



Деятнадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 15 - 19 ноября 2021 г. Москва, Институт космических исследований

Анализ биооптических характеристик субмезомасштабных вихрей, переносящих воды реки Туманной, по контактными и дистанционными данными гидрологических и гидрооптических измерений

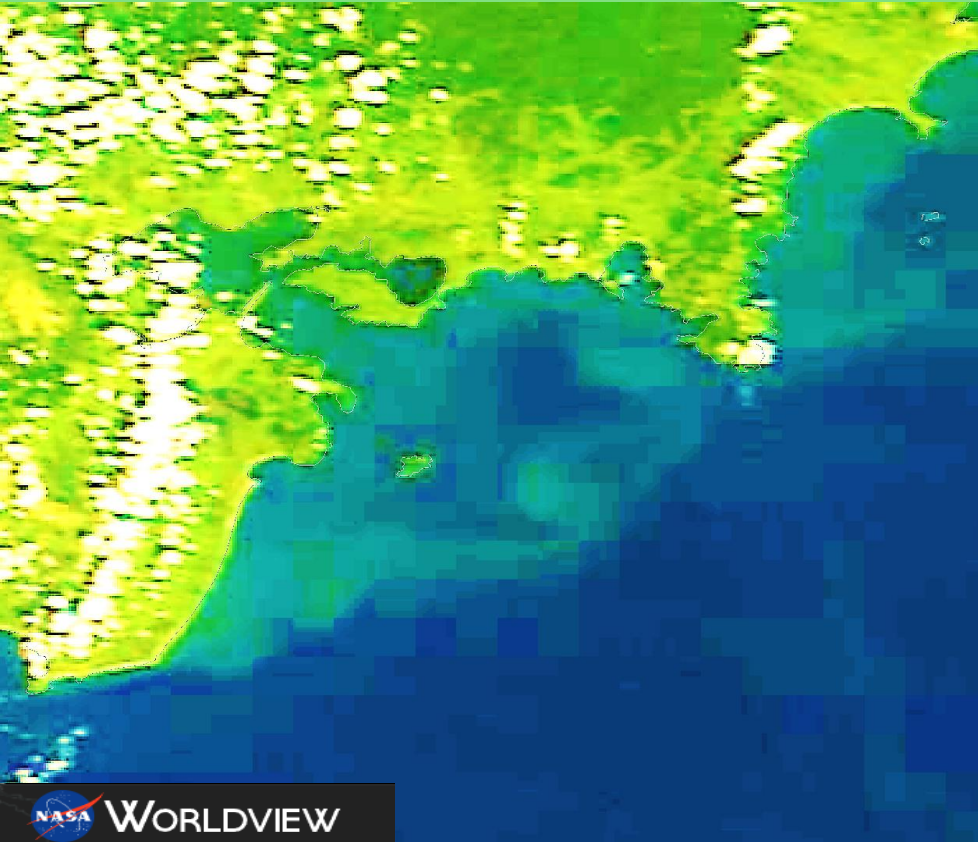
Липинская Надежда Александровна, Салюк Павел Анатольевич

Lipinskaya.na@poi.dvo.ru



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

## Субмезомасштабные вихри в юго-западной части Залива Петра Великого



Вихри малых масштабов достаточно сложны для исследования с помощью контактных измерений или с помощью спутниковых изображений низкого пространственного разрешения.

Субмезомасштабные (по классификации Монины — «мезомасштабные») вихри имеют:

- Небольшие горизонтальные размеры (от 100 м до 10 км ) и вертикальные – порядка 10 м;
- Нестационарность;
- Спонтанности появления;
- Малый цикл существования (от нескольких часов до нескольких суток).

Кроме этого, они не всегда проявляются на спутниковых изображениях видимого и ИК диапазона вследствие отсутствия значимых тепловых или оптических контрастов.

Переносимая с вихрями вода может оказывать существенное влияние на биопродуктивность соседних вод, а также перемешивание, вентиляцию и перенос веществ (в т.ч. загрязняющих).

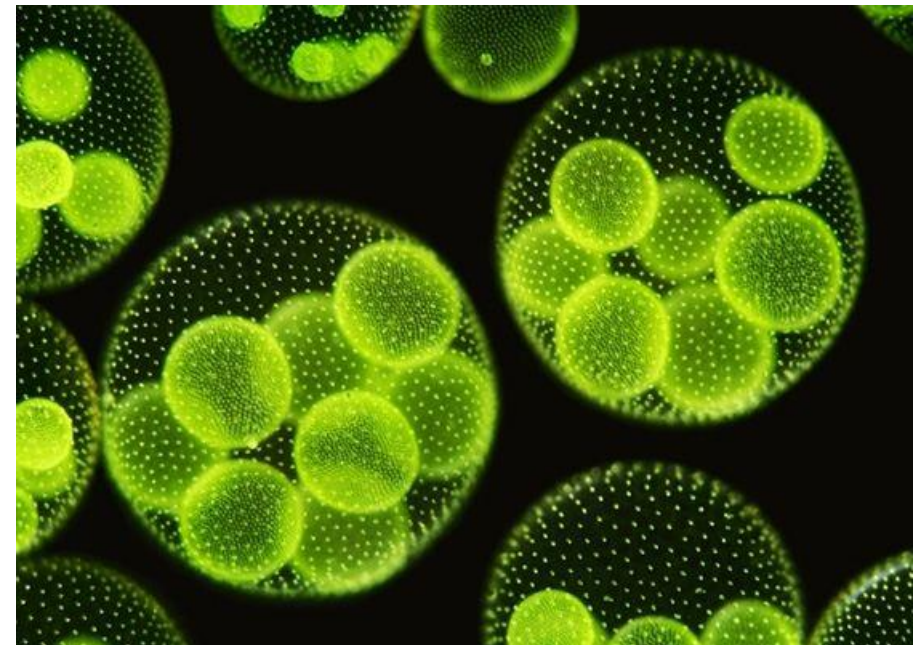
**Цель данной работы** – провести анализ субмезомасштабных вихрей, обнаруженных в южной части Залива Петра Великого в сентябре 2009 года в районе выхода в море р. Туманной, как процесса, оказывающего влияние на стратификацию оптически активных компонентов (ОАК) в верхнем слое моря и изменчивость цвета моря на основе контактных и дистанционных измерений

## **Задачи:**

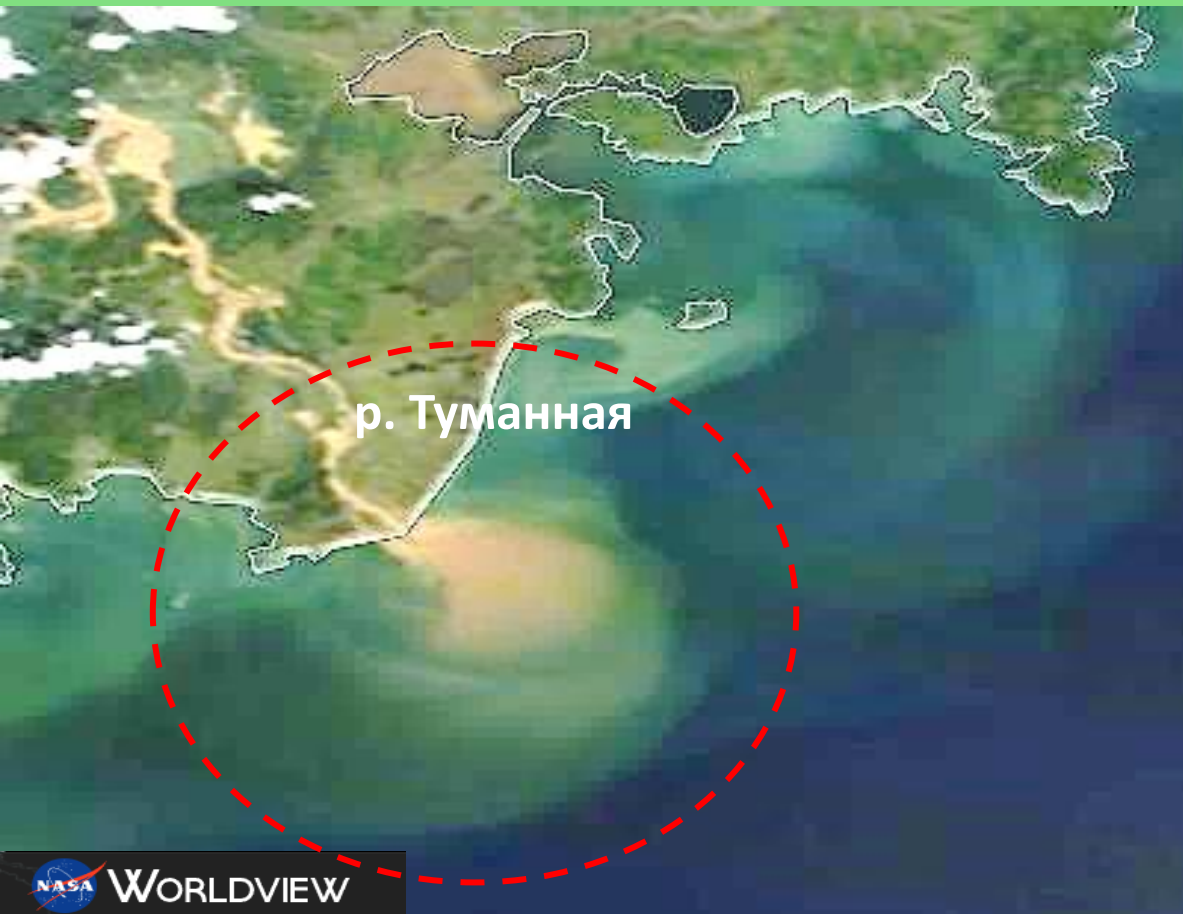
- Определить какие характеристики обеспечивают наилучший контраст для детектирования рассматриваемого субмезомасштабного вихря
- Оценить изменение гидрооптических характеристик по мере передвижения вихря в северо-восточном направлении

ОАК морской воды:

- фитопланктон,
- ОРОВ,
- взвешенные вещества



## Образование субмезомасштабных вихрей, захватывающих воды р. Туманная



Исследование воздействия вихря был выполнено по данным в районе р. Туманная.

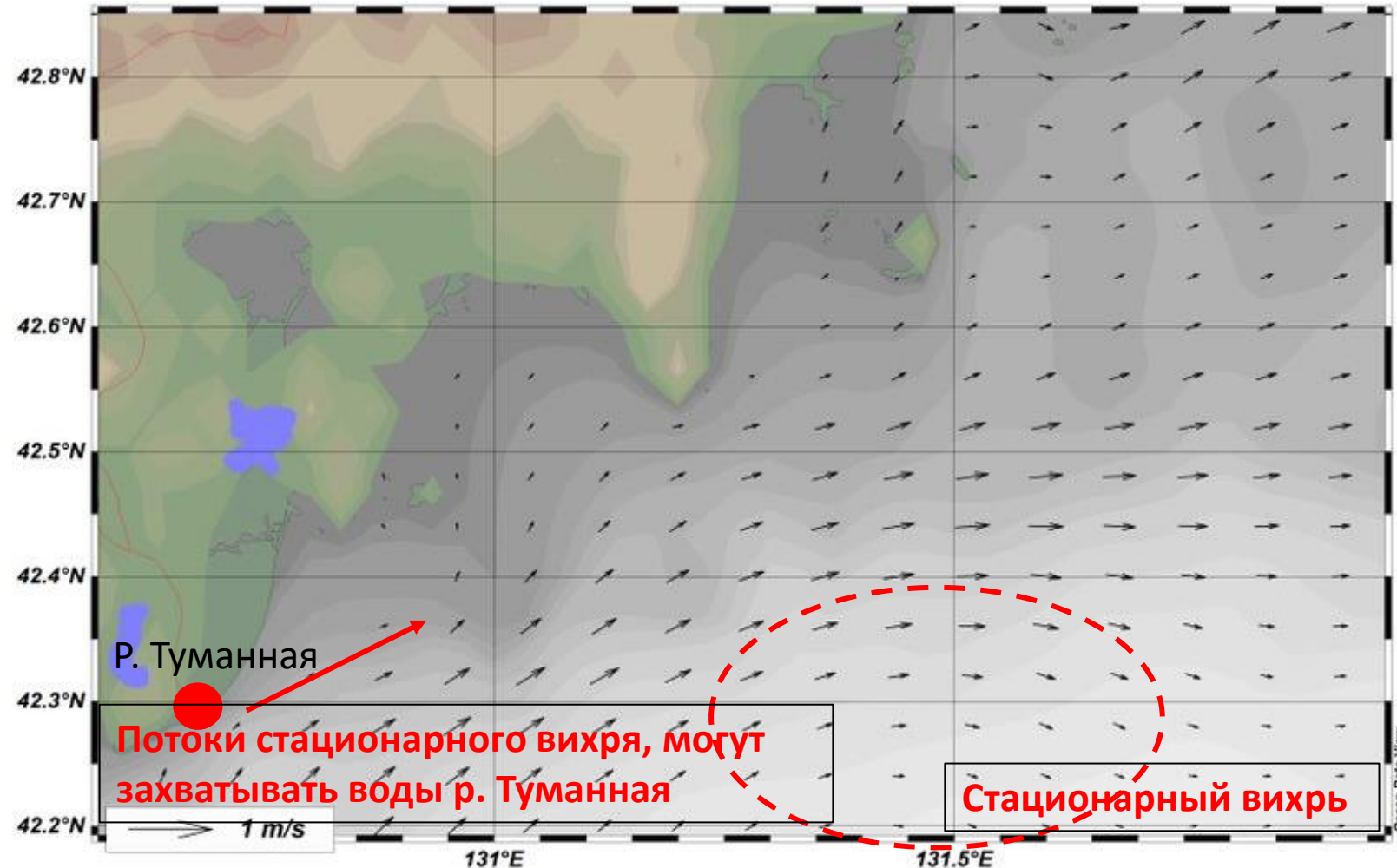
Туманная — река, на большей части течения пограничная между КНР и КНДР, в низовьях — между КНДР и Россией. При впадении в Японское море образует обширную заболоченную дельту с сетью солоноватых и пресных водоёмов, прилегающих к р. Туманная. Площадь водосбора р. Туманной составляет около 41 000 км<sup>2</sup> с объемом годового стока порядка 5,7 км<sup>3</sup>.

*Сток р. Туманной на спутниковом изображении в сентябре*

**В водном стоке р. Туманной отмечаются различные загрязняющие вещества, которые вместе с вихрями могут достигать побережья полуострова Гамова.**

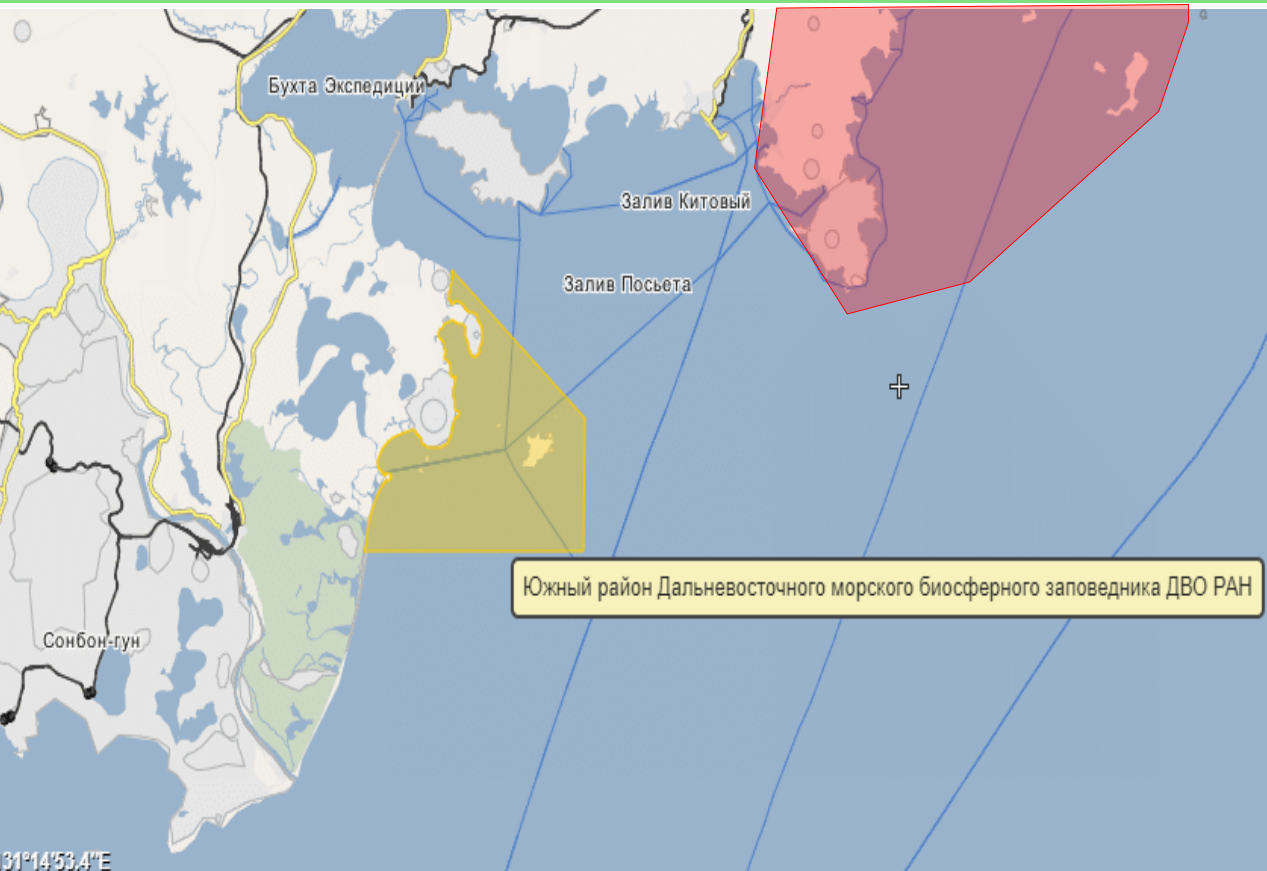
**Это обуславливает важность работы с экологической точки зрения и трансграничного переноса загрязняющих веществ**

# Образование субмезомасштабных вихрей, захватывающих воды р. Туманная



В водном стоке р. Туманной отмечаются различные загрязняющие вещества, которые вместе с вихрями могут достигать побережья полуострова Гамова.

Это обуславливает важность работы с экологической точки зрения и трансграничного переноса загрязняющих веществ



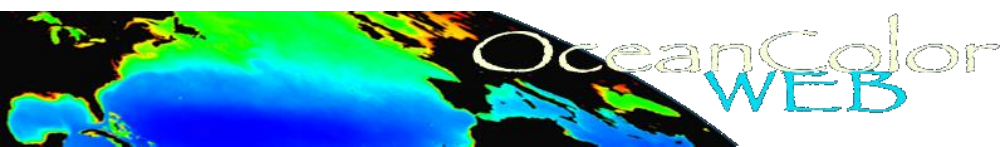
Единственный в России **Дальневосточный морской заповедник Витязь**.

Здесь активно проводится описание морских и наземных сообществ района, как эталона (фонового состояния) нынешнего состояния биоты. Эта работа чрезвычайно важна для всего залива Петра Великого, так как усиливающаяся индустриализация бассейна реки Туманной (самой полноводной реки, впадающей в залив Петра Великого) и ее растущее загрязнение, опасно не только для заповедника, но и для всех промысловых и марикультурных участков залива.

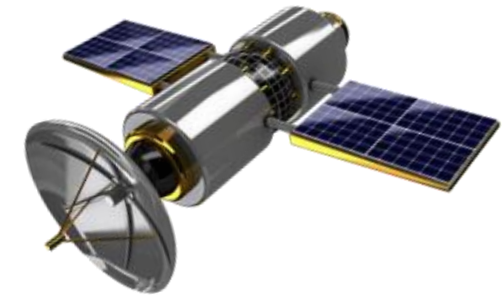
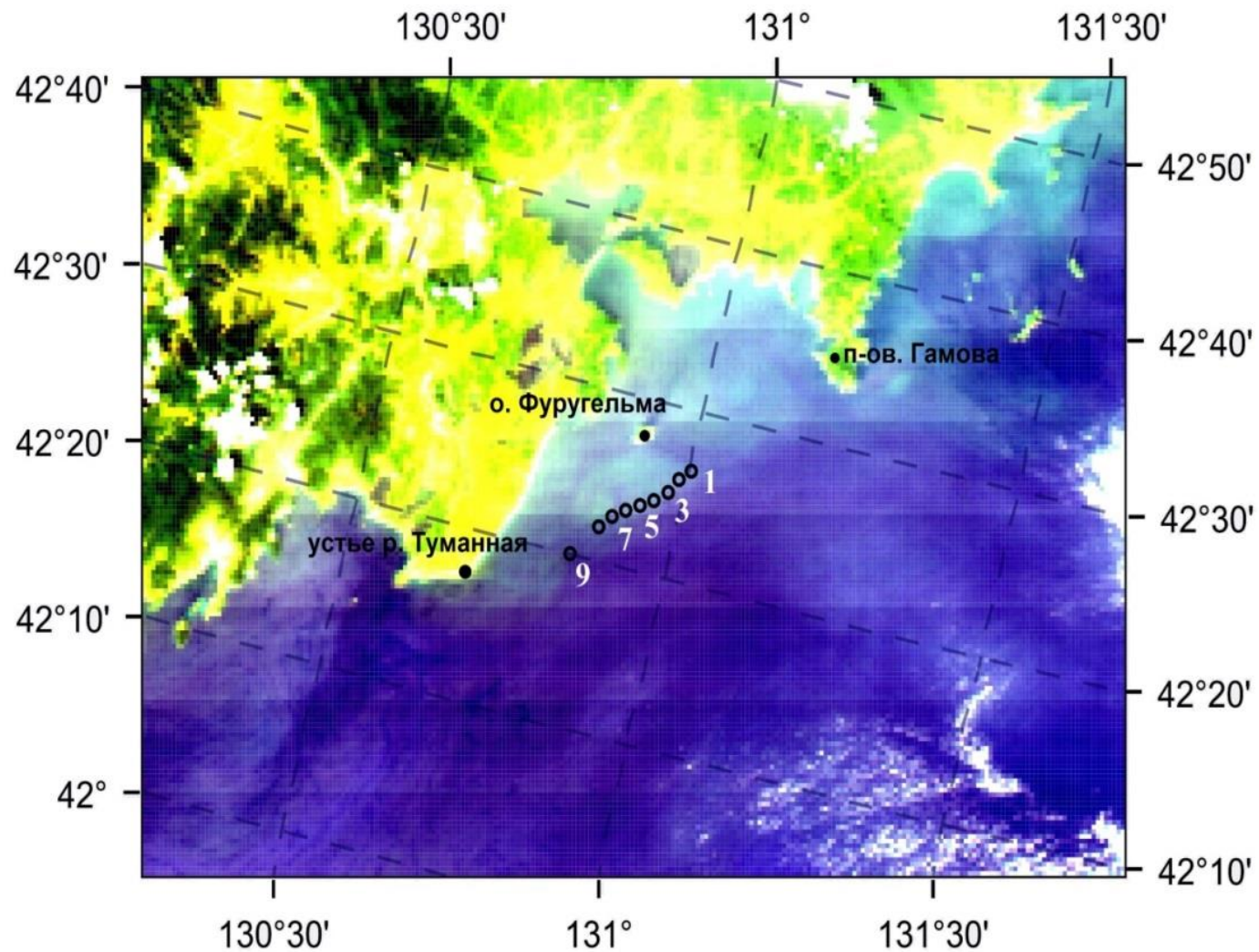
Южный район Дальневосточного морского биосферного заповедника ДВО РАН (желтым)  
Восточный район Дальневосточного морского биосферного заповедника ДВО РАН, (расположен в непосредственной близости от б. Витязь и охватывает несколько бухт п-о Гамова) (красным)

В связи с индустриализацией района в 1995 году, был разработан проект “Туманган -TREDA”, предусматривающим строительство в 20 км от южной границы заповедника, недалеко от устья р. Туманная крупного международного порта и транспортного узла - потенциального мощного источника загрязнения российских вод.

- Судовые CTD измерения гидрологических и гидрооптических профилей, полученных с использованием профилографа SBE-19plus в бухте Витязь и районе р. Туманной август-сентябрь 2009 г.
- Данные с проточной системы (термосолинограф SBE-45 и проточный лазерный флуориметр)
- Дистанционные измерения спектров коэффициентов яркости моря ( $Rrs$ ) с борта судна с помощью ручного гиперспектрального радиометра ASD FieldSpec Hand Held по методике из протоколов NASA
- Спутниковые данные 2 уровня среднего пространственного разрешения спектрорадиометров MODIS – Terra/Aqua, Meris-ENVISAT-1 (размер пикселя 250-1000 метров) в полях температуры поверхности моря, концентрации хл-а и синтезированные RGB изображения.



# Исследование перемещения субмезомасштабных вихрей с водами р. Туманная

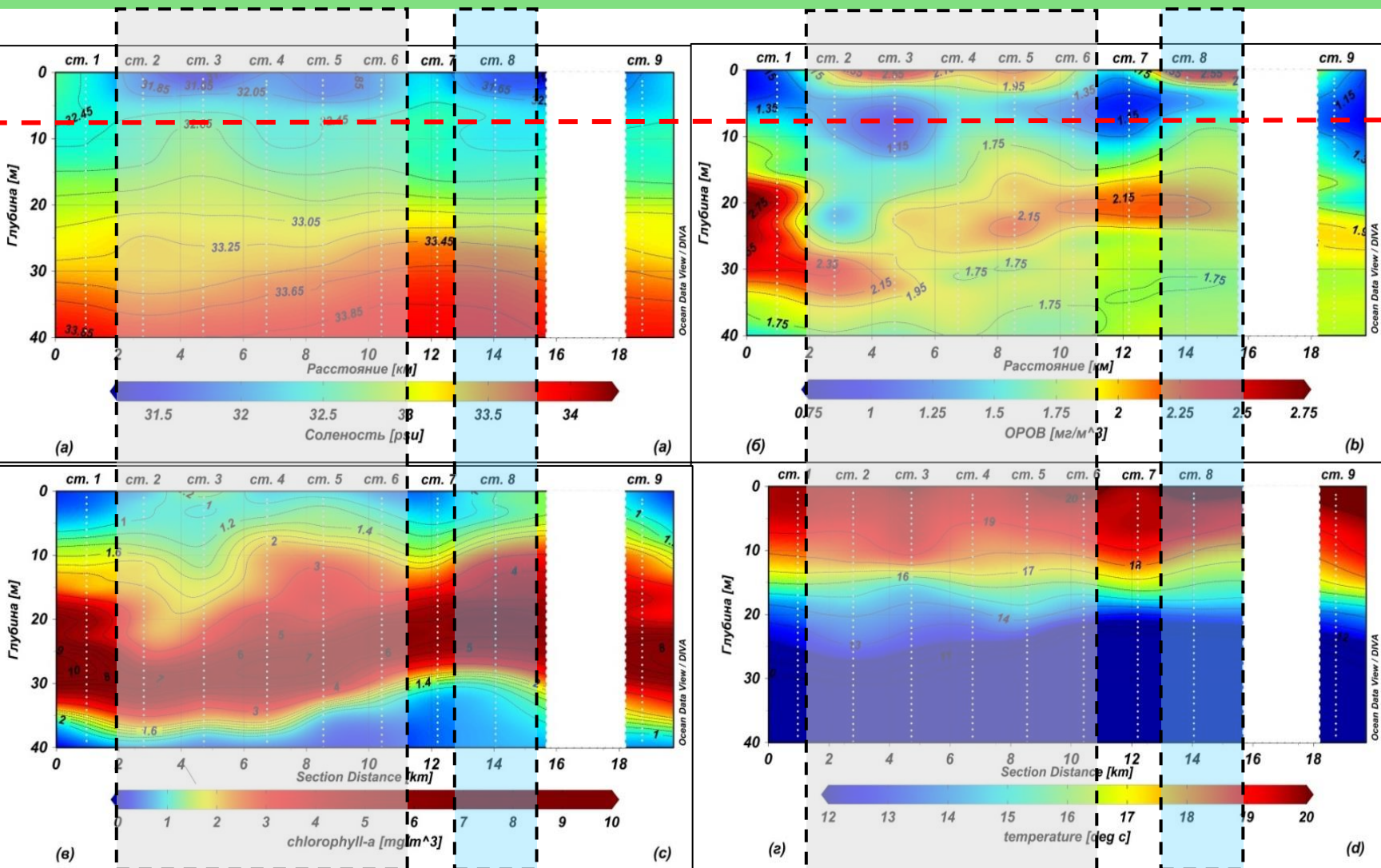


Анализируемый вихрь перемещался в составе цепочки аналогичных вихрей, которые распространялись в северо-восточном направлении от дельты р. Туманной в период с 30 августа по 6 сентября 2009. Вихри увеличивались в диаметре с 3 до 8–10 км и смещались вдоль юго-западного побережья залива.

*Спутниковое RGB изображение с коррекцией цветовых уровней со сканера MODIS-Aqua 04.09.2009 (04:15 UTC и 15:15 местного времени) с местоположением судовых станций (с 12:12 по 15:01 по местному времени).*



# Анализ гидрологических и биооптических характеристик в субмезомасштабных вихрях



Первая группа станций:

Ст. 2, 3, 4, 5, 6, 8

Вторая группа станций:

Ст. 1, 7, 9

Под вихрем на глубинах в диапазоне 20-30 метров на пикноклине наблюдаются высокие концентрации хл-а, что типично для данного района в этот сезон.

Вода хорошо прогрета, за счет этого, в осенний сезон в полях температуры могут не проявляться, а следовательно и на ИК изображениях.

Глубинные профили: соленость (а), концентрация ОРОВ (б), концентрация хл-а (в), температура (г)

Станция 1 - до прохождения вихря

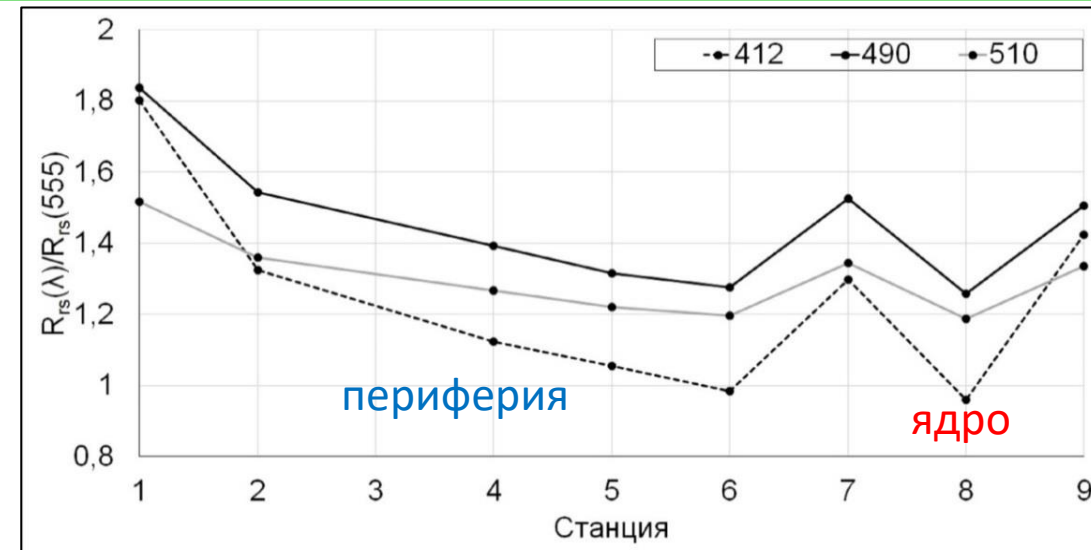
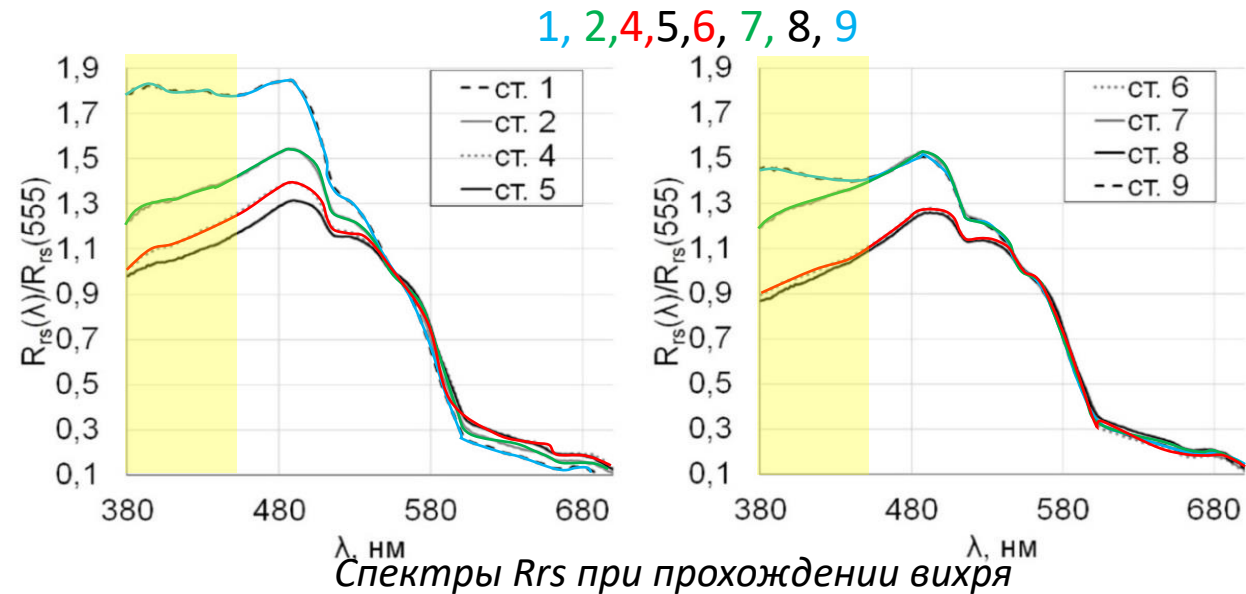
Станции 2, 4, 5, 6 – в струе на периферии вихря

Станция 7 – между периферией и ядром вихря

Станция 8 – ближайшая к ядру вихря

9 – после вихря по ходу движения судна

# Анализ гидрооптических характеристик в субмезомасштабных вихрях

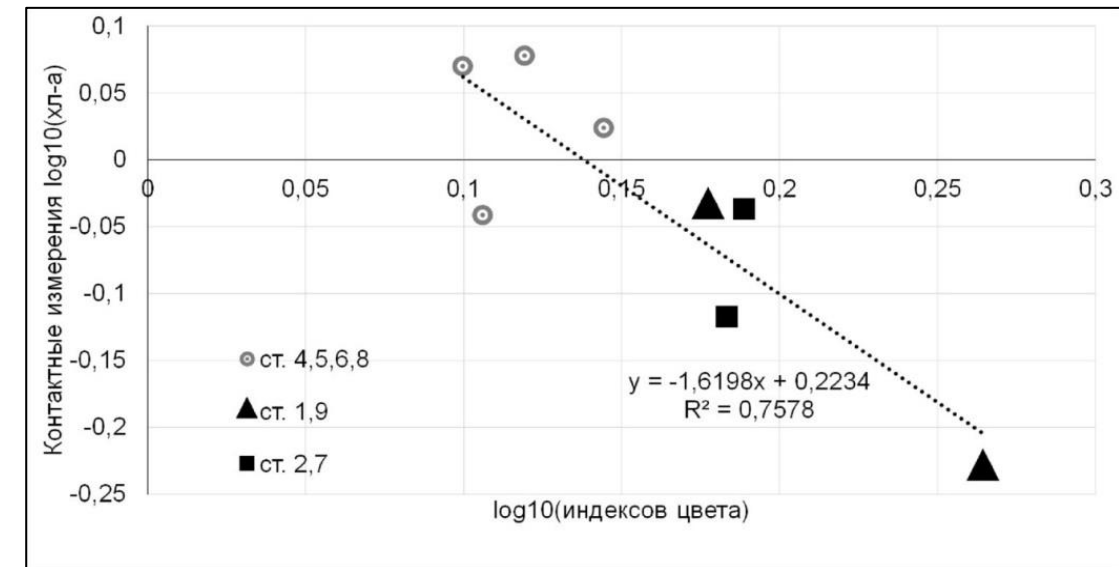


Изменчивость индексов цвета на станциях

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,7578$  показывает, что данные имеют значимую статистическую связь как внутри вихря, так и вне его

Из полученной зависимости были восстановлены концентрации хл-а из дистанционных измерений по следующей формуле (OC2-подобный алгоритм):

$$C_{cr} = 10^{(-1.6198 \times \log_{10}(R_{rs}(490)/R_{rs}(555)) + 0.2234)}$$



Сравнение десятичных логарифмов индексов цвета и концентраций хл-а по CTD измерениям

# Значение контактных и дистанционных измерений исследуемых параметров в субмезомасштабных вихрях

параметр	номер станции								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
In-situ соленость [εps]	0.46%	-1.21%	-2.46%	-1.02%	-1.59%	-0.74%	0.05%	-2.32%	-0.51%
In-situ конц. ОРОВ [мг/м <sup>3</sup> ]	-6.45%	32.33%	42.56%	40.17%	50.24%	24.97%	-0.13%	44.32%	6.58%
In-situ конц. хл-а [мг/м <sup>3</sup> ]	-22.49%	21.56%	37.96%	39.81%	58.33%	20.37%	0.93%	55.29%	21.56%
In-situ темп. воды [град. С]	-0.64%	-0.96%	0.28%	-1.84%	-0.40%	1.37%	-1.39%	1.92%	2.03%
Дист. R412	19.36%	-12.13%		-25.55%	-30.04%	-34.56%	-13.93%	-36.19%	-5.43%
Дист. R490	13.28%	-4.91%		-14.07%	-18.88%	-21.45%	-5.99%	-22.53%	-7.28%
Дист. R510	8.53%	-2.82%		-9.52%	-12.79%	-14.58%	-3.94%	-15.17%	-4.60%
Дист. конц. хл-а [мг/м <sup>3</sup> ]	-19.75%	6.53%		25.72%	38.09%	45.17%	8.72%	48.52%	11.03%

В таблице приведена часть сводной информации по значениям контактных и дистанционных измерений гидрооптических, гидробиологических и гидрологических характеристик

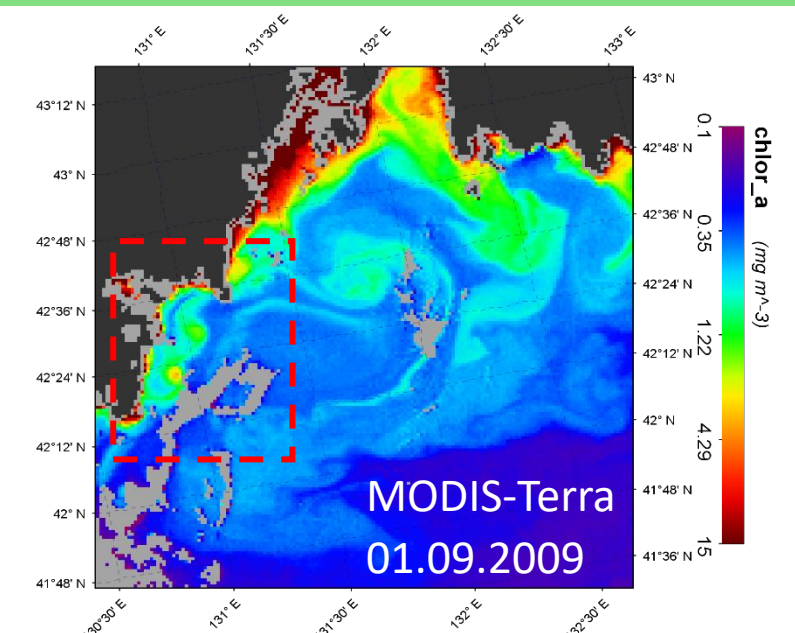
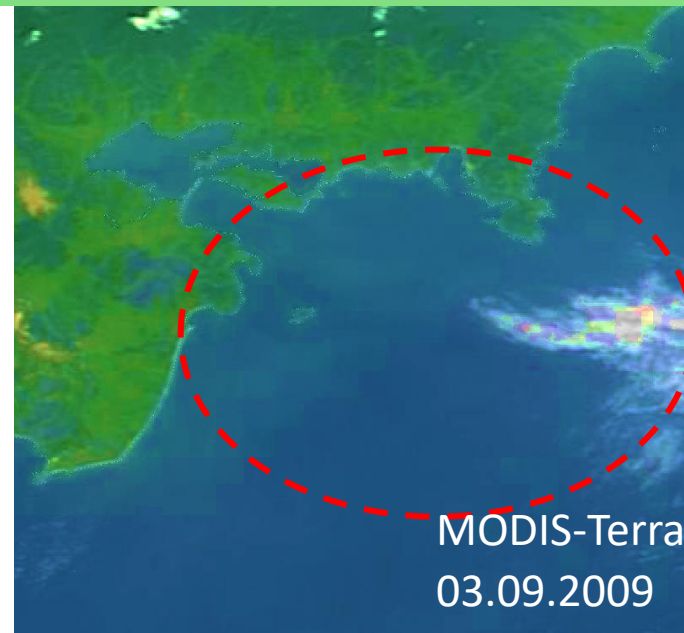
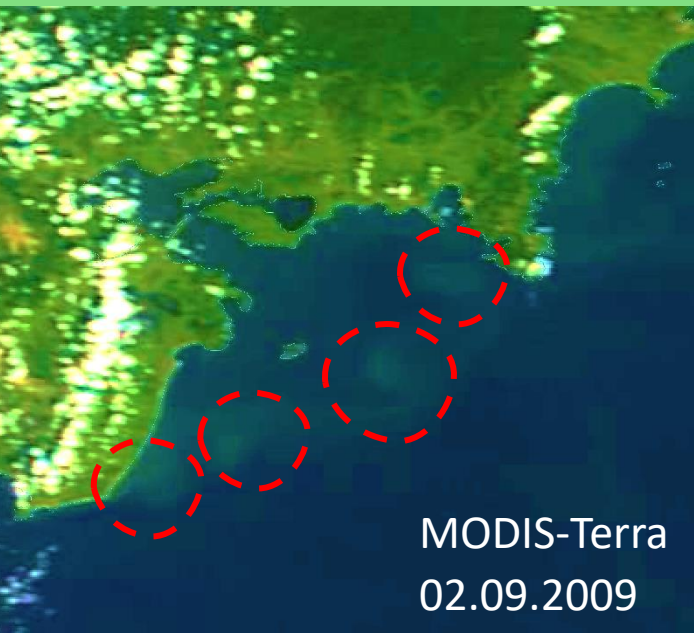
Наибольший контраст для дистанционного обнаружения вихря достигается на длине волны – 412 нм

Также, контраст проявления вихря заметен в дистанционных определениях концентрации хл-а

*Для всех параметров посчитано среднее значение для станций 1,7,9 (фон) и аномалии в процентах ( $\delta$ ) относительно данного среднего.*

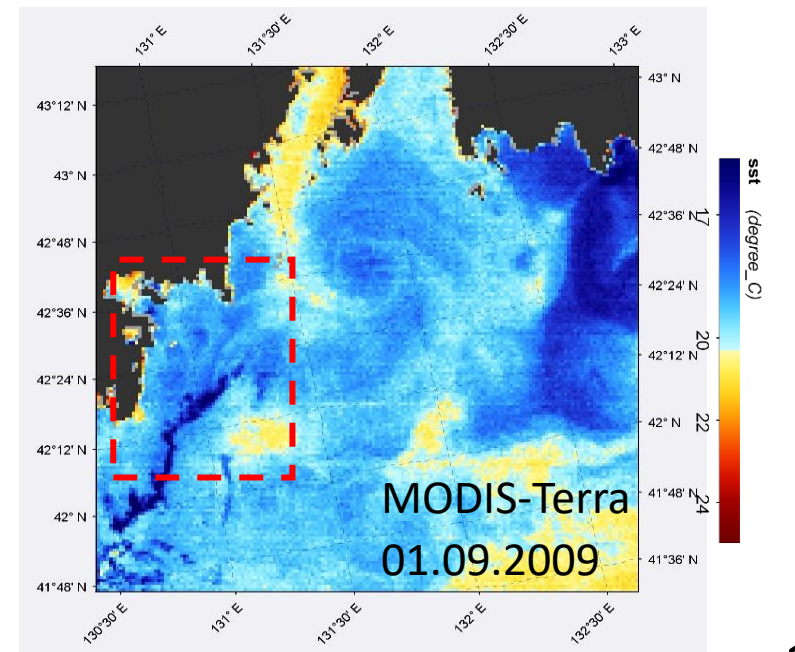
\*Для контактных определений приведены средние значения в верхнем 5 метровом слое.

# Проявления субмезомасштабных вихрей в ИК и видимом диапазоне

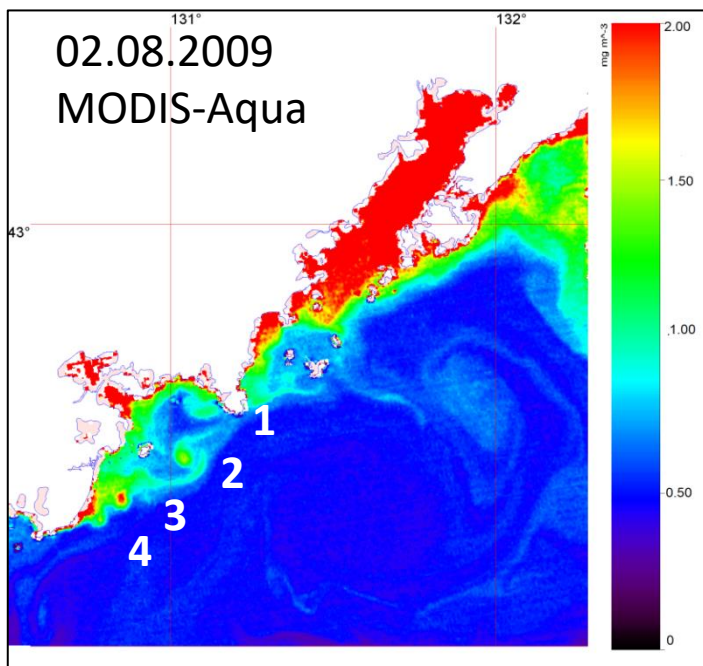
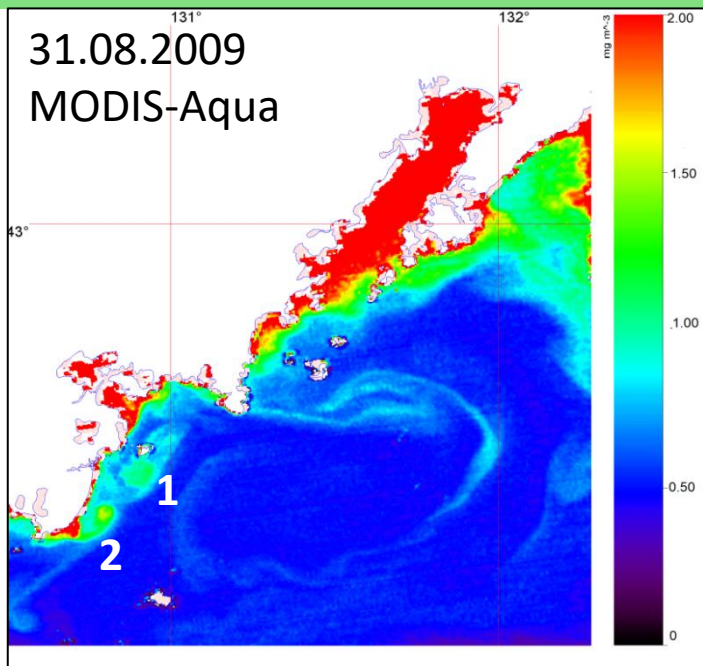


Наличие дымки, может сказываться на проявлении вихрей на спутниковых изображениях видимого диапазона

Проявления на спутниковых изображениях видимого диапазона вследствие отсутствия значимых тепловых и оптических контрастов отсутствует



# Анализ биооптических характеристик в субмезомасштабных вихрях



	Среднее в вихре			Среднее вне вихря (фон)		
	MODIS Aqua					
Вихрь №	Chl					
	31.08.2009	01.09.2009	02.09.2009	31.08.2009	01.09.2009	02.09.2009
	4:40	3:45	4:25	4:40	3:45	4:25
1	1,79	1,25	0,65	0,47	0,34	0,46
2	2,51	1,46	0,85	0,45	0,34	43
3	0	1,46	1,11	0	0,34	0,44
4	0	0	1,3	0	0	1

Так как дистанционно определенная концентрация хл-а понизилась, следует вывод, что в вихре происходит водообмен с окружающими водами по мере передвижения вихря

[АНАЛИЗ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЯХ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО С ПОМОЩЬЮ ОДНОВРЕМЕННЫХ IN-SITU И ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ](#)

Липинская Н.А., Салюк П.А.

[Фундаментальная и прикладная гидрофизика](#). 2021. Т. 14. № 3. С. 111-121.

- Наиболее контрастными характеристиками в контактных измерениях для детектирования рассматриваемого субмезомасштабного вихря были соленость и концентрация ОРОВ;
- За счет повышенного содержания ОРОВ, в дистанционных данных наибольший контраст вихря достигается на длине волны – 412 нм;
- Рассмотренные вихри детектируются в дистанционных определениях концентрации хл-а и не заметны в температуре поверхности моря;
- Понижение дистанционно определенной концентрация хл-а и увеличение площадей вихрей по мере их передвижения говорит о том, что происходит водообмен с окружающими водами

# Спасибо за внимание



б. Витязь

Исследование влияния субмезомасштабного вихря на стратификацию оптически активных компонентов выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90105

[Lipinskaya.na@poi.dvo.ru](mailto:Lipinskaya.na@poi.dvo.ru)