

УДК 551.465; 528.88

**К.О. Лебедева<sup>1</sup>, Т.А. Дячук<sup>1</sup>, В.А. Дубина<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43**ПОВЕРХНОСТНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА ПО ДАННЫМ  
СПУТНИКОВ СЕРИИ LANDSAT**

*Собран архив изображений Татарского пролива, полученных со спутников серии Landsat. Архив содержит более 200 изображений, принятых в различных погодных условиях в теплые сезоны года в 1982–2016 гг. В работе приводятся предварительные результаты совместного анализа спутниковых видимых и инфракрасных снимков и подспутниковых наблюдений. Выявлены разномасштабные особенности поверхностной циркуляции Татарского пролива.*

**Ключевые слова:** Татарский пролив, поверхностные течения, мезомасштабные вихри, Западно-Сахалинское течение, спутники серии Landsat.

**K.O. Lebedeva, T.A. Dyachuk, V.A. Dubina****SURFACE CIRCULATION OF THE TATAR STRAIT ACCORDING TO DATA OF  
LANDSAT SATELLITES OBSERVATIONS**

*More than 900 Landsat images of the Tatar Strait acquired in 1982-2016 under different weather conditions during a warm season were collected. The results of analysis of satellite infrared and visible images and supplementary information are given in a paper. The surface manifestations of the current fronts, eddies of different sizes and other oceanic phenomena were revealed.*

**Key words:** Tatar Strait, surface current, submesoscale eddies, West-Sakhalin current, Landsat satellites.

**Введение**

После ввода в эксплуатацию системы экспорта нефти в рамках проекта Сахалин-1 резко возросла антропогенная нагрузка на морские экосистемы Татарского пролива. Система включает в себя трубопровод протяжённостью 225 км, по которому нефть из скважин в Охотском море через Сахалин и Татарский пролив поступает на нефтяной терминал в посёлке Де-Кастри (<https://www.sakhalin.info/news/39032>). В 2014 г. грузооборот порта Де-Кастри составил 8,19 млн т, из которых на нефть приходится 7,95 млн т, при этом объёмы вывозимой сырой нефти продолжают расти (<http://www.morvesti.ru/analytics/detail.php?ID=38708>). Грузоперевозки в Татарском проливе осуществляются круглый год, в том числе зимой в тяжёлых ледовых условиях. Средняя толщина дрейфующего льда составляет 40 см и нередко достигает 60–80 см [1]. Для корректного расчёта экологических рисков и адекватного моделирования возможных аварийных ситуаций, а также разработки мероприятий по устранению их последствий, необходимо знать точные гидрометеорологические характеристики, в первую очередь, скорости и направления ветра и морских течений.

Изучение циркуляции в Татарском проливе началось с работ Леопольда Шренка в 60-х – 70-х гг. XIX в. Но до сих пор картина течений в этом районе не до конца ясна. По мнению авторов [4], Татарский пролив является одним из немногих мест, в котором отмечаются наибольшие расхождения в схемах течения Японского моря у разных авторов. А на большинстве генеральных схем течений Татарский пролив вообще обрезан [1]. Одним из важнейших

вопросов, касающихся динамики вод пролива, является вопрос о присутствии в крайней северной акватории Японского моря мезомасштабных явлений и их вкладе в процессы перемешивания.

Целью настоящей работы являлось исследование разномасштабной вихревой динамики в Татарском проливе в тёплый период года на материалах съёмки спутников серии Landsat.

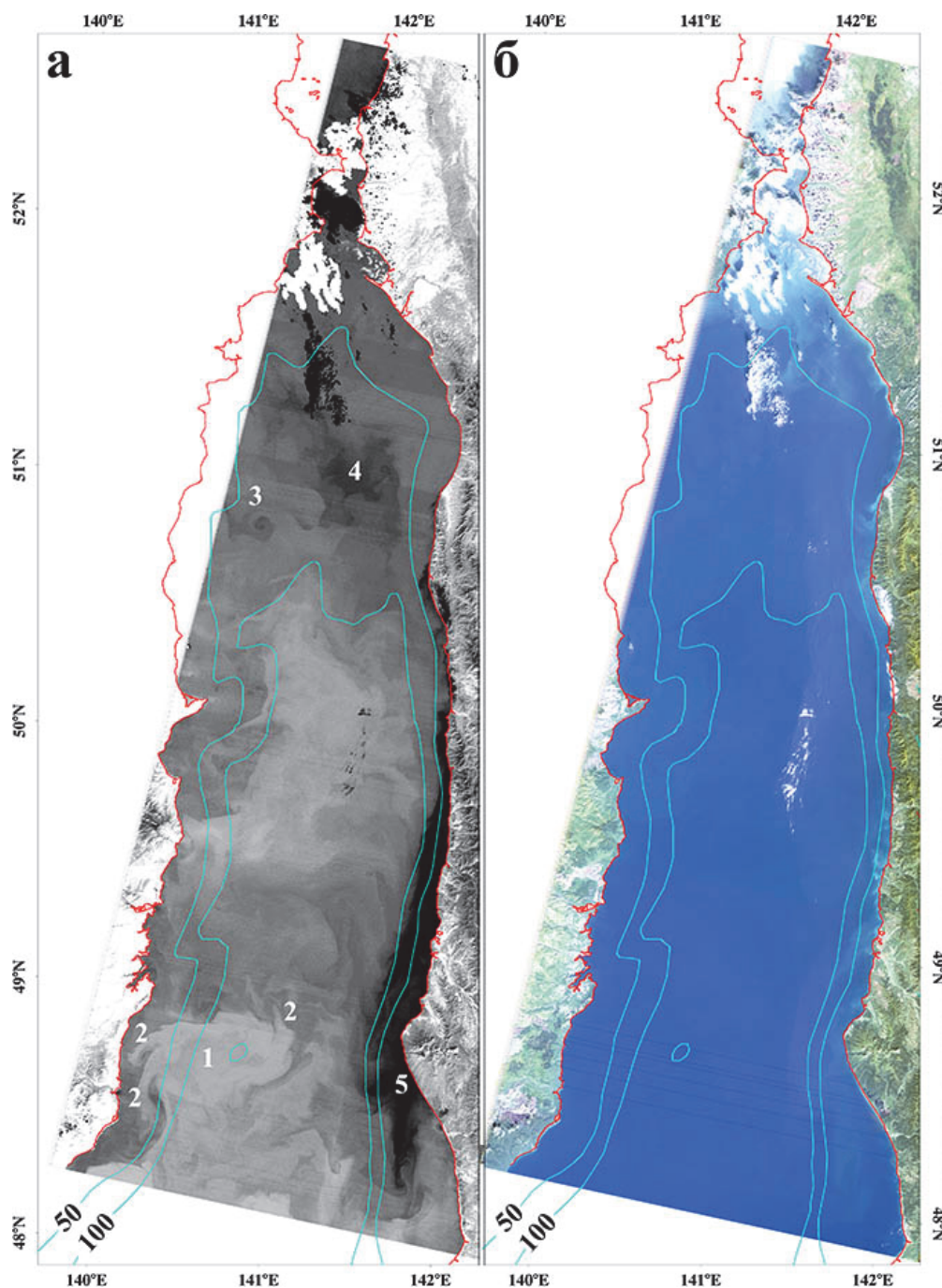
### **Объекты и методы исследования**

Южной и северной границами Татарского пролива являются линии, которые соединяют соответственно мыс Белкина ( $45^{\circ}49' N$ ,  $137^{\circ}41' E$ ) с мысом Кузнецова ( $46^{\circ}03' N$ ,  $141^{\circ}55' E$ ) и мыс Южный ( $51^{\circ}41' N$ ,  $141^{\circ}06' E$ ) с мысом Тык ( $51^{\circ}45' N$ ,  $141^{\circ}41' E$ ) [2].

Несмотря на то, что в «самом общем случае» движение вод в Японском море «можно рассматривать как совокупность градиентных течений», обусловленных переносом через Корейский пролив, считается, что в Татарском проливе система течений в большей степени связана с ветром, чем с постоянными течениями [4]. При этом порядок скоростей дрейфовых течений составляет 0,3–0,4 уз, что заметно ниже приливных [4]. В работе [3] приведены максимальные и средние скорости течений в поверхностном слое Татарского пролива. В основу расчётов были положены сведения о течениях на 29 пунктах за полный приливной цикл 18,6 лет, рассчитанные по гармоническим постоянным за каждые сутки через 2 ч. По этим данным с учётом остаточных течений выбирались максимальные и рассчитывались средние скорости. За остаточные течения были приняты сведения о непериодических течениях при скорости ветра не более 5 м/с [3]. Максимальные скорости отмечены в проливе Невельского (3,6 уз) и на подходах к проливу Лаперуза (2,4 уз). Ещё одна область повышенных максимальных скоростей находится в районе мыса Сюркум (1,8 уз). На остальной акватории пролива максимальные скорости варьируют от 0,84 до 1,4 уз. Средние скорости течений в поверхностном слое на большей части акватории составляют 0,2–0,4 уз. Наибольшие средние скорости отмечаются на севере у входа в пролив Невельского (0,8–1,1 уз) и на подходах к проливу Лаперуза (0,8 уз) [3].

В Татарском проливе к северу от  $48^{\circ}$  с.ш. общая циркуляция вод является преимущественно циклонической. Западное звено циркуляции выражено более чётко по сравнению с восточной, которая сформирована отдельными струями Цусимского течения [4]. Поток в Татарском проливе, направленный вдоль материка на юг, авторы работы [4] предложили называть течением Шренка. Это течение отличается по гидрофизическим характеристикам от вод Приморского течения и Амурского лимана. Приморское течение следует вдоль кромки шельфа на расстоянии 10–15 миль от берега и имеет максимум скорости на горизонте около 100 м (ниже слоя скачка 25–50 м). А течение Шренка наблюдается в 30-мильной прибрежной зоне с максимумом скорости на поверхности. Многие исследователи выделяют в Татарском проливе Западно-Сахалинское (Сахалинское) течение, которое следует на юг вдоль побережья юго-западной оконечности о. Сахалин.

Все вышеперечисленные особенности поверхностной циркуляции вод Татарского пролива получены из анализа инструментальных наблюдений. Наиболее эффективным методом исследования прибрежных районов океана является совместное использование контактных измерений и данных дистанционного спутникового зондирования. Зондирование Земли из космоса с высоким пространственным разрешением уже более 30 лет применяется для исследования и мониторинга прибрежной зоны. Первой программой по изучению Земли из космоса стала программа спутников серии Landsat Геологической службы США. Архив изображений, полученных с этих спутников, с 2009 г. открыт для бесплатного доступа (<http://glovis.usgs.gov/>). Данные спутники предназначены в основном для мониторинга суши, но изображения, полученные с них, захватывают практически всю прибрежную область Мирового океана.



Инфракрасное (а) и видимое (б) изображения со спутника Landsat-5 за 25 сентября 2005 г. Цифровые обозначения на ИК-изображении поясняются в тексте

Infrared (а) and visible (б) Landsat-5 images obtained on 25 September. Numbers indications are explained in text

Территорию Татарского пролива покрывают 12 стандартных фреймов Landsat. В архиве находятся данные с октября 1982 г. по октябрь 2016 г. За это время было сделано 12788 снимков пролива, из которых 960 снимков с облачностью 0 %, а 2219 снимков с облачностью от 90 до 100%. Данные в архиве представляют собой измерения на 4 каналах радиометра MSS со спутников Landsat-4 и Landsat-5 (пространственное разрешение 80 м), на 7 каналах тематического картографа ТМ со спутника Landsat-5 (разрешение 30 м в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) и 120 м в тепловом ИК-диапазонах), на 8 каналах усовершенствованного

картографа ETM+ со спутника Landsat-7 (разрешение 15, 30 и 60 м) и измерения на 11 каналах с двух сенсоров спутника Landsat-8. Данные последнего спутника поступают с 2013 г. и имеют разрешение 15, 30 и 100 метров на пиксель. В исследовании использовались снимки, принятые в тепловом ИК-диапазоне (10,4–12,5 мкм), и изображения в истинных цветах (RGB), полученные комбинированием измерений на соответствующих каналах, в тёплый период года (в отсутствии ледяного покрова). Изображения Landsat анализировались совместно с другими видами информации. Привлекались все доступные гидрометеорологические наблюдения, карты течений, построенные по спутниковым альтиметрическим данным, видимые и ИК-изображения радиометров AVHRR со спутников серии NOAA и спектрорадиометров MODIS со спутников Terra и Aqua.

### Результаты и их обсуждение

На спутниковых изображениях Татарского пролива контрасты наблюдаются и в поле температуры поверхности, и в цвете воды. Последние связаны главным образом с речным стоком как рек, впадающих в пролив, так и со стоком р. Амур. Амурские воды поступают в крайнюю северную часть пролива во время ветровых нагонов в Сахалинском заливе, которые возникают при прохождении циклонов через север Охотского моря. Распреснённые воды перемещаются вдоль обоих берегов пролива на юг, чаще всего и южнее всего вдоль побережья Сахалина. Течение Шренка на спутниковых изображениях в отсутствие ледяного покрова плохо выражено. Наблюдались ситуации, когда прибрежный поток у западной границы пролива совершал циклонический поворот в районе 45–50° с.ш. Течение вдоль Сахалина наблюдается значительно чаще и не только вдоль его самой юго-западной оконечности, но и почти на всём протяжении от пролива Невельского до мыса Крильон. Лучше всего этот поток отмечается в сентябре-октябре в поле температуры поверхности моря. Циркуляция в проливе имеет выраженный вихревой характер. Крупные синоптические антициклоны (диаметром 50–80 м) проникают с цусимскими водами в южную часть пролива. Границы прибрежных течений в большинстве случаев имеют волнистую форму с горизонтальным масштабом меандров 5–10 км. Мезомасштабные вихри с холодными ядрами регулярно встречаются на всей акватории Татарского пролива.

На рисунке показано инфракрасное (рисунок, а) и RGB (рисунок, б) изображения Татарского пролива, полученные 25 сентября 2005 г. со спутника Landsat-5. Как видно из рисунка, поле температуры поверхности моря (рисунок, а) значительно более неоднородно, чем изображение поверхности в видимом диапазоне (рисунок, б). Более тёплые воды на снимке более светлые.

На юге исследуемого района в области проникающих в пролив тёплых вод Цусимского течения наблюдается антициклонический синоптический вихрь *1* эллиптической формы со средним диаметром примерно 64 км. На границе этого антициклона отмечаются мезомасштабные присоединённые циклонические образования *2* диаметром около 10 км.

Мезомасштабный циклонический вихрь с холодным ядром *3* диаметром 6,5 км наблюдается также в северной части пролива на широте 50,8° с.ш. Между этим вихрем и побережьем о. Сахалин на изображении расположено темное пятно *4* (низкая температура воды), которое, скорее всего, связано с циклоническим вращением вод в этой части пролива. Его размер составляет примерно 35 км. Эта температурная аномалия регулярно наблюдается в северной части Татарского пролива между изобатами 50 и 10 м на ИК-изображениях, полученных различными сенсорами.

Мезомасштабные вихри указанного масштаба регулярно регистрируются на ИК-изображениях, принятых со спутников серии Landsat, и почти не различимы на изображениях, полученных спектрорадиометрами MODIS и радиометрами AVHRR. Узкая прибрежная полоса холодной воды *5* возле Сахалина связана, вероятно, с Западно-Сахалинским течением, кото-

рое направлено на юг и отмечается на спутниковых ИК-изображениях чаще всего в сентябре-октябре. 25 сентября 2005 г. пояс холодных вод распространялся примерно от 50,5° с.ш. на юг до 48° с.ш., постепенно увеличиваясь по ширине до 22 км (рисунок, а).

Как видно из рисунка, большинство особенностей поверхностной циркуляции в Татарском проливе наблюдаются в поле температуры поверхности воды и плохо различимы (или вообще не видны) в поле цвета (мутности) воды. На видимом изображении в северной части пролива на изобате 50 м восточнее облаков наблюдается слабоконтрастный спиральный мезомасштабный вихрь диаметром примерно 10 км. Несовпадение контрастов температуры и цвета – довольно типичная ситуация при анализе спутниковых изображений Татарского пролива.

### **Заключение**

Создан архив изображений Татарского пролива, полученных со спутников серии Landsat. Архив содержит более 200 изображений, принятых в различных погодных условиях в теплые сезоны года в 1982–2016 гг. В работе приводятся предварительные результаты совместного анализа спутниковых видимых и инфракрасных снимков и подспутниковых наблюдений. Контрасты температуры и цвета морской воды на изображениях Татарского пролива часто не совпадают, что не характерно для Японского моря. И на видимых и на ИК-изображениях выявлена мезомасштабная вихревая структура поверхностных течений в проливе. Циклонические спиральные вихри с горизонтальными размерами 5–10 км встречаются на всей акватории пролива. Мезомасштабные явления играют ключевую роль в процессах перемешивания верхнего квазиоднородного слоя прибрежных вод Мирового океана, поэтому наличие вихревых структур в Татарском проливе должно учитываться при расчёте экологических рисков и адекватного моделирования возможных аварийных ситуаций, а также при планировании мероприятий по устранению их последствий.

### **Список литературы**

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.VIII. Японское море. Вып.1. Гидрометеорологические условия / под ред. А.С. Васильева, Ф.С. Терзиева, А.Н. Косарева. – СПб.: Гидрометеоздат, 2003. – 398 с.
2. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. – СПб.: Гл. упр. навигации и океанографии МО РФ, 2003. – 436 с.
3. Супранович, Т.И. Максимальные и средние скорости течений в поверхностном слое Татарского пролива / Тр. ДВНИГМИ / Т.И. Супранович. – Л: Гидрометеоздат, 1989. – Вып. 39. – С. 34–36.
4. Юрасов, Г.И. Течения Японского моря / Г.И. Юрасов, В.Г. Яричин. – Владивосток: Изд. ДВО АН СССР, 1991. – 174 с.

**Сведения об авторах:** Лебедева Ксения Олеговна, студентка 4-го курса по направлению «Экология и природопользование»;

Дячук Татьяна Александровна, студентка 3-го курса по направлению «Экология и природопользование», e-mail: street\_lies@mail.ru;

Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, доцент, e-mail: vdubina@mail.ru.