

УДК 551.467.37

В.А. Дубина¹, В.В. Плотников^{1,2}, Н.М. Вакульская^{1*}¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;² Дальневосточный федеральный университет,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДРЕЙФА ЛЬДА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ОСТРОВА САХАЛИН

На основе измерений спектрорадиометрами MODIS со спутников Terra и Aqua в январе-мае 2015 г. исследована пространственная неоднородность дрейфа льда на северо-восточном шельфе о. Сахалин в районе Венинского и Киринского углеводородных месторождений. Дрейф рассчитывался на временных интервалах 105 мин и сутки. В первом случае средние скорости превышали в два раза средние суточные и составляли 0,2–0,4 м/с с максимумом 1,0 м/с 22 мая в 2,5 км от берега в районе Набильского залива. При максимальной повторяемости векторов дрейфа льда южных румбов наблюдались всевозможные направления. При слабом ветре переменных румбов направление дрейфа было неоднородным по пространству.

Ключевые слова: северо-восточный шельф о. Сахалин, дрейф льда, спектрорадиометр MODIS, Landsat.

Dubina V.A., Plotnikov V.V., Vakul'skaya N.M. Spatial variability of ice drift on the northeastern shelf of Sakhalin // *Izv. TINRO*. — 2015. — Vol. 183. — P. 227–235.

Spatial heterogeneity of the sea ice drift is investigated for the northeastern shelf of Sakhalin around Veninsky and Kirinsky oil fields on the data of spectroradiometers MODIS mounted on the satellites Terra and Aqua obtained in January-May, 2015. The ice drift is calculated for the time intervals of 105 min and one day. For the former case, its velocity was evaluated as 0.2–0.4 m/s (max 1.0 m/s, registered in 2.5 km from the coast of the Nabil Bay on May 22) that is twice faster than the values for daily intervals. All possible directions of the drift were observed, with the highest frequency of the southern ones. The drift wasn't spatially uniform by its direction in conditions of weak, unstable winds.

Key words: northeastern shelf of Sakhalin, ice drift, spectroradiometer MODIS, Landsat.

Введение

Характеристики дрейфа льда на северо-восточном шельфе Сахалина определялись с использованием численных расчётов и информации о дрейфе затёртых во льдах судах, а также измерялись напрямую с применением волномера-перспектометра, аэрофотосъёмки, спутниковых наблюдений, береговых радиолокационных станций (РЛС),

* Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dubina@poi.dvo.ru; Плотников Владимир Викторович, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru; Вакульская Надежда Михайловна, научный сотрудник, e-mail: vakulskaya@poi.dvo.ru.

Dubina Vyacheslav A., Ph.D., senior researcher, e-mail: dubina@poi.dvo.ru; Plotnikov Vladimir V., D.Sc., professor, head of laboratory, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru; Vakul'skaya Nadezhda M., researcher, e-mail: vakulskaya@poi.dvo.ru.

автономных буёв ARGOS (см. ссылки в работе А.А. Богдановского с соавторами (2009)). Наиболее представительными являются измерения по спутниковым изображениям за период 1985–1992 гг. (Астафьев и др., 1997; Калинин, 1999) и по трём РЛС (суммарные измерения охватывают период 1985–1996 гг.) (Астафьев и др., 1997; Тамбовский и др., 2001*; Тихончук и др., 2001). Источник спутниковых данных в упомянутых работах не указан, но, вероятнее всего, это измерения радиометра AVHRR со спутников серии NOAA в видимом диапазоне спектра, которые имеют пространственное разрешение 1,1 км в надире. Судя по представленным рисункам, карты дрейфа льда, построенные по этим данным, не отличались особой детальностью. Радиолокационными станциями измеряли характеристики дрейфа на максимальном расстоянии 15–20 км от берега с пространственным разрешением порядка 20 м (Астафьев и др., 1997; Тамбовский и др., 2001*). Станции располагались на мысе Левенштерна (54,1°N) и возле посёлков Одопту (53,5°N) и Комрво (51,1°N) (Тихончук и др., 2001). Между Одопту и Комрво расстояние составляет порядка 255 км, и на этом участке шельфа находятся почти все месторождения проектов Сахалин-1-3, в том числе Кириновское (рис. 1). На этом месторождении впервые в российской практике для добычи применяется подводный добычный комплекс**. Газовая смесь из нескольких скважин собирается в манифольде, а затем передаётся по трубопроводу на берег. Такой подводный комплекс позволяет добывать углеводороды даже подо льдом, что вызывает повышенный интерес к детализации ледового режима на акватории Кириновского блока месторождений, особенно характеристик дрейфующего льда.



Рис. 1. Карта нефтегазовых проектов Сахалин-1-3 (<http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/sakhalin3/kirinskoye/>). Пунктиром показан район, для которого рассчитывался дрейф льда

Fig. 1. Scheme of oil and gas projects Sakhalin-1-3 (from: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/sakhalin3/kirinskoye/>). The area of the ice drift evaluation is shown by dotted line

Целью настоящей работы является исследование пространственной изменчивости дрейфа льда у восточного побережья о. Сахалин в районе Венинского и Кириновского блоков нефтегазовых месторождений.

* Тамбовский В.С., Путов В.Ф., Шевченко Г.В., Тихончук Е.А. Морфометрия и динамика льдов на акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин. 2001. URL: <http://www.sakhgu.ru/expert/Geography/2001/14/Index.html>.

** Газпром. Проекты. Месторождения. Кириновское месторождение. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/sakhalin3/kirinskoye/>.

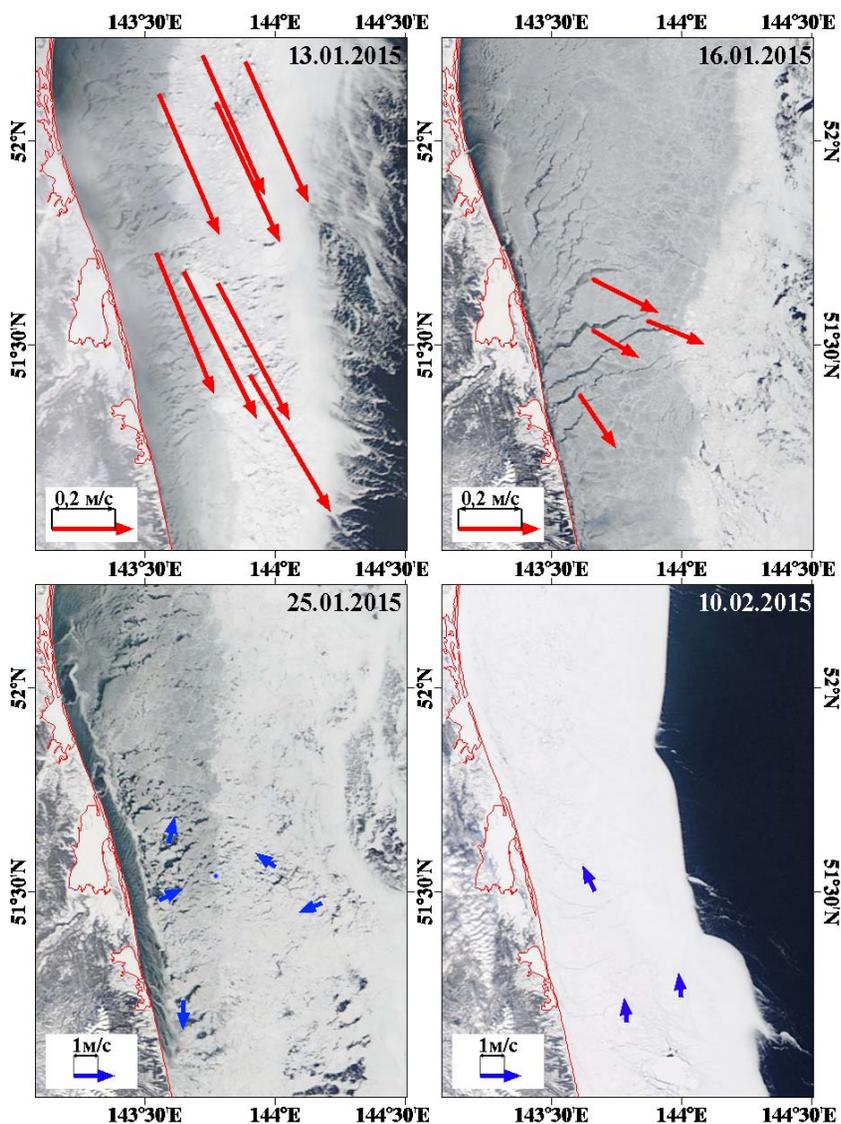
Материалы и методы

Для анализа динамики ледовой обстановки использовались изображения в истинном цвете спектро радиометров MODIS (разрешение 250 м) со спутников Terra и Aqua и радиометров спутников Landsat-7 и Landsat-8 (разрешение 30 м), принятые в январе-мае 2015 г. Изображения в истинном цвете по измерениям MODIS создаются комбинацией 1-го (длина волны $\lambda = 0,645$ мкм, разрешение 250 м), 4-го ($\lambda = 0,555$ мкм, разрешение 500 м) и 3-го ($\lambda = 0,469$ мкм, разрешение 500 м) спектральных каналов (<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=SakhalinIsland>). Для данных ETM+ Landsat-7 и OLI Landsat-8 используются соответственно 1–3 и 2–4-е каналы (<http://glovis.usgs.gov/>). Снимки обрезались до границ 51,0–52,25° с.ш. 143,1–144,5° в.д. (рис. 1).

Скорость и направление дрейфа льда рассчитывали методом маркеров по двум изображениям MODIS на временном интервале 105 мин и одни сутки, а также по частично перекрывающимся сценам спутников Landsat-7 и Landsat-8, полученным через сутки. Всего в анализе использовались 148 изображений MODIS и 23 — Landsat, по которым были построены 11 карт «суточного» дрейфа и 20 карт дрейфа за 105 мин. На рис. 2–7 представлен ледяной покров в исследуемом районе по данным спектро радиометра MODIS со спутника Terra за период с 13 января по 29 мая.

Рис. 2. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектро радиометром MODIS со спутника Terra. Синие стрелки — дрейф льда на дату снимка за 105 мин; красные стрелки — дрейф, рассчитанный за следующие за датой снимка сутки

Fig. 2. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Blue arrows — ice drift in 105 min. interval on the date of picture; red arrows — ice drift in the day after the date of picture



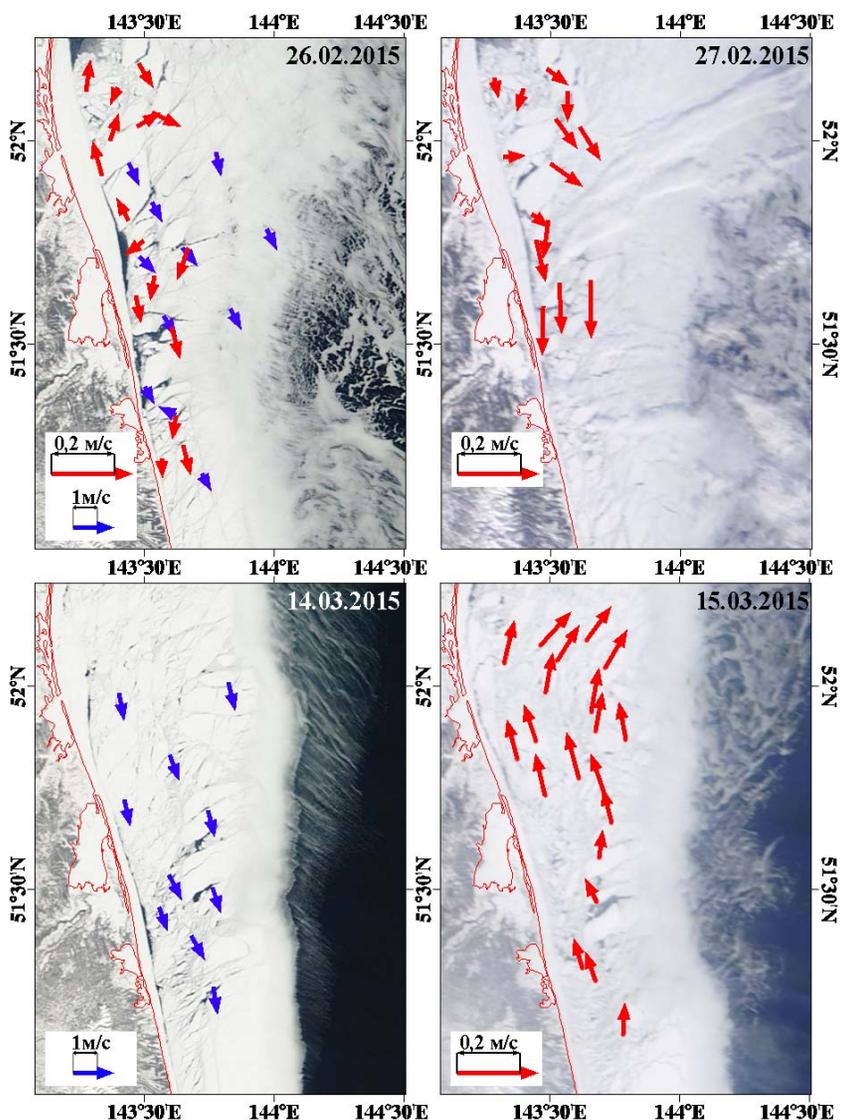


Рис. 3. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектрометрией MODIS со спутника Terra. Синие стрелки — дрейф льда на дату снимка за 105 мин; красные стрелки — дрейф, рассчитанный за следующие за датой снимка сутки

Fig. 3. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Blue arrows — ice drift in 105 min. interval on the date of picture; red arrows — ice drift in the day after the date of picture

При анализе ледовой обстановки использовались измерения скорости и направления ветра на метеорологических станциях «Погиби» и «Комрво».

Результаты и их обсуждение

В десяти случаях из одиннадцати скорость суточного дрейфа на полигоне не превышала 0,15 м/с и только 13–14 января на всей акватории составляла 0,40 м/с (рис. 2). Скорости дрейфа льда, рассчитанные на временном интервале 105 мин, в среднем составляли 0,2–0,4 м/с с максимумом 1,0 м/с (22 мая в 2,5 км от берега в районе Набильского залива, рис. 6). В.С. Тамбовский с соавторами* на основе анализа измерений с трёх береговых радиолокационных станций делают вывод, что основной особенностью дрейфа льда на северо-восточном шельфе о. Сахалин являются обусловленные

* URL: <http://www.sakhgu.ru/expert/Geography/2001/14/Index.html>.

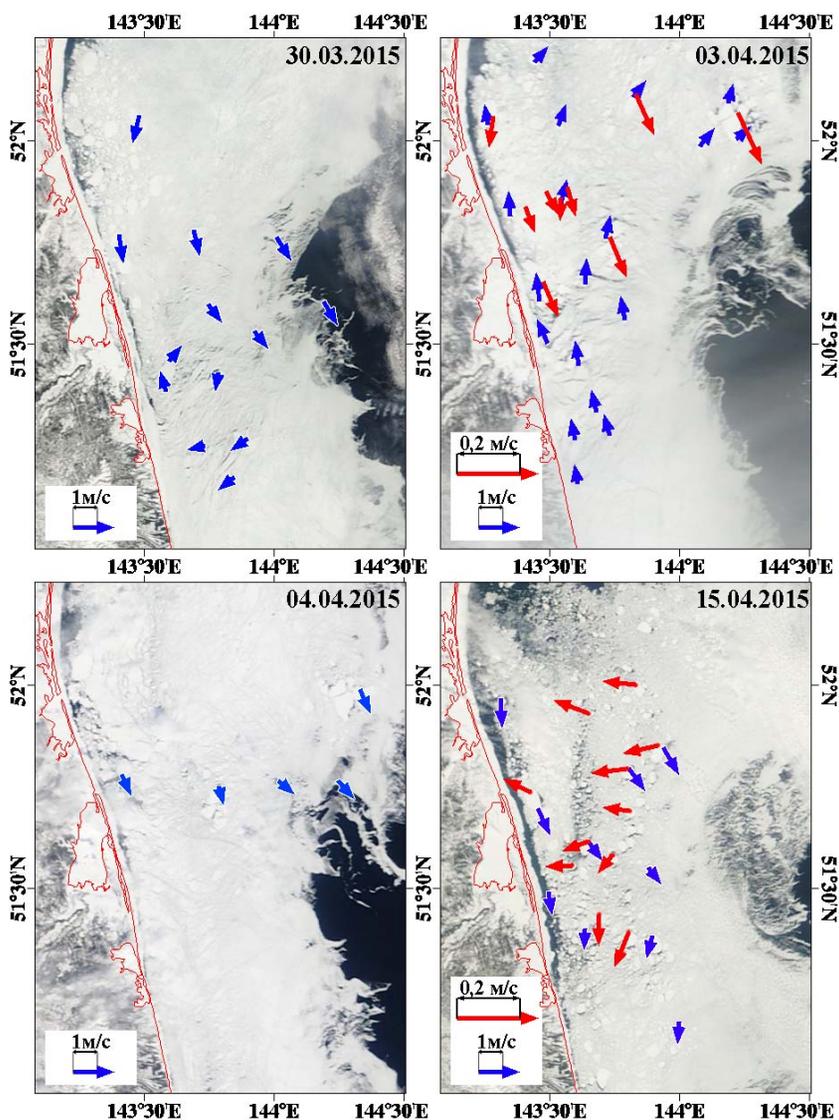


Рис. 4. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектрометрией MODIS со спутника Terra. Синие стрелки — дрейф льда на дату снимка за 105 мин; красные стрелки — дрейф, рассчитанный за следующие за датой снимка сутки

Fig. 4. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Blue arrows — ice drift in 105 min. interval on the date of picture; red arrows — ice drift in the day after the date of picture

приливами почти реверсивные движения льда, совершаемые вдоль берега. При этом отмечается, что на северных станциях Левенштерна и Одопту преобладает суточный прилив, а на станции Комрво, которая находится в южной части района исследования, влияние приливов незначительно и основную роль в спектре скоростей дрейфа льда играют колебания в синоптическом диапазоне частот, обусловленные ветром. Превышение в два-три раза средних скоростей дрейфа, рассчитанных по спутниковым данным на интервале 105 мин, над скоростями, рассчитанными на суточном промежутке времени, объясняется, вероятнее всего, попаданием времени зондирования с полярно-орбитальных спутников в цикл суточного прилива. Можно сделать заключение, что в рассматриваемом районе приливы играют существенную роль и приливная компонента дрейфа льда имеет тот же порядок величины, что и средняя ветровая составляющая.

Как видно на рис. 2–7, в исследуемом районе наблюдались всевозможные направления дрейфа льда. Генеральный дрейф в 14 случаях имел направления южных румбов,

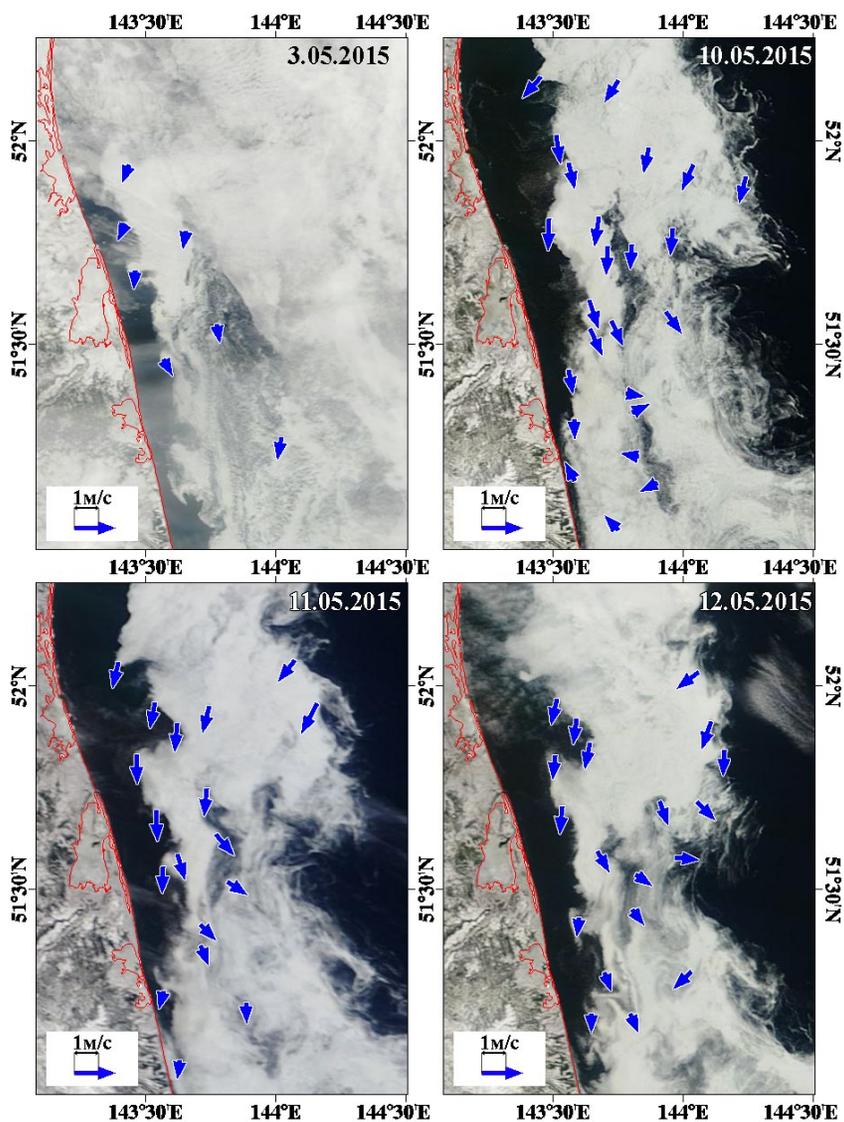


Рис. 5. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектрометрией MODIS со спутника Терра. Стрелками показан дрейф льда, рассчитанный по изображениям MODIS, принятым с интервалом 105 мин с двух спутников

Fig. 5. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Arrows — ice drift in 105 min. interval calculated on the data received from two satellites

в 4 — северных. 15–16 апреля лёд смещался на запад (рис. 4), а 28 мая — на восток (рис. 7). В остальные дни направление дрейфа было неоднородным по пространству. 25 января в 15 км к востоку от Набильского залива лёд смещался со скоростью 0,25 м/с на северо-восток и северо-северо-восток (см. рис. 2). А в тридцати километрах от берега лёд дрейфовал на северо-запад и запад-северо-запад. Между этими участками ледяного покрова образовалась зона конвергенции с неподвижным льдом (рис. 2). 26–27 февраля лёд к югу от Набильского залива дрейфовал со скоростями 0,01–0,06 м/с на юг, а к северу — со скоростями 0,01–0,06 м/с на север (рис. 3). Причём в южной части района скорости увеличивались при удалении от берега, а в северной — уменьшались. 30 марта лёд в северной части района исследования смещался к югу со скоростью 0,40 м/с, а в южной части наблюдался антициклонический круговорот с орбитальными скоростями 0,05–0,15 м/с (рис. 4). В результате к востоку от Набильского залива образовалась область конвергенции со сжатием льда. В мае несколько раз в северной части района

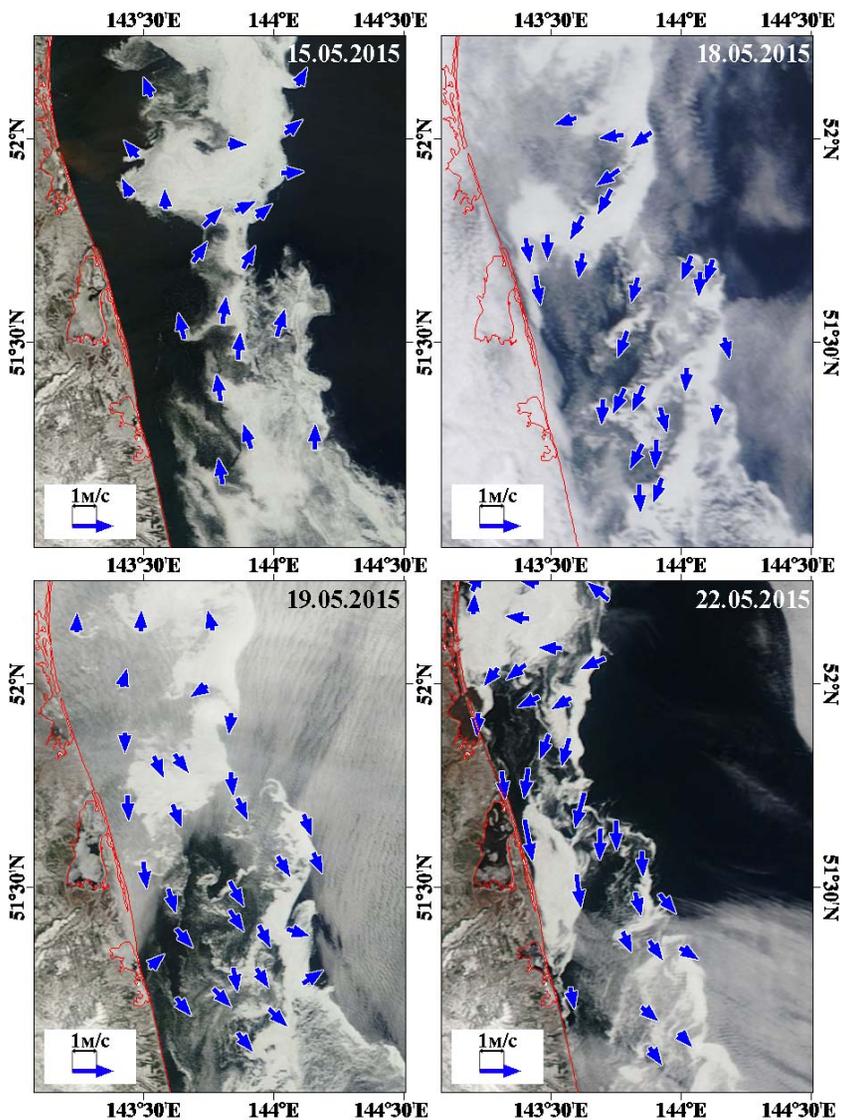


Рис. 6. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектрометрией MODIS со спутника Терра. Стрелками показан дрейф льда, рассчитанный по изображениям MODIS, принятым с интервалом 105 мин с двух спутников

Fig. 6. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Arrows — ice drift in 105 min. interval calculated on the data received from two satellites

лёд смещался на юг со скоростями 0,40–0,60 м/с, в южной части у берега — на север, а мористее — на восток со скоростями 0,05–0,20 м/с (10, 26 и 27 мая, рис. 5 и 7). 29 мая на севере района генеральный дрейф имел южное направление, а на юге — восточное (рис. 7). В большинстве случаев разнонаправленный дрейф наблюдался при слабых ветрах переменных направлений (скорость ветра на метеостанции «Погиби» не превышала 4 м/с). Только 10 и 26 мая скорость южного ветра в Погиби достигала 7 м/с. На рис. 4 видно, что 3 и 10 апреля направления 105-минутного и суточного дрейфа различаются. Причиной смены направления смещения льда послужила перемена направления ветра в течение суток.

Каких либо выраженных закономерностей в пространственном распределении модуля вектора дрейфа обнаружено не было. По направлению от берега и с севера на юг значения скоростей в одних случаях уменьшались, в других — увеличивались или были примерно одинаковыми.

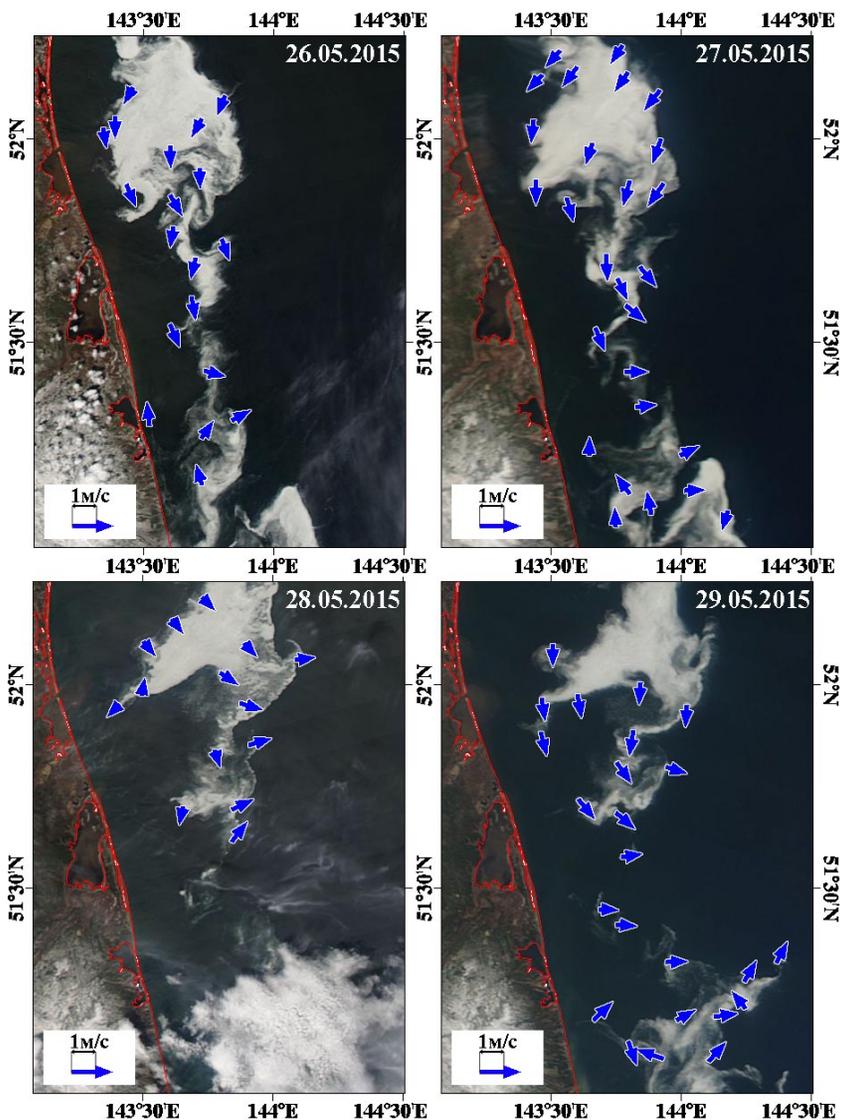


Рис. 7. Ледяной покров в исследуемом районе на видимых изображениях, полученных спектрометрией MODIS со спутника Terra. Стрелками показан дрейф льда, рассчитанный по изображениям MODIS, принятым с интервалом 105 мин с двух спутников

Fig. 7. Ice cover in the surveyed area on optical images received by spectroradiometer MODIS mounted on Terra satellite. Arrows — ice drift in 105 min. interval calculated on the data received from two satellites

Заключение

В январе-мае 2015 г. среднесуточная скорость дрейфа льда на северо-восточном шельфе о. Сахалин не превышала 0,15 м/с и только 13–14 января на всей акватории составляла 0,40 м/с. Скорости дрейфа льда, рассчитанные на временном промежутке 105 мин, в среднем составляли 0,2–0,4 м/с с максимумом 1,0 м/с (22 мая в 2,5 км от берега в районе Набильского залива). Наблюдались всевозможные направления дрейфа льда, но максимальную повторяемость имели направления южных румбов. При слабом ветре переменных румбов направление дрейфа было неоднородным по пространству.

Рассчитанные средние и максимальные значения скорости дрейфа льда примерно в 2 раза ниже значений, полученных в 1985–1996 гг. Если предположить, что упомянутые во введении прошлые наблюдения репрезентативны и для района Венинского и Киринского блоков нефтегазовых месторождений, то причиной понижения скорости

дрейфа может быть либо особенность данного сезона, либо ослабление муссонной циркуляции в последнее десятилетие (Плотников и др., 2015).

Список литературы

Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусов П.А. Торосы и стамухи Охотского моря : моногр. — СПб. : Прогресс-Погода, 1997. — 197 с.

Богдановский А.А., Рыбалко С.И., Аршинов И.А. Параметрическая модель дрейфа льда для условий восточного шельфа Сахалина // Сб. статей РЭА. — 2009. — № 1. — С. 198–211.

Калинин Э.Н. Исследования дрейфа льда северо-восточного шельфа о. Сахалин : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 1999. — 26 с.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 172 с.

Тихончук Е.А., Шевченко Г.В., Морозов Е.Н. Деформации ледяного покрова у северо-восточного побережья острова Сахалин, обусловленные приливами // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов : сб. статей / отв. ред. Г.В. Шевченко. — Южно-Сахалинск : Институт морской геологии и геофизики Сахалинского научного центра ДВО РАН, 2001.

Поступила в редакцию 17.08.15 г.