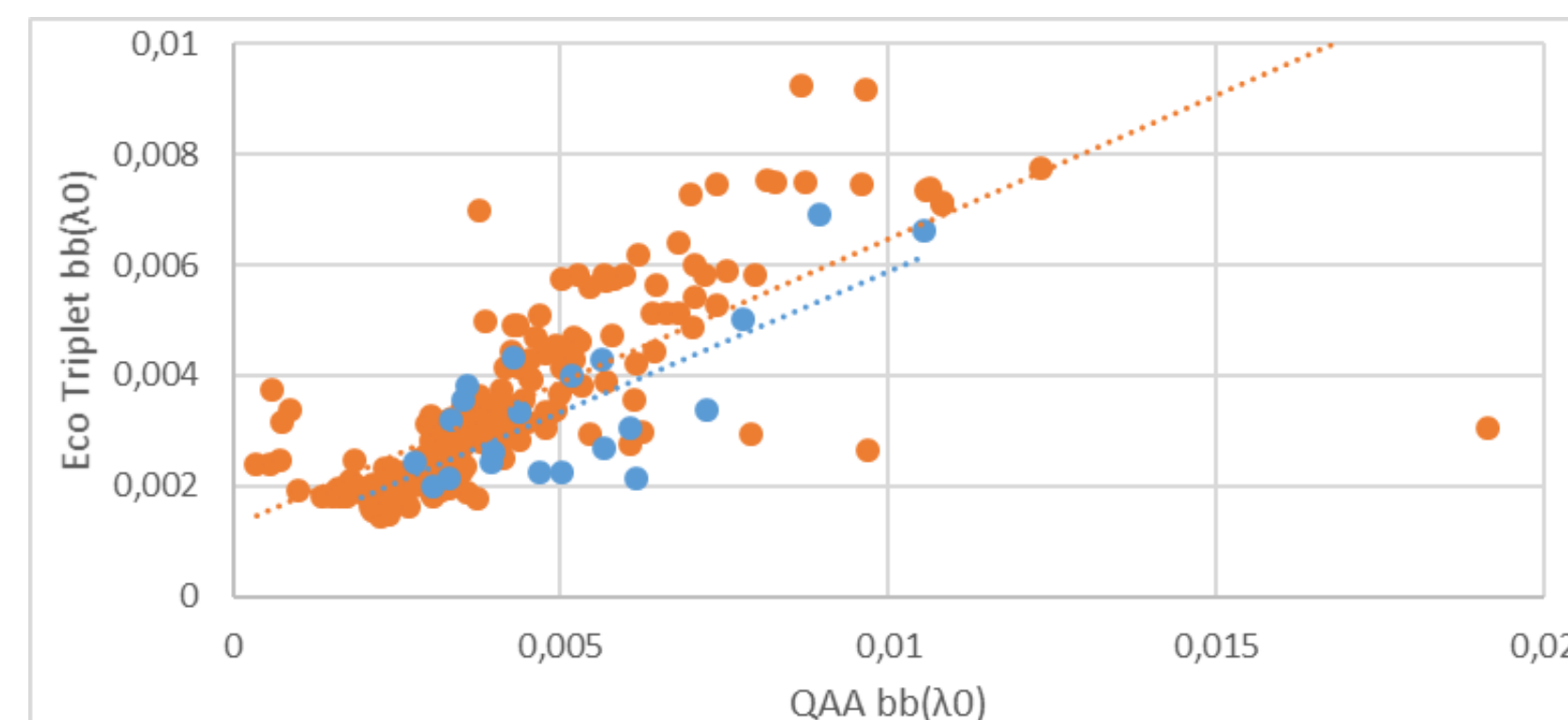


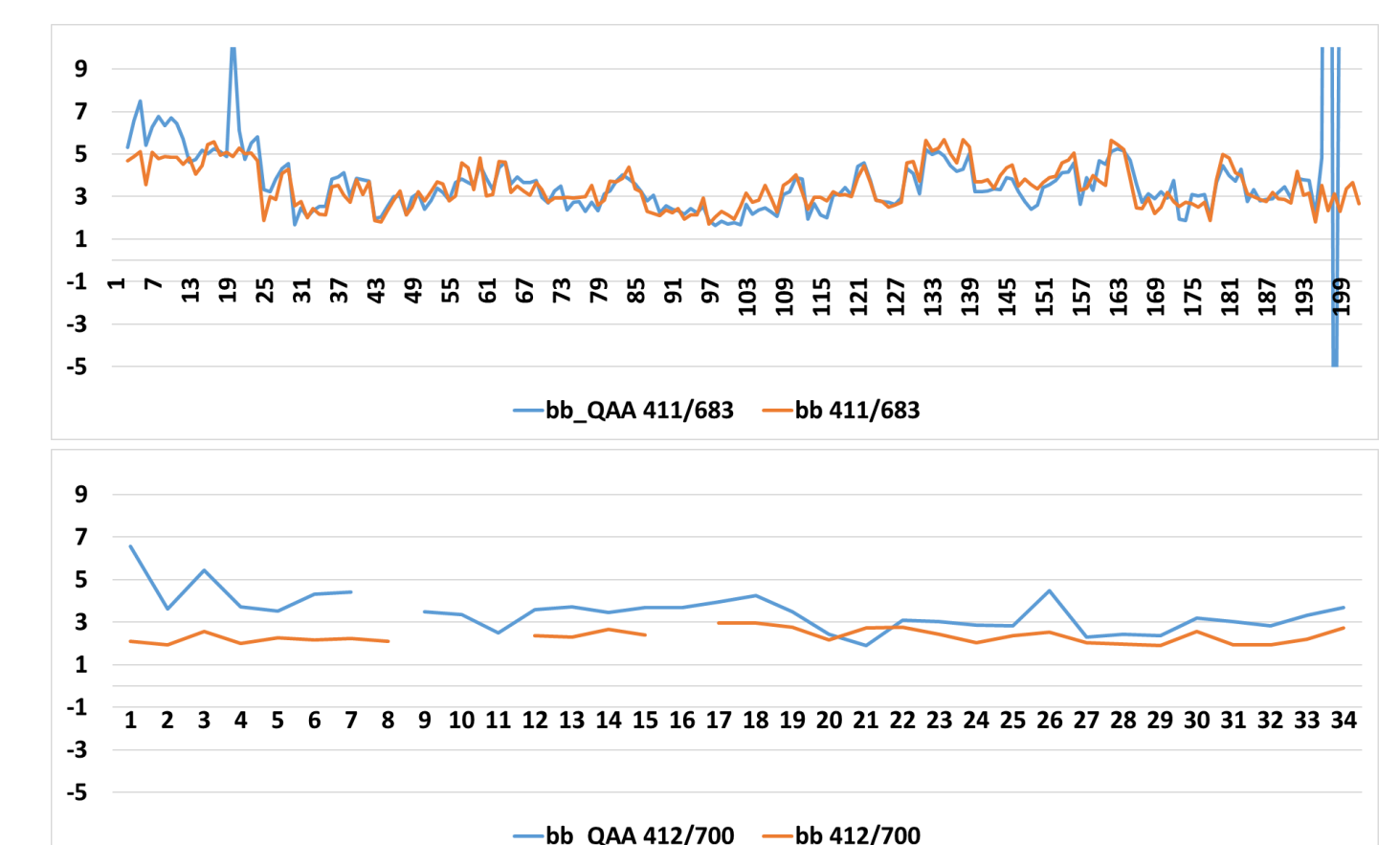
График аппроксимации параметра η из статьи Lee показывает. Очевидно, что η является слабой стороной алгоритма. Зелеными и синими точками помечены значения η в разных версиях QAA, черными точками *in situ* измеренные значения.

Параметр $b_b(\lambda_0)$



Сравнение параметра $b_b(\lambda_0)$, рассчитанного по QAA методу из измеренных спектро радиометром ASD коэффициентов Rrs и $b_b(\lambda_0)$, измеренного с помощью погружного скаттерометра WetLab ECO Triplet. Оранжевым цветом помечены данные NOMAD, синим измеренные в заливе Петра Великого. В обоих случаях наклон равен 1/2, смещение 0,001 и $R^2 = 0,56$.

Региональность квазианалитического алгоритма

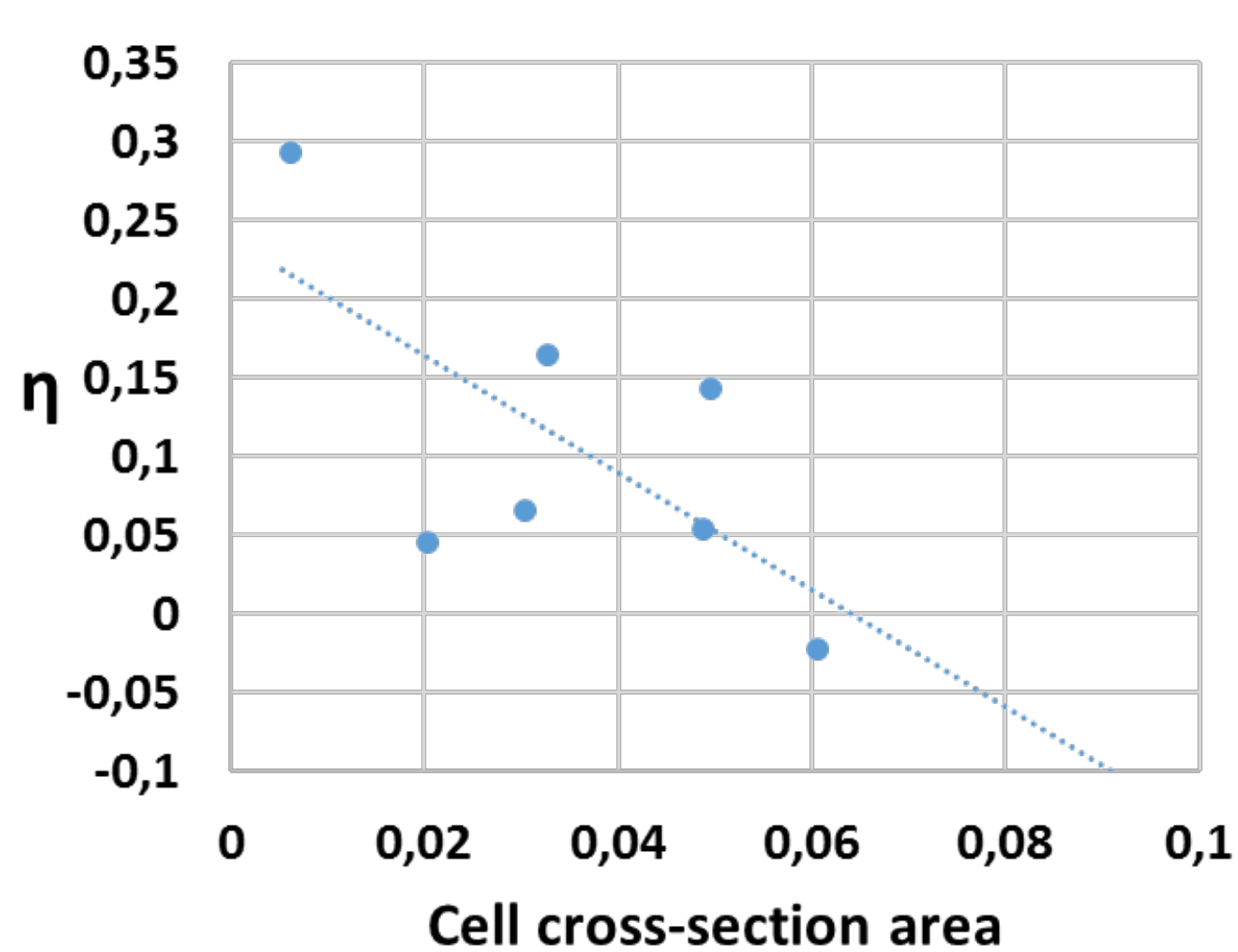


Графики демонстрируют отношения $bb(\lambda_1)/bb(\lambda_2)$ рассчитанные по QAA и по *in situ* данным. Верхний график - данные NOMAD, нижний - Японское море. Левая часть верхнего графика тоже относится к Японскому морю. Это говорит нам, что точность восстановления спектра $bb(\lambda)$ зависит от региона применения.

Определение характерного размера частиц по обратному рассеиванию

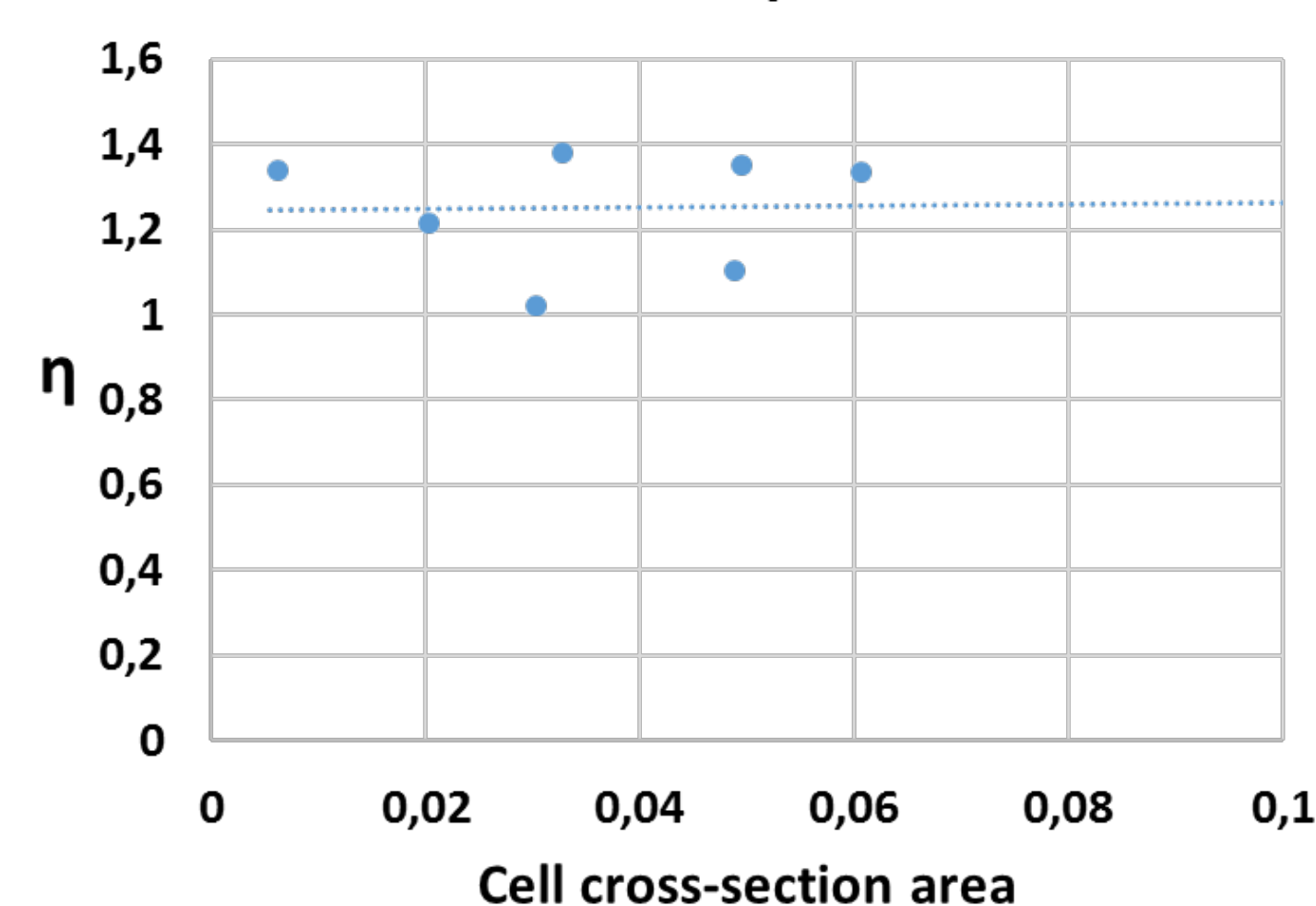
Для каждого встречающегося в пробах вида фитопланктона был рассчитан характерный размер сечения клетки $S = \pi(3*V/4*\pi)^{2/3}$, где $V = m/\rho$, $\rho = 1$, m - средняя масса клетки. На графиках отображена зависимость характерного размера клетки доминирующей микроводоросли и параметра η .

ECO Triplet data η



На первом графике параметр η восстановлен из *in situ* данных $bb(\lambda)$, полученных с помощью скаттерометра WetLab ECO Triplet. Наблюдается зависимость параметра η от среднего характерного размера клеток фитопланктона в пробе, хотя данных и не достаточно.

QAA η



На втором графике параметр η рассчитан по квазианалитическому алгоритму из измеренных спектро радиометром ASD коэффициентов Rrs . Очевидно погрешности алгоритма не позволяют использовать его для определения вида фитопланктона по данным дистанционного зондирования.

Заключение

1. Ошибки расчета Rrs по спутниковым данным в течение одного дня зависят от самой величины этого коэффициента. Ошибки вероятно связаны с выносом пылевого аэрозоля в Дальневосточном регионе. В результате этого, даже при верном расчете оптической толщины атмосферы ошибки NIR коррекции выше, чем в других регионах Земли.
2. Квазианалитический алгоритм определения bb показывает региональную зависимость и требует доработки.