

# Подспутниковые дрейфтерные эксперименты по изучению прибрежных течений

Лаврова О.Ю. (1), Назирова К.Р. (1), Краюшкин Е.В. (1),  
Строчков А.Я. (1), Соловьев Д.М. (2), Алферьева Я.О. (3)

*(1) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

*(2) Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*(3) МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет*

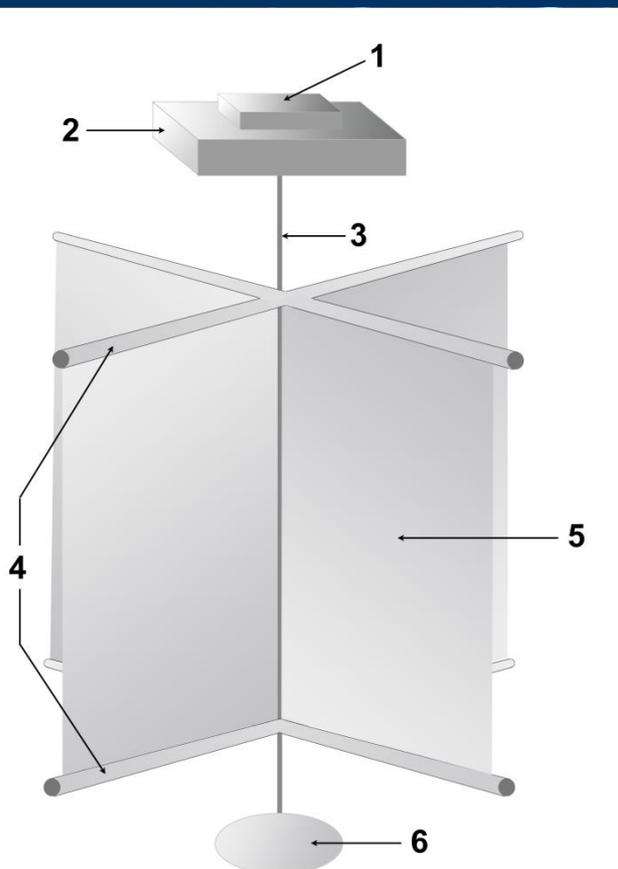
**[olavrova@iki.rssi.ru](mailto:olavrova@iki.rssi.ru)**



# Мотивация

- Задача исследования гидродинамических процессов в поверхностном слое моря на настоящий момент представляет собой одну из наиболее актуальных проблем современной океанологии.
- Сложность изучения поверхностных гидродинамических процессов, в первую очередь, определяется высокой степенью изменчивости поля среды во времени и по пространству и ограниченностью локализации большинства процессов по глубине.
- Для решения задачи изучения поверхностных гидродинамических процессов в морях используют : данные численного математического моделирования; данные дистанционного спутникового зондирования Земли; результаты натуральных измерений.
- Натурные измерения течений в последние годы выполняются с помощью ADCP.
- Недостатки измерений с помощью ADCP – ограничения по максимальной глубине дна и выбором линии разреза (пройденным путем буксирующего судна). Удачно ли выбрана линия разреза, выясняется только после окончания измерений.
- По спутниковым данным скорость и направление течения можно определить по серии изображений, полученных с небольшим интервалом времени.

# Конструкция мини-дрифтеров

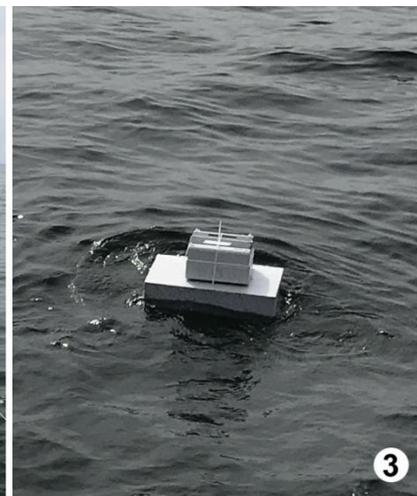
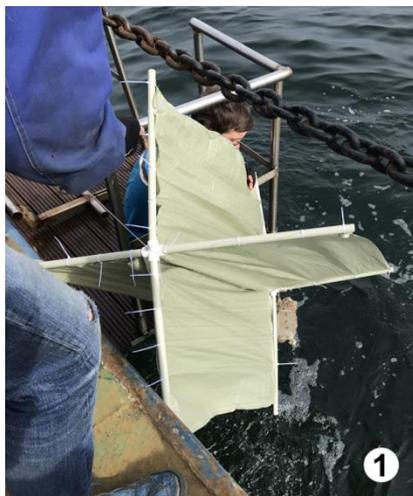


Принципиальная схема конструкции мини-дрифтера: 1 – водонепроницаемый бокс с трекером; 2 – поплавок; 3 – трос; 4 – каркас паруса; 5 – парус; 6 – груз

Запуск мини-дрифтера: 1 – спуск паруса под воду; 2 – спуск поплавка с приемо-передаточным устройством; 3 – дрифтер на воде



Трекер Собан ТК 103-2: 1 – корпус устройства; 2 – внешняя GPS-антенна; 3 – внешняя GSM -антенна; 4 – внешний источник питания



# Преимущества и недостатки лагранжевых мини-дрифтеров

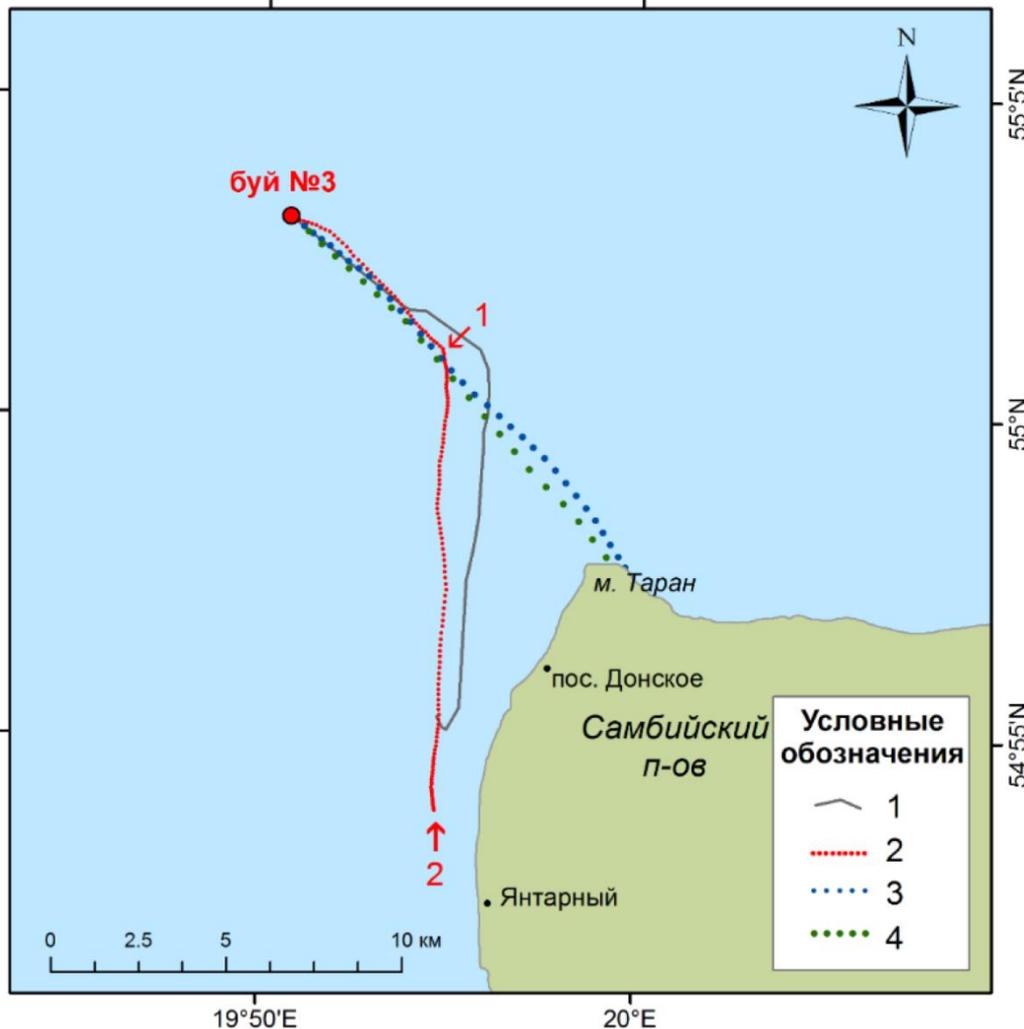
## Преимущества

- Подводный парус дрифтера можно размещать на разных глубинах для оценки влияния различных слоев морской толщи на перемещение дрифтера. ADCP не позволяет измерять параметры потока в самом верхнем слое из-за наличия мертвой зоны переотражения сигнала от морской поверхности. Для нашей модели ADCP это 2-4 м.
- В отличие от ADCP, у которого направление течения не определяется, если скорости течения меньше 5 см/с, для мини-дрифтеров нет ограничения на скорость течения.
- Получение данных о течениях в реальном времени.
- Способность находиться в поле потока длительное время, повторяя в своем движении все особенности гидродинамического поля в пространстве и времени.
- Визуализация инерционных колебаний.
- Невысокая стоимость и простота в эксплуатации в морских экспедиционных условиях.

## Недостатки

- Дешевые (не спутниковые) мини-дрифтеры зависят от зоны покрытия сотовой связью. Обычно дальность связи составляет 30 км.
- Зависимость от элементов питания. Обычно питания хватает не больше, чем на 2 недели.
- Мини-дрифтер невозможно запустить непосредственно с берега, он может свободно перемещаться только над глубиной, большей длины троса с парусом.

# Сравнение траектории дрейтера с результатами моделирования



Модельные траектории дрейфа плавучего объекта (Seatrack Web SMNI) от точки запуска буйа с дискретностью 15 мин и наблюдаемая траектория перемещения буйа

1 – наблюдаемая траектория перемещения дрейтера;

2-4 – модельные траектории дрейфа плавучего объекта с ветровым фактором 0 %, 5 % и 10 % соответственно

**Вывод: дрейтер перемещается главным образом под действием гидродинамических процессов и дрейфовых течений, прямого влияния ветра на дрейф не наблюдается**

# Задачи нашего исследования

- **Определение скорости и направления прибрежного течения, которое играет важную роль в распространении речных вод в море, различных типов загрязнений и пр.;**
- **валидация спутниковых данных;**
- **валидация численных моделей;**
- **выявление зон экологического риска.**

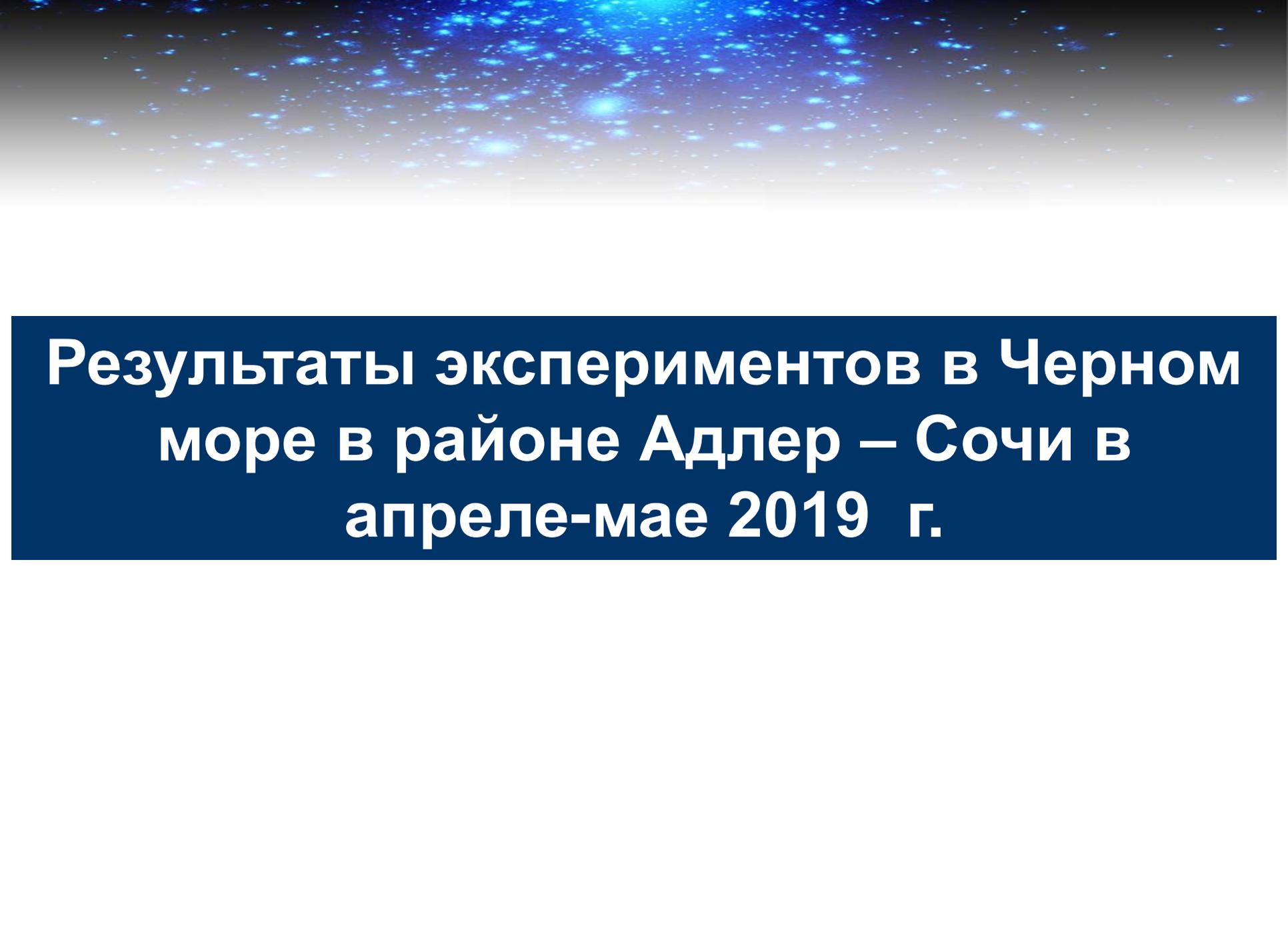
# Районы наших экспериментов



Наши эксперименты с мини-дрифтерами мы проводим, начиная с 2015 г., в следующих районах:

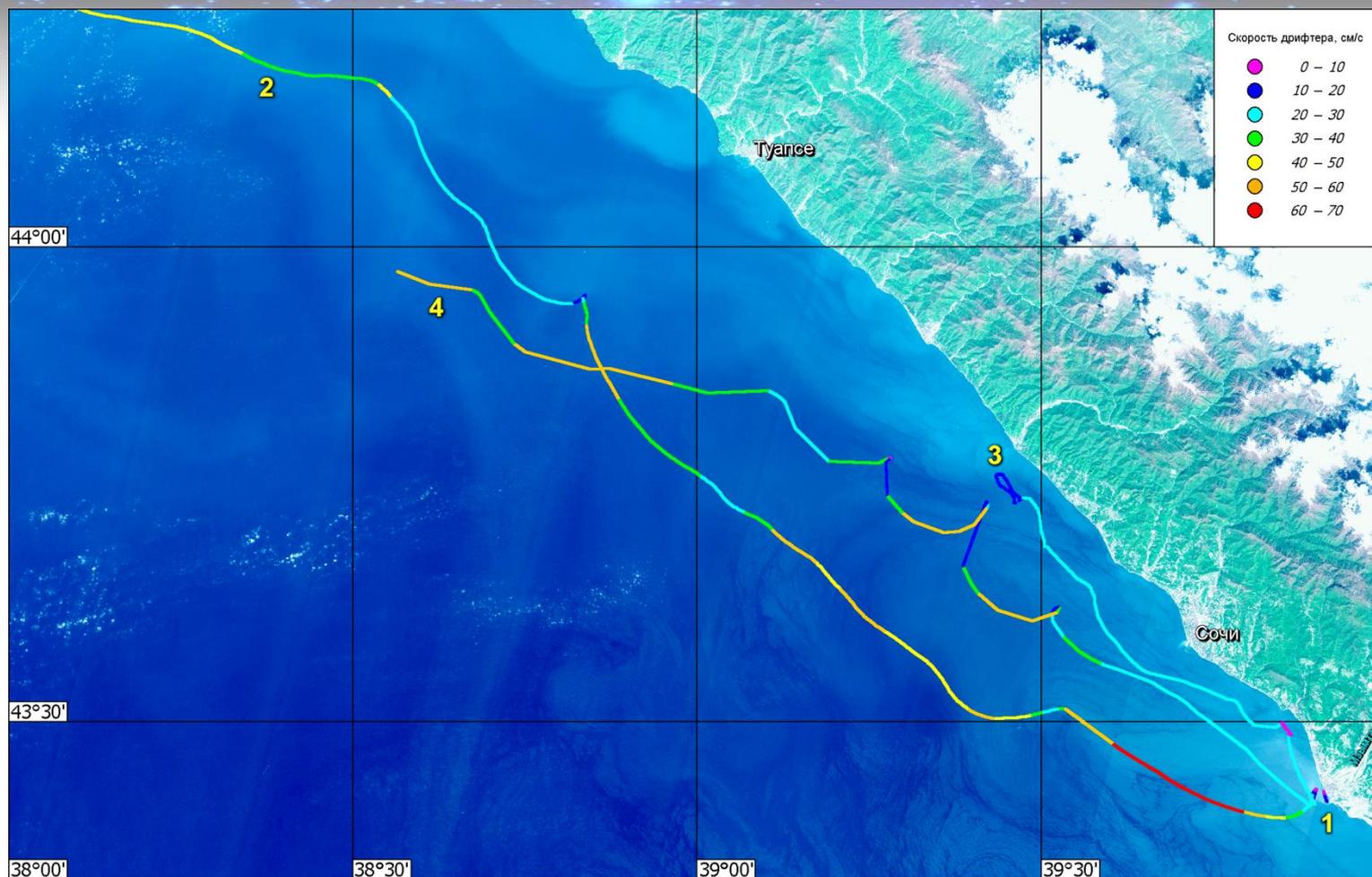
- в юго-восточной части Балтийского моря в районе Самбийского полуострова (2015 – 2019 гг.)
- в юго-восточной части Азовского моря в приустьевой зоне р. Кубань (2018-2019 гг.)
- в северо-восточной части Черного моря (2015, 2018 - 2019 гг.)





**Результаты экспериментов в Черном  
море в районе Адлер – Сочи в  
апреле-мае 2019 г.**

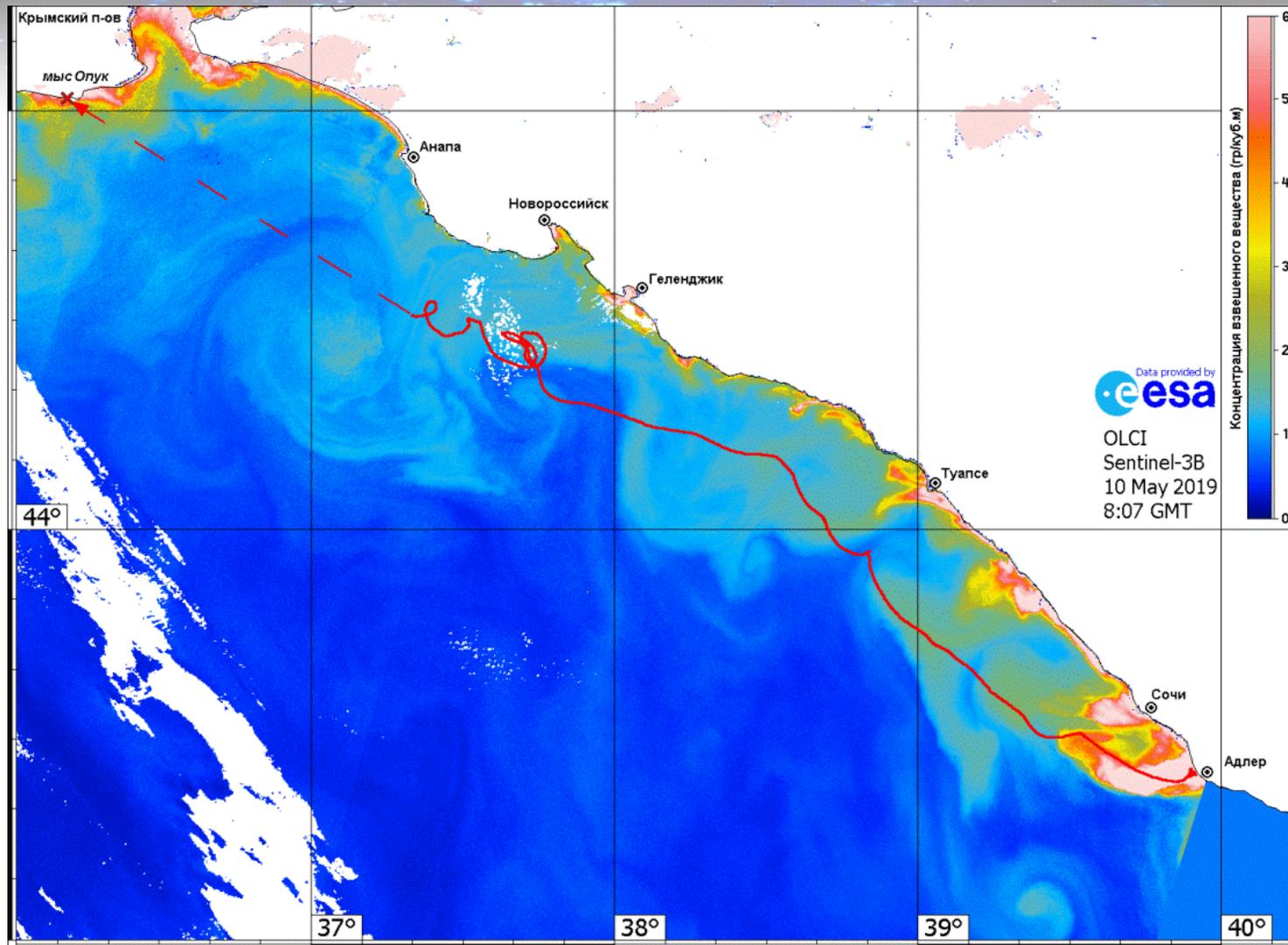
# Эксперименты апреля-мая 2019 г.



Треки всех четырех дрейфтеров наложенные на фрагмент изображения MSI Sentinel-2B от 26.04.19. Цифры соответствуют номеру дрейфтера

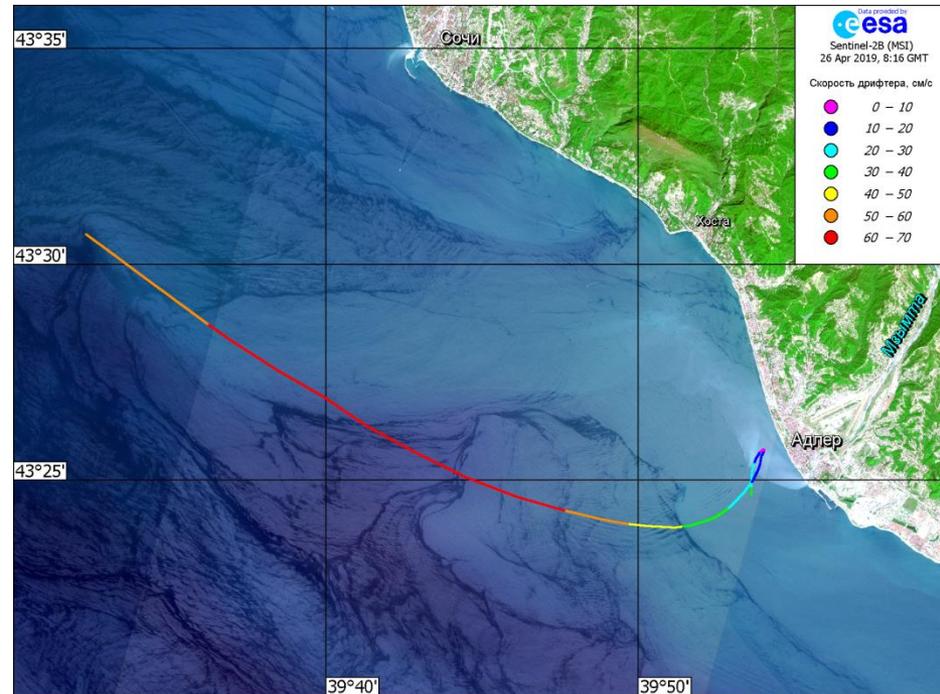
Лаврова О. Ю., Соловьев Д. М., Строчков А. Я., Назирова К. Р., Краюшкин Е. В., Жук Е. В. Использование мини-дрейфтеров для проведения подспутниковых измерений параметров прибрежных течений // Исследование Земли из космоса, 2019, № 5, с. 36–49. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019536-49>

# Эксперименты апреля-мая 2019 г.



*Полный трек второго дрейфтера. Пунктиром соединены точки, где закончилось питание, и место обнаружения на берегу*

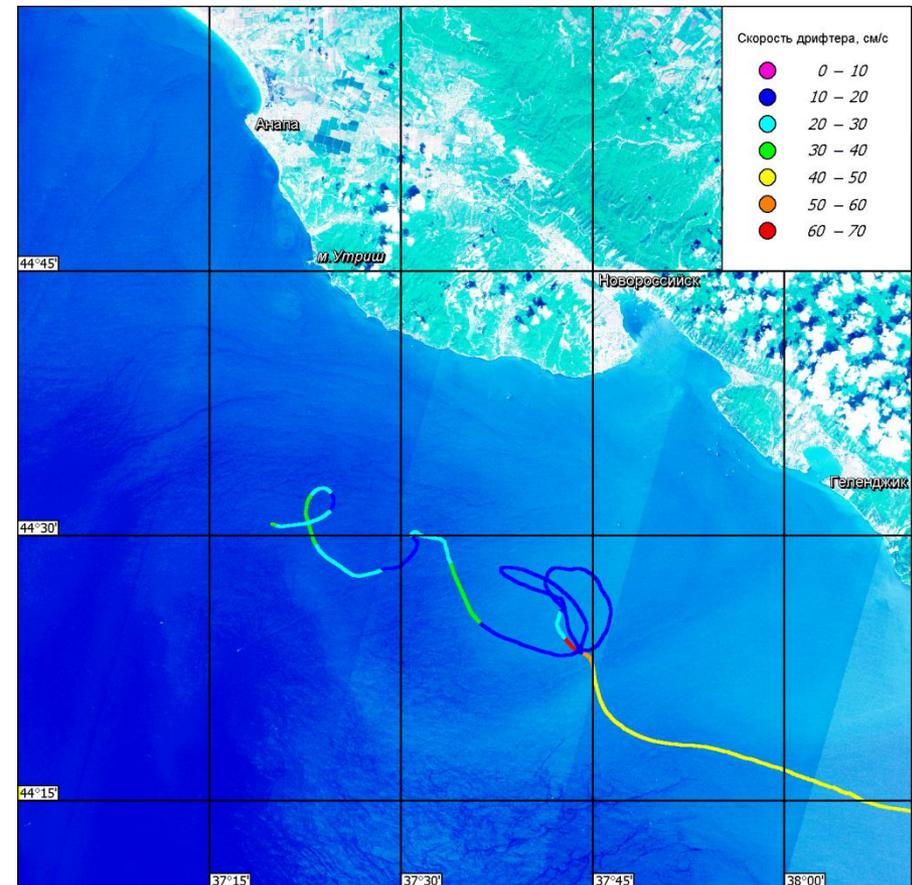
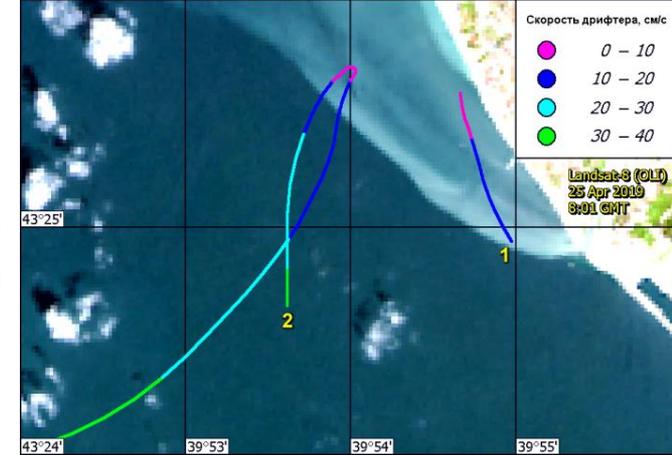
# Дрейф буй №2



Часть трека второго дрейфера, информация с которого была получена по SMS, наложенная на цветосинтезированное изображение MSI Sentinel-2B от 26.04.19.

Проявление влияния вихревых структур на распространение дрейфера. Часть трека второго дрейфера, наложенная на цветосинтезированное изображение MSI Sentinel-2A от 04.05.19.

Начальный этап





**Результаты экспериментов в юго-  
восточной части Балтийского моря**

# Подспутниковые эксперименты в юго-восточной части Балтийского моря

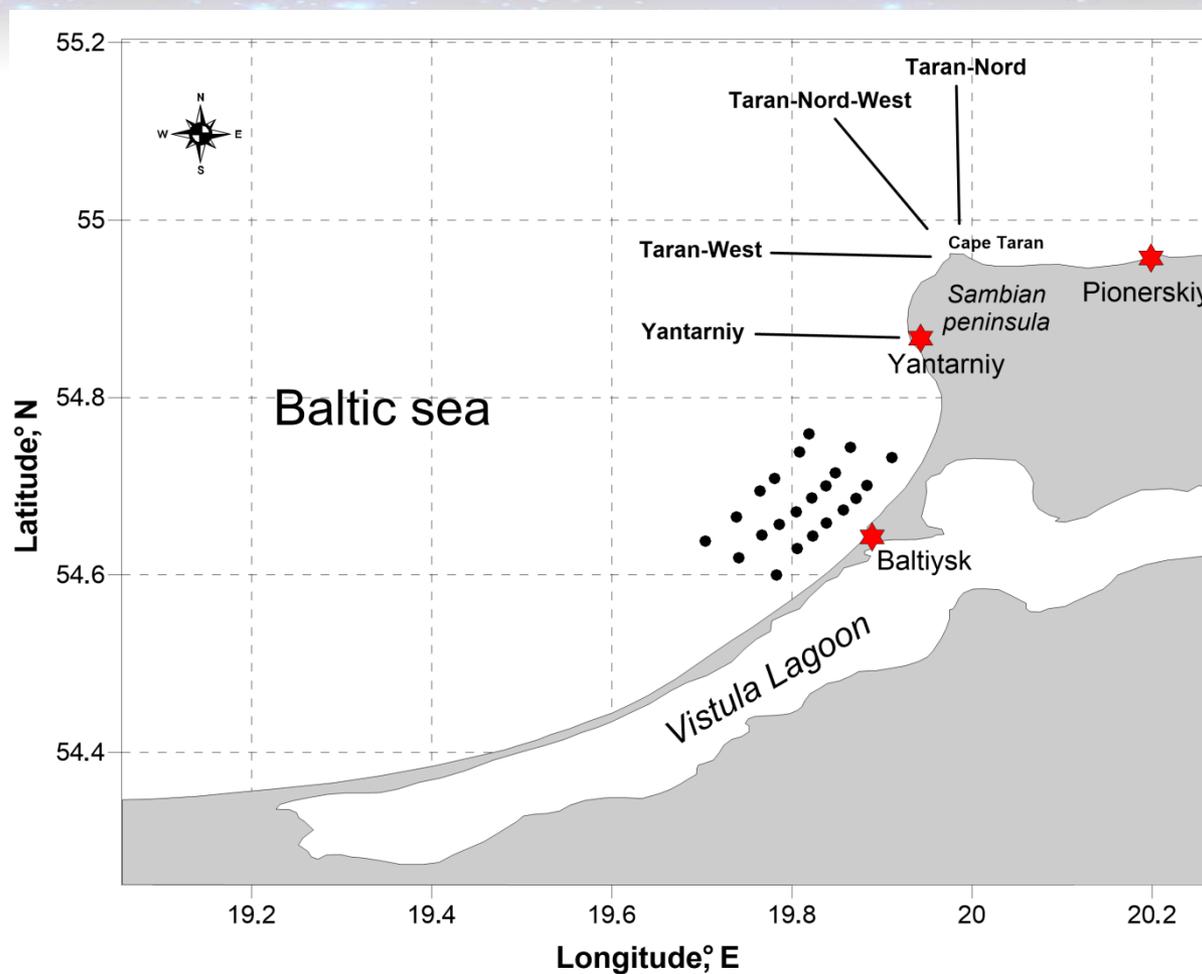
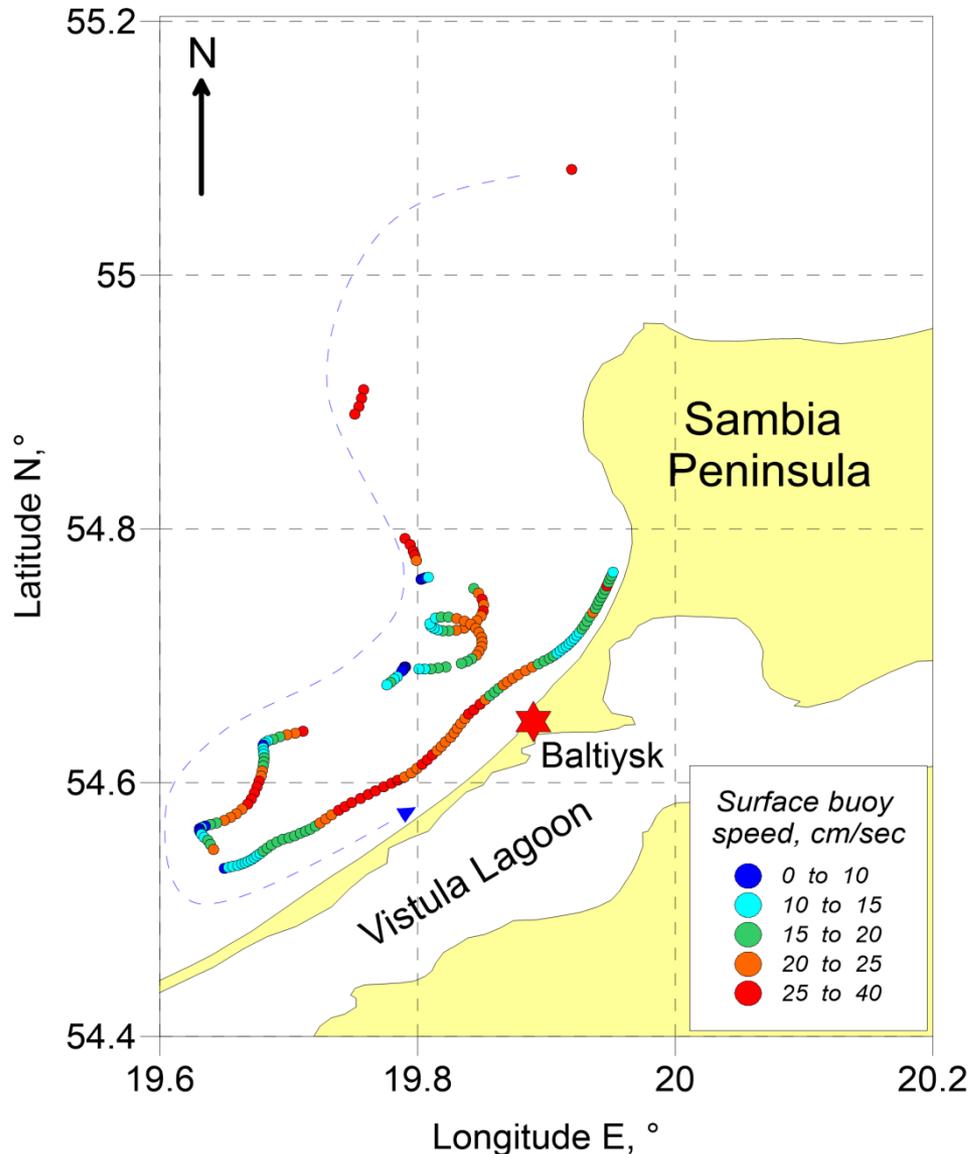


Схема стандартных океанологических разрезов

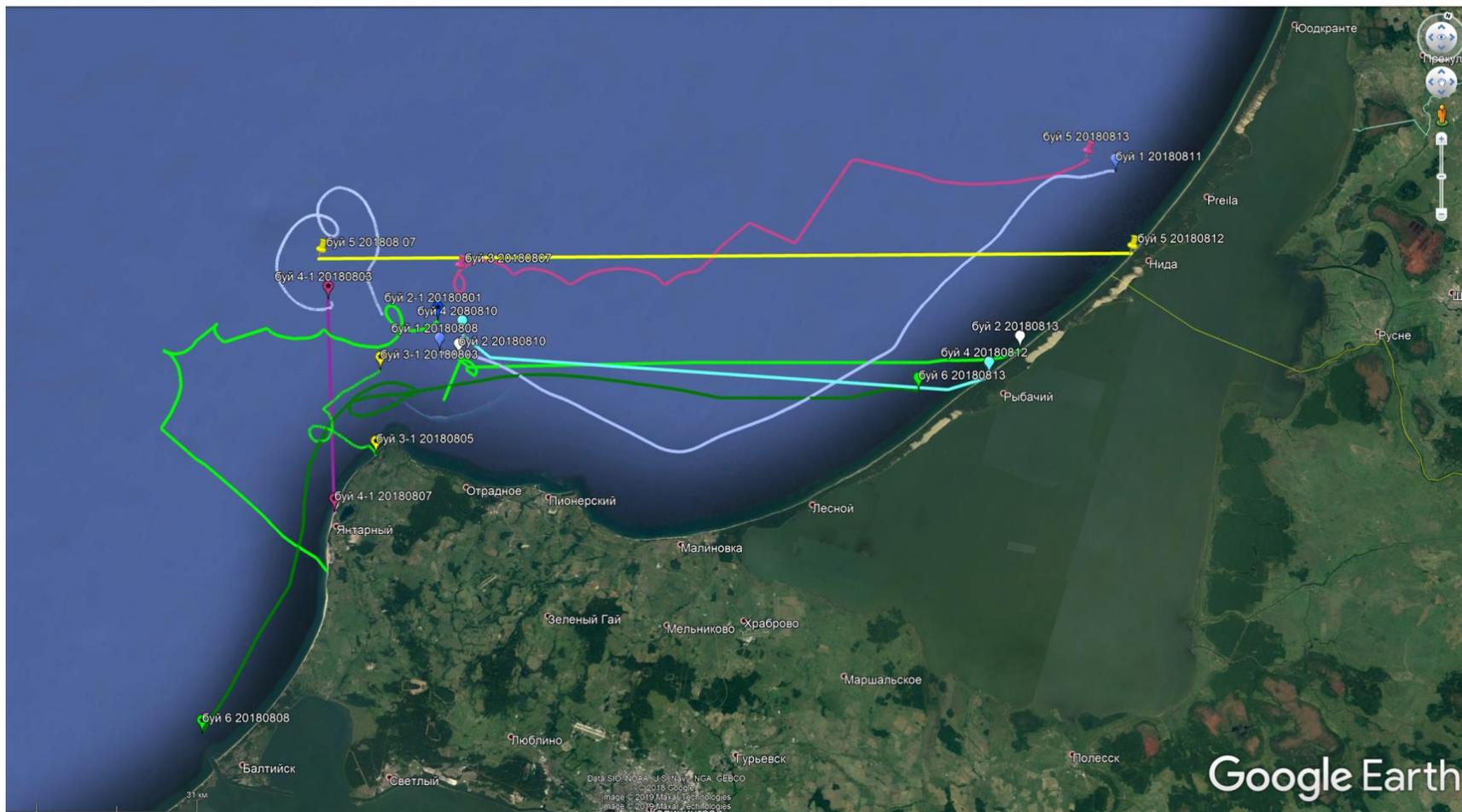
# Оценка скорости течения по траектории дрейфтера



Траектория мини-дрейфтера во время эксперимента 2016 г. Пунктирная линия показывает генеральное направление распространения дрейфтера. Положение дрейфтера во времени отмечено точками. Оценка скорости между двумя точками обозначена цветом.

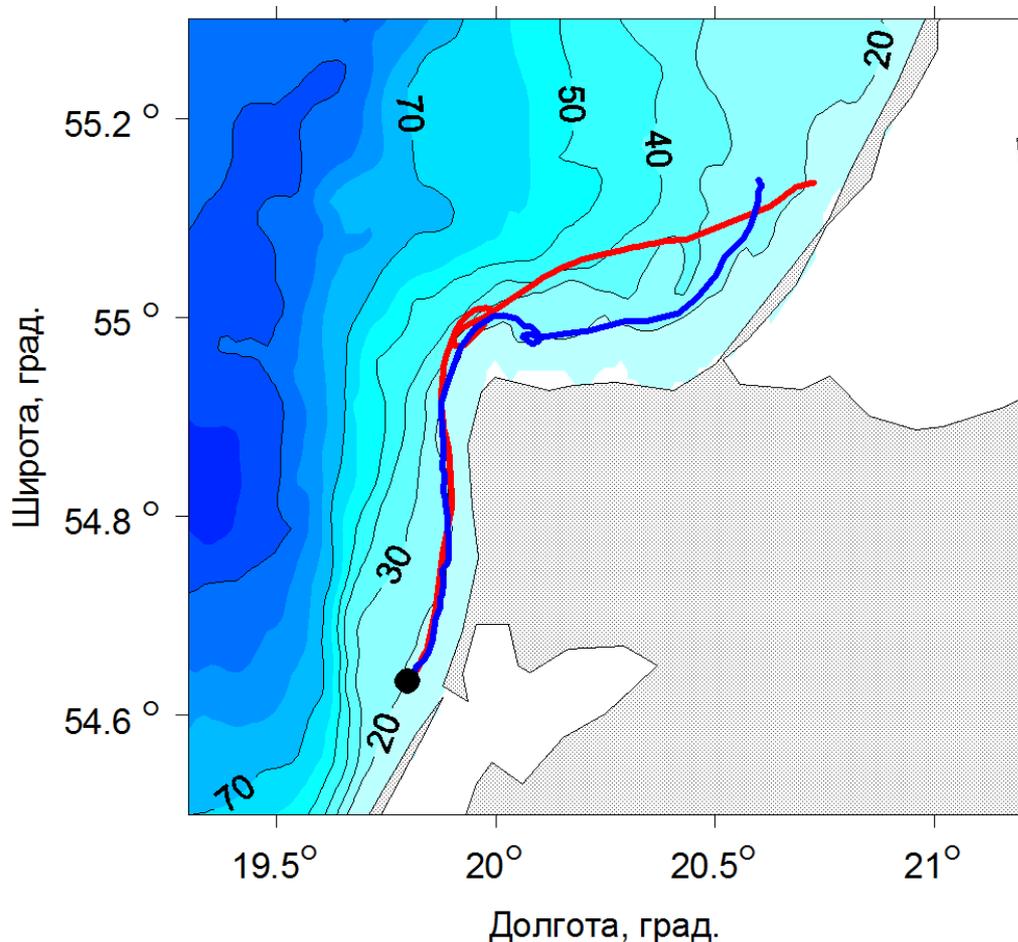
*Krayushkin Evgeny, Olga Lavrova, Alexey Strochkov (2019), Application of GPS/GSM Lagrangian mini-drifters for coastal ocean dynamics analysis, Russ. J. Earth Sci., 19, ES1001, doi:10.2205/2018ES000642*

# Дрифтерные эксперименты 2018 г.



Треки всех 11 дрифтеров, запущенных в 2018 г.

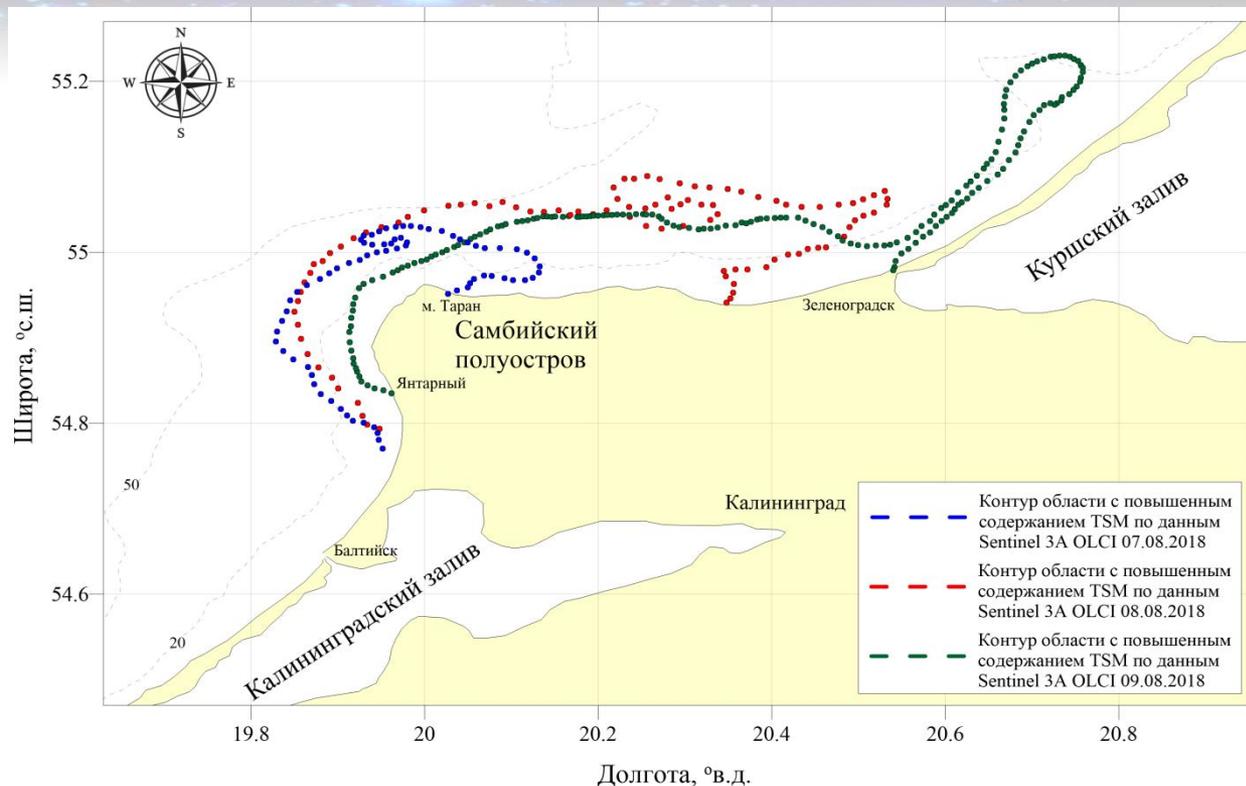
# Сравнение с результатами численного моделирования (модель РОМ)



Распределение глубин в Юго-Восточной Балтике, на которое наложены траектория дрейфера, обозначенная красной линией, и траектория соответствующей модельной лагранжевой частицы, обозначенная синей линией. Начало траекторий отмечено точкой

Голенко М. Н., Лаврова О. Ю. Исследование динамики струйных течений вблизи Самбийского полуострова (Юго-Восточная Балтика) на основе численного моделирования и анализа спутниковых изображений видимого диапазона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 175-191. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16- 4-175-191.

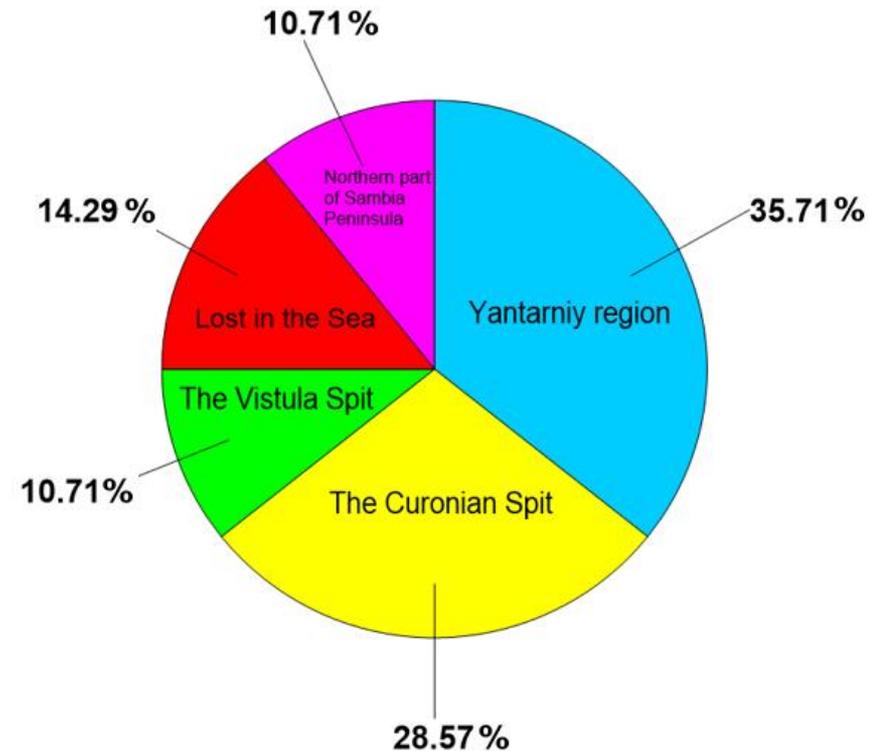
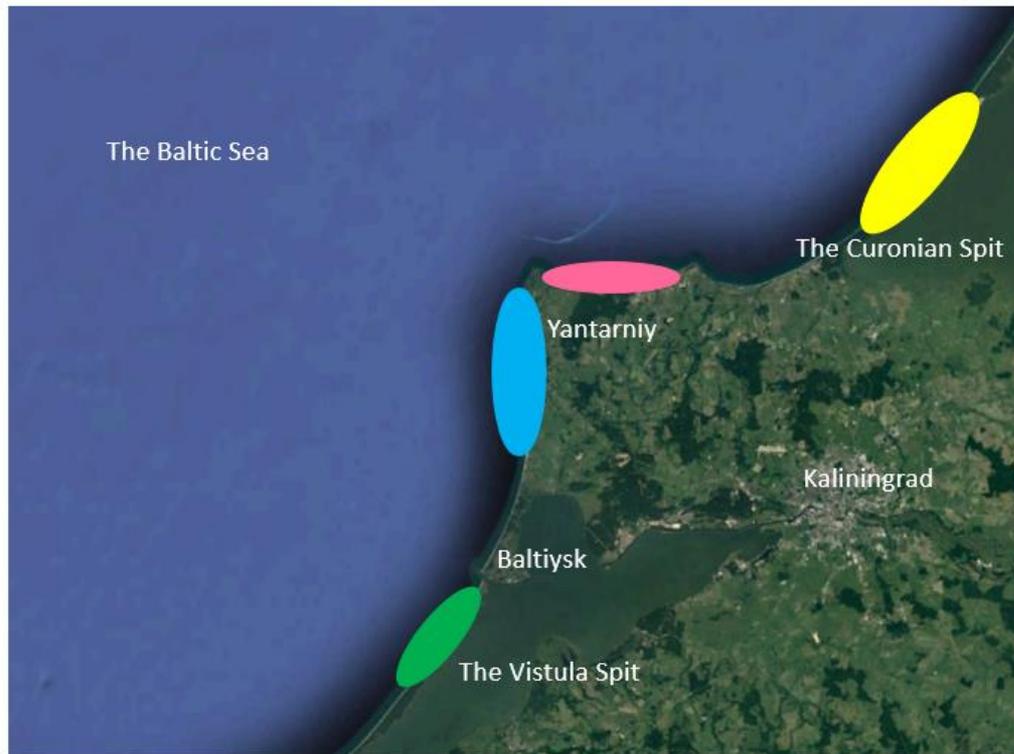
# Эксперименты апреля-мая 2019 г.



Сводная картина трансформации и распространения вихревого диполя, построенная по данным OLCI Sentinel-3A (за 7 и 8 августа 2018 г.) и MSI Sentinel-2B (за 9 августа 2018 г.)

*Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Алферьева Я.О., Соловьев Д.М. Формирование и распространение вихревого диполя за мысом Таран в Юго-Восточной Балтике // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 214-221. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-214-221.*

# Определение зон экологического риска



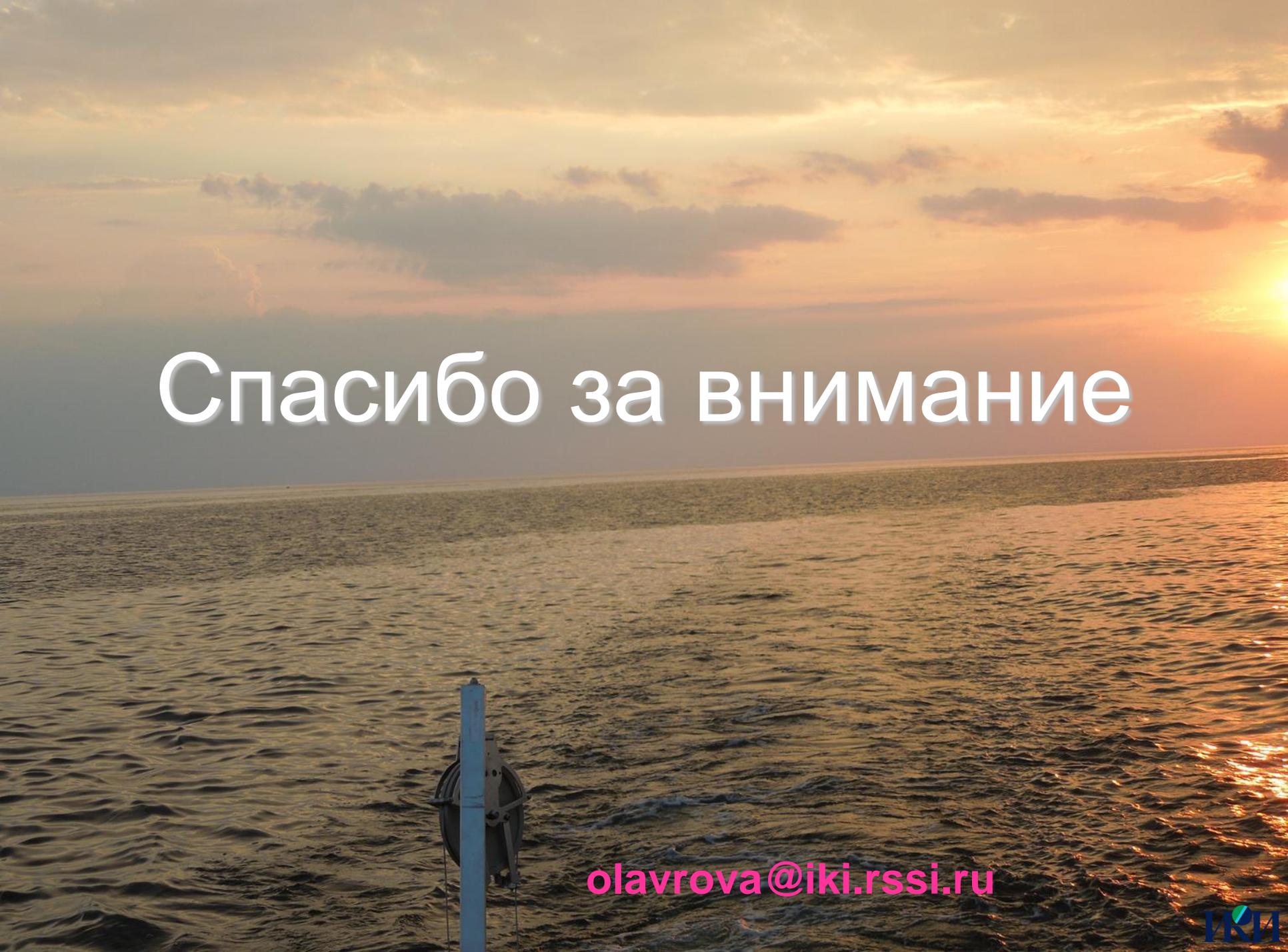
За время проведения экспериментальных работ в 2015-2019 гг. было запущено всего 28 мини-дрифтеров. Только с 4-мя из всех запущенных буев была потеряна связь, их судьба нам не известна. Остальные выносило на берег в представленных разным цветом районах.

# Выводы

- Представленные результаты дрейфтерных экспериментов убедительно доказывают, что использование недорогого и простейшего в изготовлении прибора, каким является лагранжевый мини-дрейфтер, позволяет получать оперативную информацию о параметрах прибрежных течений в достаточно большой акватории.
- В экспериментах апреля–мая 2019 г. в северо-восточной части Черного моря удалось выявить скорость прибрежных течений на разном удалении от берега, в частности скорость ОЧТ в струе, прижатой к берегу. Была определена «мертвая зона» в районе м. Видный, где сильно ослаблена прибрежная циркуляция вод. В такой зоне могут скапливаться различного рода загрязнения, например, связанные с выносом рек Мзымта, Сочи, и водами из подводного выпуска г. Адлер.
- Совместный анализ спутниковой информации и данных дрейфтерных экспериментов позволил по косвенным признакам, таким как искривление траектории дрейфтера, оценить глубину проникновения вихревых структур, которые идентифицируются на спутниковых изображениях за счет различных механизмов проявлений: сликовый или за счет рассеяния на водах разной мутности.
- С помощью лагранжевых мини-дрейфтеров возможно было пронаблюдать проявления инерционных колебаний, пространственные характеристики которых практически никакими другими способами получить не удается.
- Многолетние ежегодные подспутниковые измерения, проводимые нами в российских водах юго-восточной части Балтийского моря начиная с 2014, позволили выявить районы береговой черты, куда с большой вероятностью будут попадать из моря антропогенные и биогенные загрязнения.
- Основными районами их попадания на берег оказывались либо пляжи пос. Янтарный, либо побережье Куршской косы в ее центральной части. пляж в поселке Янтарном Калининградской области первым в России получил «Голубой флаг». А побережье Куршской косы является природным заповедником и занесено в список UNESCO World Heritage Site.

# Благодарности

- Исследование выполнено в рамках и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-05-00715.
- Авторы благодарны всем участникам экспедиционных работ за помощь в подготовке и проведении подспутниковых измерений

A sunset over the ocean with a blue buoy in the foreground. The sky is filled with orange and yellow clouds, and the sun is visible on the right side. The water is dark blue with small waves. A blue buoy is visible in the lower left foreground.

Спасибо за внимание

[olavrova@iki.rssi.ru](mailto:olavrova@iki.rssi.ru)

