

---

---

# ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

---

---

УДК 502; 528.88

**В.А. Дубина<sup>1,2</sup>, В.В. Плотников<sup>1,2</sup>, И.А. Круглик<sup>2</sup>, М.К. Дабижа<sup>2</sup>,  
И.Н. Черномырдина<sup>2</sup>, Е.А. Ромашечкина**

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

<sup>2</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЮГО-ВОСТОКА РОССИИ В 2018 г.**

*Приводятся наиболее значимые результаты экологического спутникового мониторинга Приморского края и исключительной экономической зоны Российской Федерации в Японском море в 2018 г. Применение современных спутниковых измерений позволило оценить масштабы катастрофического наводнения и картографировать затопленные территории на юго-западе Приморья, зарегистрировать нефтяные разливы с судов в зал. Петра Великого и механизмы поступления загрязняющих веществ через его морскую границу, определить районы интенсивного рыболовства и оценить рыболовный трафик в северо-западной части Японского моря.*

**Ключевые слова:** Sentinel-1, Sentinel-2.

**V.A. Dubina, V.V. Plotnikov, I.A. Kruglik, M.K. Dabija,  
I.N. Chernomyrdina, E.A. Romashechkina  
RESULTS OF ENVIRONMENTAL SATELLITE MONITORING  
OF THE SOUTHEAST OF RUSSIA IN 2018**

*The most significant results of environmental satellite monitoring of Primorsky Krai and the exclusive economic zone of the Russian Federation in the Sea of Japan in 2018 are presented. The use of modern satellite measurements made it possible to estimate the scale of catastrophic floods and map the flooded areas in the south-west of Primorye, register oil spills from ships into the hall. Peter the Great and the mechanisms for the entry of pollutants through its sea border, identify areas of intensive fishing and assess the fishing traffic in the northwestern part of the Sea of Japan.*

**Key words:** Sentinel-1, Sentinel-2.

### **Введение**

Научные исследования в экологии и природопользовании проводятся в разных направлениях. Чтобы сконцентрировать силы и возможности, необходимо остановиться на отдельных наиболее востребованных в настоящее время задачах. Эффективно концентрацию научного потенциала и выбор актуальных направлений исследования можно реализовать путем создания творческих коллективов, объединенных в научные школы. В Дальрыбвтузе в области экологии исследования проводятся в рамках научной школы «Экологические проблемы Дальнего Востока» по проблеме «Экосистема Японское море: Оценка и моделирование абиотических факторов».

При решении любой научно-практической задачи исследователь опирается на комплекс исходных сведений, характеризующий состояние и поведение исследуемого объекта. Учи-

тывая пространственно-временные масштабы исследуемого объекта, накопление информации – довольно сложный процесс. В настоящее время он успешно реализуется только с привлечением разномасштабной спутниковой информации.

Спутниковые изображения используются для мониторинга опасных природных явлений и чрезвычайных антропогенных ситуаций: наводнений, землетрясений, крупных техногенных катастроф и др. На основе спутниковых данных исследуются факторы, влияющие на состояние и устойчивость прибрежных экосистем:

- пространственно-временные особенности мезомасштабных явлений (вихрей, фронтов, внутренних волн), которые определяют характер и интенсивность перемешивания в прибрежных районах [1], что особенно важно при планировании и для функционирования объектов марикультуры [2–3];
- особенности смешения речных и морских вод (речной сток является основным источником биогенных элементов и загрязняющих веществ в прибрежных морских экосистемах) [4];
- источники, масштабы и пути перемещения нефтяного загрязнения и мусора [1, 4];
- климатические характеристики и пространственно-временная изменчивость ледяного покрова [5].

В настоящей работе приводятся наиболее значимые результаты экологического спутникового мониторинга Приморского края и исключительной экономической зоны Российской Федерации в Японском море в 2018 г.

### **Объекты и методы исследования**

В процессе экологического мониторинга используется вся доступная информация, принимаемая в видимом, инфракрасном (ИК) и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра с метеорологических и ресурсных спутников. К ним относятся спутники программ NOAA, Landsat, Sentinel, космические аппараты Terra, Aqua, Ресурс-П. Пространственное разрешение изображений варьирует от 0,6 м до 1 км, частота съёмки от 2 раз в сутки до одного раза в 16 дней. В видимом диапазоне получают высоко детальные изображения поверхности Земли (с разрешением несколько десятков сантиметров), но только днём и при отсутствии облачности. В инфракрасном диапазоне «видно» днём и ночью, но тоже без облаков. Облака почти прозрачны в микроволновом диапазоне, но пассивные приборы, работающие на этих длинах волн, имеют низкое пространственное разрешение – несколько километров и более. В настоящее время есть три основных вида активных микроволновых приборов – радаров: альтиметры (измеряют высоту уровня океана), скаттерометры (измеряют скорость и направление приводного ветра) и радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА). С помощью последних можно так же, как в видимом диапазоне получать высоко детальные снимки земной поверхности, только в любое время суток и при любой погоде.

Поставленные задачи решаются путём комплексирования разнородных спутниковых данных и их совместного анализа с привлечением всей доступной подспутниковой гидрометеорологической информации, визуальных и инструментальных наблюдений, а также результатов численного гидродинамического моделирования.

### **Результаты и их обсуждение**

В настоящее время имеются обширные доступные (бесплатные) архивы спутниковых измерений за период с 1984 г. В ходе выполнения работ по изучению абиотических факторов экосистемы Японского моря проводится как оперативный, так и ретроспективный спутниковый мониторинг. На основе анализа архивных спутниковых наблюдений выявлены особенно-

сти трансграничного переноса поверхностных вод в северо-западной части Японского моря [1], рассмотрены механизмы поступления загрязняющих веществ в зал. Петра Великого через его морскую границу [4], исследованы пространственно-временные особенности мезомасштабных абиотических факторов в районах существующих и планируемых предприятий аквакультуры [2–3]. В настоящей работе приводятся результаты оперативного спутникового мониторинга.

*Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 года*

17 августа 2018 г. тропический циклон Rumbia (1818) в стадии шторма в районе Шанхая вышел на территорию Китая, сместился по континенту и через Жёлтое море и Корейский полуостров в виде трансформированного циклона с мощными фронтальными разделами 21 августа обрушился на Приморский край. Следом за ним на акваторию Японского моря сместились ещё два тропических циклона – Cimaron (1820) и Soulik (1819).

За 7 сут в период с 20 по 26 августа месячные нормы осадков на ряде гидрометеостанций (ГМС) юго-западной части Приморского края были достигнуты и превышены. Так, по ГМС «Тимирязевский» среднее многолетнее количество осадков составляет 117 мм, тогда как за указанный период выпало в сумме 134 мм. Аналогичные цифры для ГМС «Пограничный» составили 119 и 128 мм, для ГМС «Полтавка» – 125 и 169, для ГМС «Хороль» – 116 и 128, для ГМС «Суйфэньхэ» (КНР) – 128 и 127 мм соответственно.

Выпавшие осадки вызвали быстрый рост уровней воды в реках района. В частности, по оперативным данным портала [allrivers.info](http://allrivers.info), на р. Илистой у пос. Халкидон уровень воды с 20 по 26 августа поднялся на 90 см (достигнув отметки 488 см над «0» водпоста), а у пос. Ивановка, расположенного выше по течению, – на 202 см (отметка 509 см). На р. Раздольной у пос. Тереховка, где пойма реки сужается от 1,0–1,5 км до нескольких сотен метров, подъем воды за те же 7 сут составил 486 см, т.е. почти 5 м; уровень воды при этом достиг величины 701 см. В ряде административных районов Приморского края было объявлено чрезвычайное положение.

Для сравнения, в сентябре 2016 г. в результате сильных осадков, вызванных прохождением тайфуна Liongock (1610) и породивших разрушительные наводнения во многих районах Приморского края, уровни в реках Илестая и Раздольная оказались не столь высокими, как в августе 2018 г. По данным портала [gmvo.skniivh.ru](http://gmvo.skniivh.ru), максимальный уровень р. Илистой у с. Халкидон 14.09.2016 составил 470 см, для р. Раздольной у пос. Тереховка пик уровня был достигнут 04.09.2016 и равнялся 670 см. При этом специалистами Примгидромета было отмечено, что в сентябре 2016 г. на реках рассматриваемого района среднемноголетние месячные уровни воды были превышены в 3,5–7 раз (<https://www.newsvl.ru/society/2016/10/10/152465/>).

На рис. 1 приведены изображения, полученные радиолокационными станциями с синтезированной апертурой (РСА) со спутника Sentinel-1B 8 августа и со спутника Sentinel-1A 26 августа в 07:21 владивостокского времени. Сопоставляя яркость изображений, полученных до начала ливневых дождей и в момент пика паводка, можно без труда определить районы и масштабы наводнения. Так, площадь затопленной территории в бассейне р. Илистой составила 145 км<sup>2</sup>, а в бассейне р. Мельгуновка (до дамб, построенных в её низовье) – 75 км<sup>2</sup>. На р. Раздольной к югу от г. Уссурийска видна граница участка, где ширина разлива составляет 3–4 км, перед резким – до 300–400 м – сужением долины [6–7].

В условиях плотной низкой облачности и штормового ветра спутниковые РСА являются безальтернативным инструментом для картирования затопленных в результате наводнений территорий и оценки масштабов бедствий такого рода.

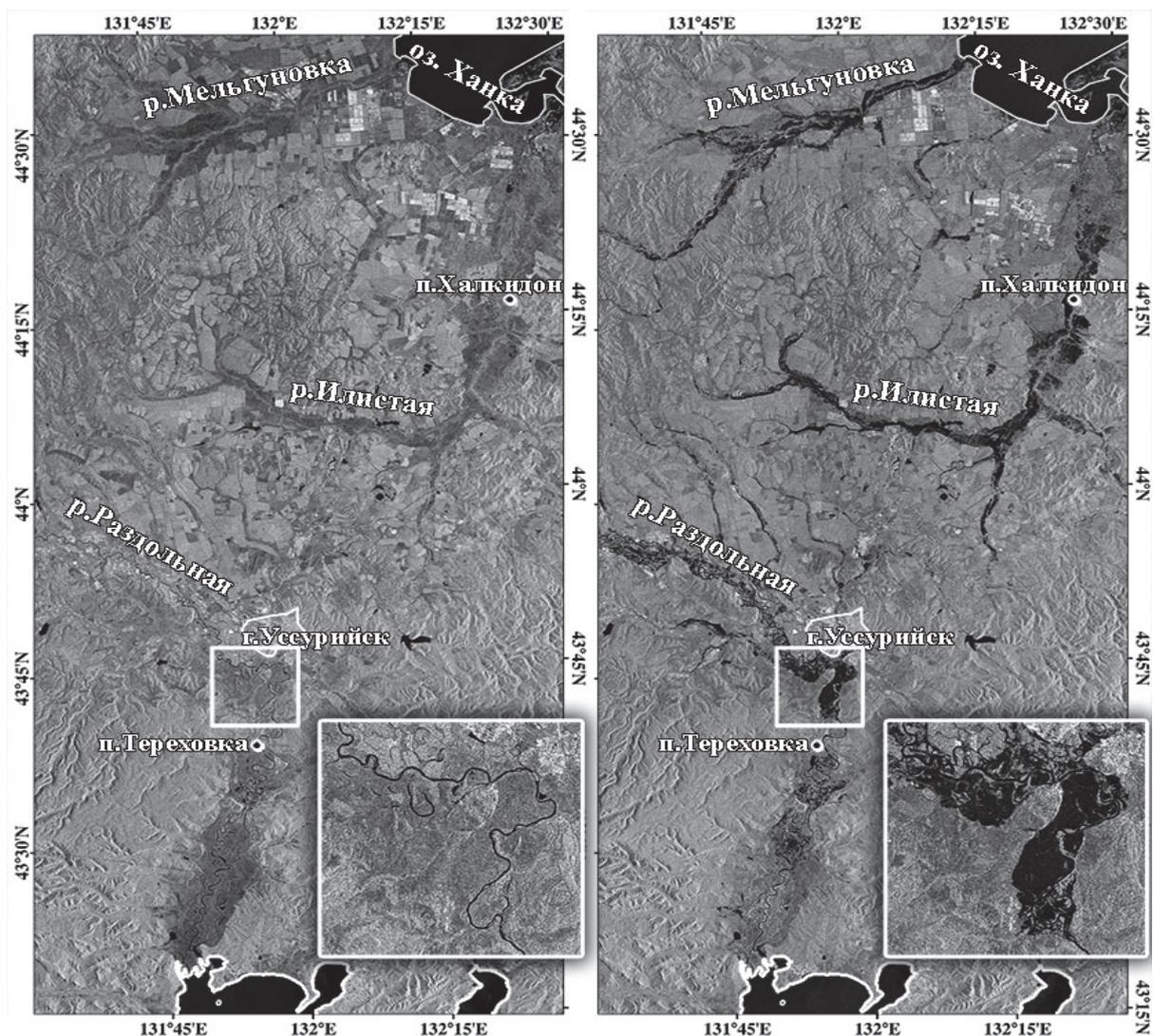


Рис. 1. РСА-изображения, полученные со спутника Sentinel-1B 8 августа (слева) и со спутника Sentinel-1A 26 августа (справа) в 07:21 владивостокского времени  
 Fig. 1. RSA images from the Sentinel-1B satellite on August 8 (left) and from the Sentinel-1A satellite on August 26 (right) at 07:21 Vladivostok time

*Нефтяной разлив в Уссурийском заливе 12 сентября 2018 года*

12 сентября 2018 г. у берегов бухты Лазурной была обнаружена в прибрежных водах нефть. Согласно электронным СМИ общая площадь загрязнения на суше составила более 1500 м<sup>2</sup>. В тот же день в 7:21 по владивостокскому времени акватория зал. Петра Великого была отснята радиолокационной станцией с синтезированной апертурой, установленной на европейском спутнике Sentinel-1B (рис. 2). Анализ этого изображения позволил оценить площадь нефтяного пятна, примерный объём разлитых нефтепродуктов и размер вреда, нанесённого водному объекту.

Площадь нефтяного загрязнения составила примерно 13 км<sup>2</sup>. Судя по внешнему виду загрязнения на представленных в Интернете роликах, пятно образовано, вероятнее всего, тяжёлым судовым топливом (мазутом). Его источник мог быть как на берегу, так и в море: либо у причальных сооружений, либо в открытой части залива.

Для определения возможного места нефтяного разлива были проанализированы данные о скорости и направлении ветра и течений за сутки, предшествующие времени спутниковой съёмки. На основе этих данных по линейной модели был рассчитан дрейф нефтяного пятна (рис. 2).

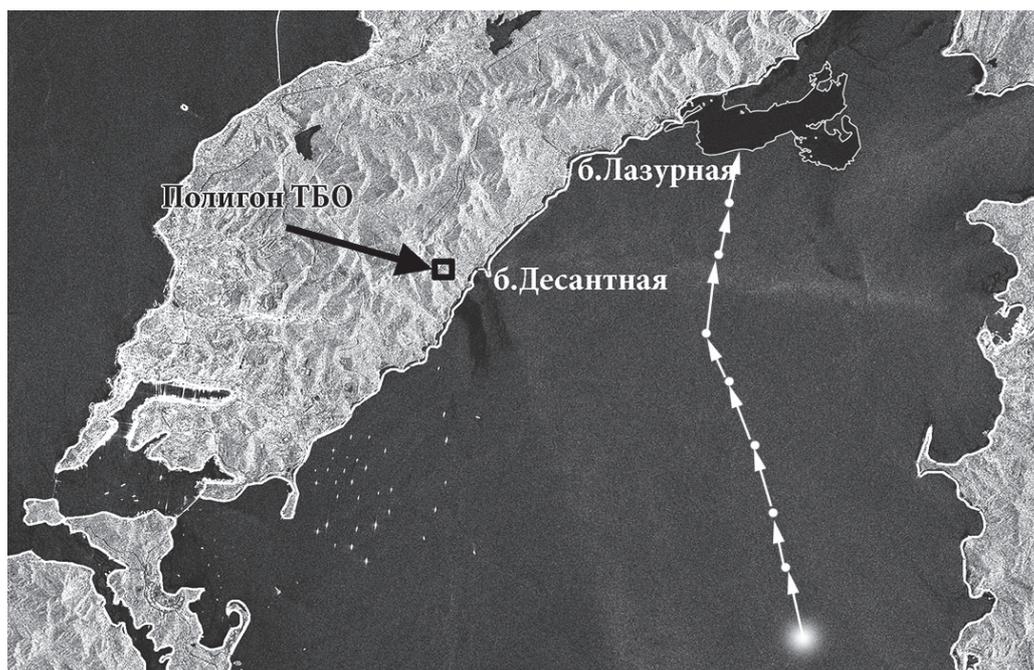


Рис. 2. Фрагмент изображения, полученного 12 сентября 2018 г. в 07:21 владивостокского времени радиолокационной станцией с синтезированной апертурой, установленной на спутнике Sentinel-1B. Нефтяное пятно выделено белым контуром, стрелками показан «обратный» дрейф, рассчитанный по линейной модели

Fig. 2. Part of the image obtained on September 12, 2018 at 07:21 (Vladivostok) a synthetic aperture radar station installed on the Sentinel-1B satellite. The oil slick is highlighted with a white outline, the arrows show the “reverse” drift calculated by the linear model

Утечки топлива происходят в аварийных ситуациях при бункеровке судов, которые осуществляются как у причалов, так и в море, чаще всего на рейде. На спутниковых изображениях нефтяные пятна регулярно регистрируются в указанном районе, но они чаще всего появляются в результате сброса льяльных вод, при которых толщина нефтяных slickов тоньше, чем при разливе мазута, и визуальна вблизи и на спутниковых снимках они выглядят по-другому.

Ущерб, выраженный в денежном эквиваленте, был рассчитан по «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства», утвержденной Министерством природных ресурсов и экологии РФ от 13.04.2009 г., и составил более 22 млн руб. [8].

#### *Мониторинг рыболовства в Японском море*

В предыдущие годы анализировался рыболовный трафик в пределах исключительной экономической зоны КНДР вблизи морской границы с РФ. Интерес к этой теме возник и усиливался в связи с резким ростом в последнее десятилетие антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы юго-западной части зал. Петра Великого, связанной с рыболовством северокорейских рыбаков в Японском море [9–10]. Исследования проводились в основном на основе РСА-изображений с привлечением видимых снимков спутников Landsat-8 и Sentinel-2A/B.

Летом и осенью 2018 г. на берегах Приморья в качестве морского мусора появились деревянные северокорейские рыболовные шхуны. В конце августа около трехсот северокорейских рыбацких шхун неожиданно для всех появились в зал. Ольга, ища укрытия от надвигающегося тайфуна, хотя из нейтральных вод ближе до портов КНДР.

В системах слежения за судами чаще всего применяют спутниковые изображения, полученные радиолокационными станциями с синтезированной апертурой. РСА позволяют регистрировать и отслеживать перемещения судов даже ночью и под облаками. Однако небольшие деревянные шхуны из КНДР на РСА-изображениях практически не видны.

Для оценки плотности рыболовства на акваториях в масштабе морей успешно используют измерения со спутников, выполненные в видимом диапазоне электромагнитного спектра в ночное время. С 1976 г. ночные снимки Земли получали приборами Operational Linescan System (OLS), установленными на космических аппаратах программы Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). 28 октября 2011 г. был запущен спутник NPP. Через три месяца, 24 января 2012 г., он был назван в честь Вернера Суоми (Verner E. Suomi) – метеоролога из University of Wisconsin-Madison, Suomi NPP. Один из сенсоров этого спутника Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) имеет канал для ночной съёмки (Day/Night channel, DNB). Этот прибор работает также на спутнике NOAA-20, запущенном 18 ноября 2017 г.

Для того чтобы оценить районы и масштабы рыболовства в исключительной экономической зоне РФ у побережья Приморского края в 2018 г., были использованы данные ночных съёмок радиометров VIIRS, полученные со спутников Suomi/NPP и NOAA-20 [11]. Во время ловли кальмара рыболовные суда используют яркое освещение, которое в безоблачную погоду хорошо видно со спутников.

На рис. 3 приведено такое изображение, полученное 9 сентября примерно в 3 ч ночи по владивостокскому времени. На нём можно видеть огромное количество судов в Японском море, а в российской экономической зоне напротив бухты Ольга мы насчитали 3100 «огней». Национальную принадлежность промысловых судов по ночным изображениям, конечно, определить невозможно. В наших водах официально разрешена добыча южнокорейским рыбакам, японским и китайским, но нам представляется, что большая часть обнаруженного рыболовного флота принадлежит именно Северной Корее. Для сведения – весь приморский рыбопромысловый флот насчитывает около 500 судов различного типа. В их числе 57 крупнотоннажных судов, 177 среднетоннажных, 98 малотоннажных судов, три танкера, 166 единиц маломерного флота, часть которого используется на плантациях марикультуры (<http://www.primorsky.ru/news/140040/>).

Анализ ночных снимков Японского моря с 2012 по 2018 гг. свидетельствует о том, что масштабы северокорейского промысла в Японском море с каждым годом возрастают. Массовое проникновение северокорейского флота в российскую экономическую зону наблюдается с 2015 г. До 2018 г. суда группировались в основной массе южнее 42° с.ш. В прошедшем году массовый лов в исключительной экономической зоне России начался в третьей декаде июня и закончился в первых числах ноября. Флот КНДР сместился на северо-восток и вытянулся вдоль 12-мильной зоны РФ, образуя «дорогу» к портам Расон и Чхончжин. В октябре северокорейские рыбаки зашли также в экономическую зону Японии. Сильные штормы, вызванные выходом тайфунов, послужили причиной аварийных ситуаций и массовых выносов судов и рыбаков к берегам Приморья и Японии.

### **Заключение**

С каждым годом растёт объём и разнообразие спутниковой информации, а также степень её доступности для потребителей. Результаты дистанционного зондирования Земли из космоса используются не только в профессиональных целях, но и на бытовом уровне.

Реалиями современной повседневной жизни стали спутниковые высокодетальные снимки в различных географических приложениях. Квалифицированный диагноз и прогноз любого географического объекта непременно сопровождается демонстрацией изображений, полученных с геостационарных спутников. Информация о возникновении и протекании чрезвычайных ситуаций (лесных пожаров, наводнений, оползней, разливов нефти и пр.) основывается и визуализируется с применением спутниковых данных.

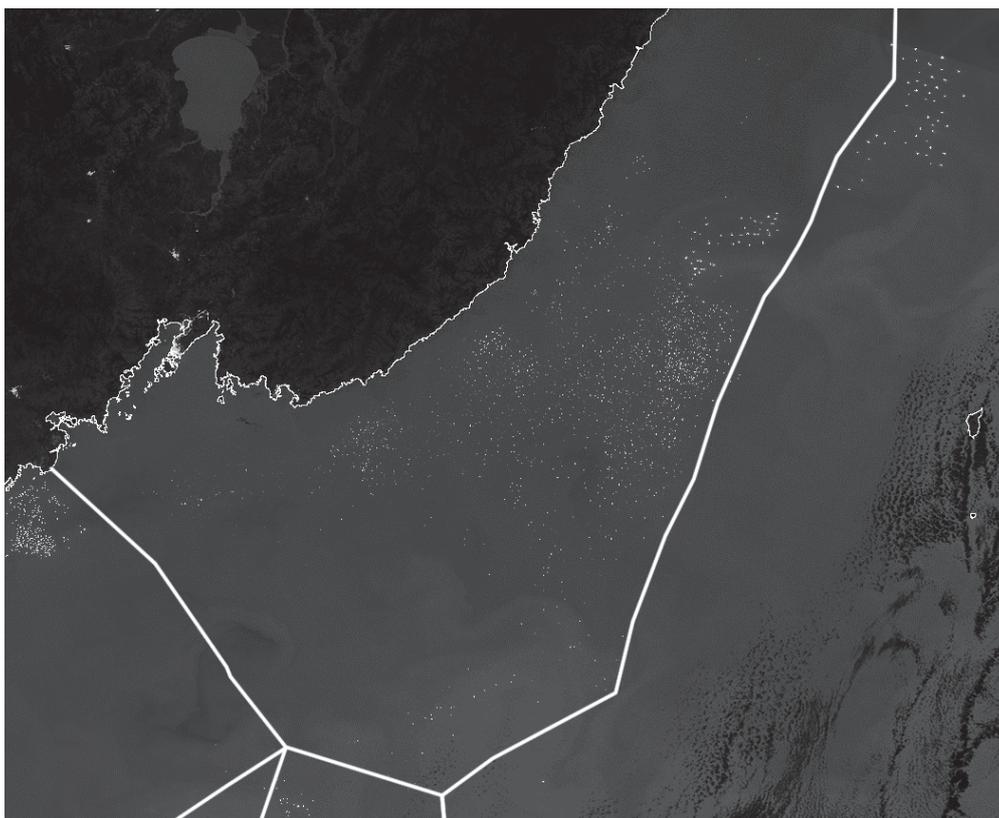


Рис. 3. Спутниковое изображение в 3 ч ночи 9 сентября 2018 г. радиометром VIIRS со спутника Suomi/NPP (белые точки – суда). Линиями показаны морские границы государств  
 Fig. 3. Satellite imagery at 3 am on September 9, 2018 with a VIIRS meter from the Suomi / NPP satellite (white dots – trial). Lines show the maritime borders of states

Оперативный спутниковый мониторинг Земли выходит за границы компетенции специализированных организаций и учреждений и становится частью образовательного процесса. Приведённые в данной работе результаты были получены в ходе комплексных исследований, проводимых по программе научной школы «Экологические проблемы Дальнего Востока», а также при выполнении практических заданий обучающимися по дисциплинам «Методы исследования и обработка информации», «Экологический мониторинг», «ОВОС», «Экология моря», «Геоэкологические проблемы Дальневосточного региона».

Привлечение студентов к работе по обработке и анализу спутниковых наблюдений, являющейся частью исследований, проводимых в рамках научной школы, позволяет пробудить у обучающихся интерес к научной работе, к решению практических задач экологии и природопользования, способствует более эффективному формированию как общекультурных, так и профессиональных компетенций.

### Список литературы

1. Дубина В.А., Катин И.О. Особенности трансграничного переноса поверхностных вод в северо-западной части Японского моря по многолетним спутниковым наблюдениям // Вестн. ДВО РАН. 2018. № 6. С. 13–19.
2. Плотников В.В., Дубина В.А., Круглик И.А., Руденко О.Н. Гидрометеорологические условия в районе о. Аскольда (залив Петра Великого) // Новации в рыбной отрасли – импульс эффективного использования и сохранения биоресурсов Мирового океана: материалы Нац. очно-заоч. науч.-практ. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 60–68.

3. Уколова Е.С., Кустова Е.В., Пономарев В.И., Дубина В.А. Влияние динамики прибрежных вод на воспроизводство *Mizuhopecten yessoensis* в заливе Находка // Океанологические исследования: материалы VIII конф. молодых ученых, 6–9 июня 2018 г. Владивосток, 2018.

4. Дубина В.А., Плотников В.В., Карташова А.П., Бессонов Р.С. Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого из открытой части Японского моря // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток, 2018. С. 82–84.

5. Плотников В.В., Дубина В.А., Круглик И.А. Характеристики ледяного покрова залива Петра Великого в экстремально суровые зимы XXI века по спутниковым данным // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток, 2018. С. 169–170.

6. Дубина В.А., Шамов В.В., Плотников В.В. Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 5. С. 253–256.

7. Ромашечкина Е.А., Черномырдина И.Н., Дабижа М.К. Влияние тайфунов на Владивосток // Окружающая среда и устойчивое развитие – общая ответственность и забота: сб. докл. молодёжной тематической конф. Владивосток: ООО «Литера В», 2018. С. 49–53.

8. Черномырдина И.Н., Дабижа М.К. Нефтяной разлив в Уссурийском заливе 12 сентября 2018 года // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ресурс]. Электрон. дан. (20,6 Mb). Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 121–123. <http://conf.dalrybvтуz.ru/files/articles/153.pdf>.

9. Дубина В.А., Плотников В.В. Спутниковый радиолокационный мониторинг положения судов // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. С. 68–72.

10. Дубина В.А., Плотников В.В., Круглик И.А. Оценка рыболовного трафика вблизи морской границы РФ и КНДР // Новации в рыбной отрасли – импульс эффективного использования и сохранения биоресурсов Мирового океана: материалы Нац. очно-заоч. науч.-практ. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 15–18.

11. Дабижа М.К., Черномырдина И.Н. Мониторинг рыболовства в Японском море по данным ночных съёмок радиометра VIIRS // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ресурс]. Электрон. дан. (20,6 Mb). Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 40–43.

**Сведения об авторах:** Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, доцент кафедры «Экология и природопользование» Дальрыбвтуза, старший научный сотрудник, ТОИ ДВО РАН, e-mail: vdubina@mail.ru;

Плотников Владимир Викторович, доктор географических наук, профессор кафедры «Экология и природопользование» Дальрыбвтуза, заведующий лабораторией, ТОИ ДВО РАН, e-mail: vlad\_plot@poi.dvo.ru;

Круглик Ирина Алексеевна, кандидат биологических наук, e-mail: irina-kruglik@mail.ru;

Дабижа Мария Константиновна, гр. ЭПб-312, e-mail: dabizha-1999@mail.ru;

Черномырдина Ирина Николаевна, гр. ЭПб-312, e-mail: iiren98@mail.ru;

Ромашечкина Екатерина Алексеевна, гр. ЭПб-312, e-mail: ms.ru98@mail.ru.