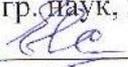


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Геолого-географический факультет
Кафедра географии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

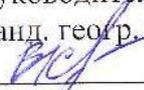
Руководитель ООП
по направлению подготовки
05.04.02 География
д-р геогр. наук, профессор
 Н.С. Евсева
«25» 05 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СНИМКОВ
SENTINEL-1 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЙОНОВ
УГЛЕВОДОРОДОВ
(НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ СУМАТРЫ)

по основной образовательной программе подготовки магистров
Направление подготовки 05.04.02 – География

Ганторо Гураг

Руководитель
канд. геогр. наук, доцент
 В. В. Хромых
подпись
«25» мая 2021 г.

Студент группы № 021910
 Г. Гураг
подпись

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Геолого-географический факультет
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП
по направлению подготовки
05.04.02 География,
д-р геогр. наук, профессор
Н.С. Евсева
«31» марта 2021 г.

ЗАДАНИЕ

по подготовке магистерской диссертации

магистранту Ганторо Турату группы 021910
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема магистерской диссертации Алгоритмизированный анализ радиолокационных снимков Sentinel-1 для идентификации перспективных районов углеводородов (на примере Северной Суматры)

2. Срок сдачи выполненной магистерской диссертации:

а) на кафедре 25.05.2021

б) в ГЭК 05.06.2021

3. Исходные данные к диссертации Целью работы является разработка метода анализа радарных снимков SAR для поиска нефтяных пятен на поверхности моря. Объект исследования - морская бассейн в районе Северной Суматры (Индонезия). Задачи - аналитический обзор литературы по теме, наличие взаимосвязь между нефтяной пленкой на поверхности и геологической структурой.
если и задачи исследования, объекты и методы исследования, оценка достоверности результатов

4. Краткое содержание диссертации Аналитический обзор литературных источников - май 2020 г.
дать перечень основных разделов, сроки выполнения и ожидаемые результаты

Физико-географ. характеристика района - октябрь 2020 г.
Данные и методы исследования - декабрь 2020 г.
Результаты анализа - май 2021 г.

В результатах показать подборку параметров анализа и верификацию получ. знаков

5. Указать предприятие (организацию), по заданию которого выполняется диссертация НИ ТГУ

6. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных иллюстраций) схема района исследования, тектоническая карта, карты наличия нефтяных пятен при различных условиях в районе

7. Дата выдачи задания «31» марта 2021 г. исследования

Руководитель магистерской диссертации доцент каф. географ. ТГУ *И.Хромых В.*
Должность, место работы, подпись, инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению 31-03-2021 *Ганторо Турату*
Дата, подпись магистранта

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена поиску перспективных районов углеводородов на основе определения наличия нефтяной плёнки на поверхности моря с помощью дистанционного зондирования Земли. Объектом исследования является морской бассейн Северной Суматры. Проведён аналитический обзор литературных источников по теме исследования. Рассмотрены автоматические и полуавтоматические методы анализа спутниковых радиолокационных изображений Sentinel-1 SAR с целью определения нефтяных пятен на поверхности моря. Разработана методика определения районов просачивания нефти с использованием изображений Sentinel-1 SAR, данных о ветре и морских течениях. Рассмотренный подход может применяться в качестве одного из исходных методов разведки нефти и газа.

ANNOTATION

The work is devoted to the search for promising areas of hydrocarbons based on the determination of the presence of an oil film on the sea surface using remote sensing of the Earth. The object of the study is the North Sumatra sea basin. An analytical review of the literature sources on the topic of the study is carried out. Automatic and semi-automatic methods of analysis of Sentinel-1 SAR satellite radar images for the purpose of determining oil spills on the sea surface are considered. A method has been developed for determining oil seepage areas using Sentinel-1 SAR images, wind and sea current data. The considered approach can be used as one of the initial methods of oil and gas exploration.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Аналитический обзор литературных источников	8
1. 1. Микроволновое дистанционное зондирование.....	8
1. 2. Sentinel-1	9
1. 3. Вода в радиолокационном снимке	12
1. 4. Просачивание Нефти	13
1. 5. Обнаружение просачивания нефти на поверхность моря	14
1. 6. Движение и геометрия разлива нефти в океане.....	16
1. 7. Ограничения SAR	18
1. 8. Явления Look-alike	18
Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований	21
2. 1. Географическое положение	21
2. 2. Геологическое строение Бассейн Северной Суматры	22
2. 2. 1. Геотектоническое строение.....	23
2. 2. 2. Стратиграфия.....	25
2. 3. Климат.....	29
2. 4. Морские течения.....	30
Глава 3. Данные и методы исследования	33
3. 1. Данные	33
3. 2. Программное обеспечение.....	36
3. 3. Методы исследования	37
3. 3. 1. Предварительная обработка.....	37
3. 3. 2. Метод обработки	38
3. 3. 3. Окончательная обработка.....	39
3. 3. 4. Анализ данных.....	40
Глава 4. Результаты анализа.....	41

4. 1. Проверка результатов адаптивного порогового метода	41
4. 2. Связь просачиваний нефти с морскими течениями	73
4. 3. Связь просачивания нефти с перспективным углеводородным районом.....	85
Заключение.....	89
Список литературы.....	92

Введение

Актуальность: Утечка углеводородов из морских нефтяных скоплений приводит к отчетливым изменениям в отдельных районах морского дна и влияет на отражательную способность поверхности моря. Геология этих участков предполагает, что просачивание углеводородов из морских нефтяных скоплений имеет тенденцию сохраняться в определенном месте по крайней мере сотни лет (Behrens, 1998). Обнаружение просачивания углеводородов является идеальным методом для оценки размеров крупных морских нефтеносных бассейнов.

Согласно теории просачивания углеводородов, такие нефтепроявления отмечаются во всех известных нефтяных регионах мира. В морских бассейнах просачивающаяся нефть, выходящая из накопленной нефти, достигает уровня моря, как правило, в виде покрытых нефтью газовых пузырьков (Tedesco, 1995). Затем они создают своеобразную морю, который можно определить с помощью спутника (MacDonald et al., 1996).

Основной принцип обнаружения поверхностных пятен с помощью радиолокационных изображений с синтетической апертурой (SAR) существует уже давно. SAR чувствителен к шероховатости поверхности моря из-за коротких волн. Пятна на поверхности моря вызывают снижение взаимодействия воздуха и моря, что приводит к ослаблению капиллярных волн. Эффект затухания уменьшает коэффициент обратного рассеяния уровня моря, что приводит к появлению более темных областей (темных пятен) на изображениях SAR, чем в других областях уровня моря (Alpers et al, 1988).

Идентификация нефтяных ресурсов путем обнаружения просачивания нефти с использованием метода дистанционного зондирования, в частности радиолокационного, является методом, предпочитаемым международными нефтяными компаниями. Этот метод использовался для предварительной разведки на ранних стадиях поиска накопленной нефти с тех пор, как спутник SAR был запущен в космос. За последние двадцать лет был проведен ряд исследований по разработке методов обнаружения углеводородов с использованием многовременных SAR-изображений со всего мира (Williams et al., 1998).

Исследования с использованием SAR на нефтяных разливах / просачиваниях (сликах) в океанах доказали свою эффективность, независимо от того, берутся ли данные в течение дня, ночи и всех типов погоды. В последнее десятилетие было задокументировано множество исследований по автоматическим и полуавтоматическим методам обнаружения разливов нефти (Solberg et al., 2004) (Topouzelis, 2003), и они предоставляют богатые знания для производственных методик с использованием спутниковых снимков Sentinel-1. Особое значение использование данных методов

обнаружения нефтеносных структурно-геоморфологических объектов имеет для перспективного района нефтедобычи в Северной Суматре (Индонезия).

Цель исследования. Целью исследования является разработка автоматического и полуавтоматического методов анализа радиолокационных изображений Sentinel-1 SAR, способных помочь в интерпретации разливов нефти или просачивания нефти для идентификации перспективных районов углеводородов.

Основные задачи исследования:

1. Провести аналитический обзор литературы по обнаружению нефтяных пятен на поверхности моря с помощью автоматических и полуавтоматических методов.
2. Проанализировать характеристики нефтепроявлений.
3. Найти взаимосвязь между нефтяной плёнкой на поверхности моря и геологическими условиями в районе исследований.
4. Определить потенциальную площадь залегания углеводородов в районе исследований.

Объект исследования: Морской бассейн в районе Северной Суматры.

Предмет исследования: Метод поиска нефтеносных тектонических структур и разливов нефти на поверхности моря с помощью анализа спутниковых радиолокационных изображений Sentinel-1.

Научная новизна:

1. Впервые для района Северной Суматры была проведена идентификация нефтяной плёнки на поверхности моря с использованием изображений SAR и автоматических методов Misra и Balaji. Наше исследование показало, что оба метода могут быть использованы и являются эффективными инструментами для обнаружения районов разливов нефти на морской поверхности, если ветровые условия удовлетворяют требованиям.

2. Разработанная технология интеграции SAR-изображений в геоинформационные системы (ГИС) позволяет улучшить результаты анализа характеристик фильтрационных характеристик нефти и может быть использована в качестве вспомогательных данных, связанных с геолого-геофизическими исследованиями залежей углеводородов на шельфе бассейна Северной Суматры.

3. Проведён анализ взаимосвязи между ветрами и морскими течениями для определения направления и геометрии просачивания нефти в районе исследования.

Положения, выносимые на защиту.

1. Идентификация нефтепроявлений на поверхности моря осуществляется путём анализа радиолокационных изображений Sentinel-1 SAR на основе разницы среднего

значения обратного рассеяния от размера фонового окна, используемого с пороговым значением 2 дБ.

2. Разработанная методика анализа радиолокационных снимков Sentinel позволяет с высокой степенью достоверности выявлять нефтепроявления на поверхности моря и прогнозировать расположение таких структурно-геоморфологических объектов, как «ловушки нефти».

Практическая значимость.

1. Разработанный метод идентификации просачивания нефти с помощью SAR-снимков может быть использован нефтедобывающими компаниями на предразведочном этапе.

2. Анализ спутниковых снимков и геологических данных может быть положен в основу определения перспективных площадей углеводородов.

3. Метод идентификации нефтяных пятен также можно использовать для обнаружения загрязнения в океанах.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Основной текст представлен на 97 страницах и включает в себя 12 графиков, 38 рисунков. Список литературы содержит 72 источника.

Глава 1. Аналитический обзор литературных источников

1. 1. Микроволновое дистанционное зондирование

Микроволновое дистанционное зондирование – это измерение микроволновой энергии, которая отражается или излучается поверхностью земли с помощью активного или пассивного датчика. Существует два вида микроволновых датчиков: активные и пассивные. Пассивные датчики (радиометры) измеряют интенсивность энергии, излучаемой поверхностью земли. Это связано с физической температурой излучающего слоя и излучательной способностью поверхности. Активные датчики, с другой стороны, передают электромагнитный импульс (определенной длины волны) и измеряют энергию, рассеянную обратно от поверхности земли. Радиолокационное обнаружение и дальность действия - это активная система датчиков, которая освещает цель, посылая пучок пульсирующих электромагнитных микроволн, и измеряет эхо, отраженное целью. Местоположение цели оценивается путем измерения точной задержки эхо-сигнала. Эти пульсирующие волны либо горизонтально, либо вертикально поляризованы. Волны, движущиеся перпендикулярно поверхности Земли, называются вертикально поляризованными волнами, а волны, движущиеся параллельно поверхности земли, - горизонтально поляризованными волнами. Измеряемый сигнал зависит как от свойств поверхности мишени, так и от характеристик датчика (Ulaby & Lang, 2015; Woodhouse, 2006). Характеристики датчиков, такие как длина волны, угол наблюдения (угол обзора) и поляризация радиолокационной системы, влияют на измеренный сигнал обратного рассеяния (Valenzuela, 1978). Необходимо, чтобы объект интереса выглядел шероховатым, чтобы произвести чувствительный сигнал обратного рассеяния по направлению к датчику. Поэтому шероховатость поверхности всегда зависит от длины волны передаваемого сигнала.

Рабочая длина волны датчика обозначается полосой пропускания. Некоторые из наиболее часто используемых диапазонов в радиолокационной визуализации-это X, C, S и L диапазоны. Миссия спутниковой программы информирует объект исследования, который в свою очередь определяет полосы, наиболее подходящие для зондирования объекта. Когда электромагнитная волна падает на поверхность, она генерирует электрическое поле (диполь), и форма мишени определяет ориентацию диполя. Мишени с такой же ориентацией, как и волновая поляризация, дают более высокий разброс, чем другие (Калмыков и Пустовойтенко, 1976). В зависимости от системы датчиков, радар может быть одно -, двух-или четырехполяризованным. Одиночные поляризованные датчики передают и измеряют сигнал в одной плоскости (горизонтальной или

вертикальной). Двойной поляризованный датчик посылает падающий луч в одной поляризованной плоскости и принимает сигналы как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, а четырехполярные датчики могут посылать и принимать сигналы в обеих поляризованных плоскостях. Помимо поляризации, рассеяние, возникающее при взаимодействии волн с мишенью, зависит от диэлектрических свойств, ориентации и шероховатости мишени (Beckmann & Spizzichino, 1963; Shmelev, 1972).

Радар с синтезированной апертурой (SAR), радиолокационная система датчиков, установленная на большинстве радиолокационных спутников, находящихся в настоящее время в космосе, представляет собой радиолокационную систему бокового обзора. Он использует траекторию полета платформы для имитации чрезвычайно большой антенны (апертуры) в электронном виде, и это генерирует изображения дистанционного зондирования с высоким разрешением. Основным источником данных, используемых в данном исследовании, являются данные со спутника Sentinel-1, полученные датчиком SAR С-диапазона (C-SAR). Это прямоугольная антенна с углом падения от 20° до 46°. Чтобы устранить эффект конструкции датчика, все изображения SAR проходят стандартный набор этапов обработки, и многое другое можно найти в (Carrara, Goodman & Majewski, 1995).

1. 2. Sentinel-1

Sentinel-1-это спутниковая миссия Европейского космического агентства (ЕКА/ESA), запущенная в Апреле 2014 года. Он регулярно предоставляет данные SAR, которые широко используются для различных применений, например, наблюдения за морской средой, обнаружения морского льда и разливов нефти, мониторинга городских районов, рисков движения земной поверхности и изменения климата, а также картографирования в поддержку гуманитарной помощи в кризисных ситуациях (Attema, 2005). Высококачественные данные, предоставляемые на открытой и бесплатной основе, являются привлекательным источником информации для исследователей. Спутник летит по круговой орбите на высоте 693 км, с 12-дневным циклом повторения для одного спутника (ESA, 2012). Прибор SAR работает в С-диапазоне, который находится в диапазоне частот 4-8 GHz (длина волны 7,5–3,75 см), в микроволновой части электромагнитного спектра.

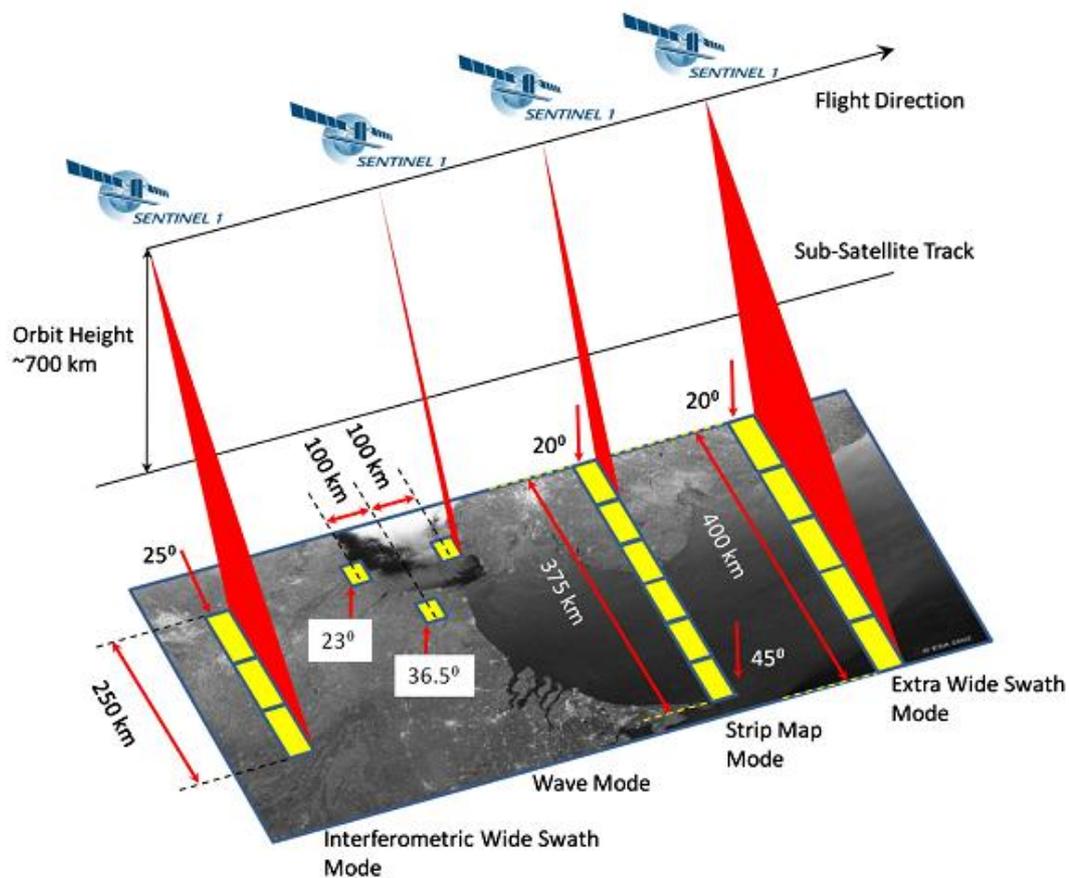


Рис. 1. Режимы сбора данных Sentinel-1 (ESA, 2013)

Sentinel используется в широком спектре приложений из-за удобного доступа к его данным и потому, что он является бесплатным. Как видно из рис. 1, данные могут быть собраны в четырех режимах:

- Режим Stripmap (SM) - сбор данных с пространственным разрешением 5 x 5 м и шириной полосы 80 км (полоса поверхности, захваченная спутником, с которой собираются и затем анализируются данные). SM фактически является прямым продолжением миссий ERS и Envisat. Европейский спутник дистанционного зондирования (ДЗЗ), запущенный в 1991 году, и Envisat в 2002 году были двумя из первых спутниковых программ наблюдения Земли, финансируемых ЕКА/ESA. Режим Stripmap используется в основном для поддержки мероприятий по борьбе со стихийными бедствиями.
- Режим Interferometric Wide Swath (IW) - имеет более широкую полосу, достигающую до 250 км с пространственным разрешением 5 x 20 м. Этот режим использует наблюдение местности с прогрессивным сканированием SAR

(TOPSAR) для создания более качественных данных. Это режим приобретения земли по умолчанию.

- Режим Extra Wide Swath (EW) - в основном используется для мониторинга льдов и разливов нефти, а также для морских и полярных районов. Он подходит для этих применений из-за своего широкого охвата полосы более 400 км с пространственным разрешением 20 x 40 м.
- Режим Wave (WV) - его путь получения отличается от других. Вместо непрерывного пути изображения, называемые виньетками, собираются в виде "чехарды". Виньетки размером 20 x 20 м приобретаются каждые 100 км с пространственным разрешением 5 x 5 м. Это режим сбора данных по умолчанию в открытом океане, часто используемый для определения длины волны, высоты и направления волн в море.

Волновой режим доступен в одиночной поляризации (VV или HH), SM, IW, и EW режима в одиночный и двойной поляризации (VV+VH или HH+HV). Для целей настоящего исследования используются только продукты данных из режима IW.

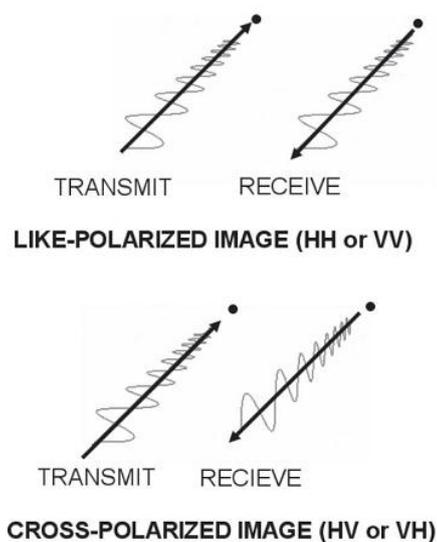


Рис. 2. Режимы поляризации радара (Campbell and Wynne, 2011)

Как указано в работе Campbell and Wynne (2011), "поляризация радиолокационного сигнала обозначает ориентацию поля электромагнитной энергии, излучаемой и принимаемой антенной". Конфигурация радиолокационных систем позволяет передавать и принимать горизонтально (H) или вертикально (V) поляризованную энергию. Если и передача, и прием находятся в одном и том же направлении, они называются

поляризованными. Если они перпендикулярны друг другу, то их называют кросс-поляризованными.

1. 3. Вода в радиолокационном снимке

Радиолокационные снимки воды позволяют оценить температуру воды, состав и структуру ее поверхности (Fung & Chert, 1969; Шмелев, 1972). Связь между диэлектрической проницаемостью и обратным рассеянием позволяет рассмотреть явление разрыва волн и завихрений на радиолокационном изображении. Воздух попадает в толщу воды, когда разбиваются поверхностные волны. Пузырьки воды, пена или завихрения (смесь воды и воздуха), которые появляются на поверхности, имеют более низкую диэлектрическую проницаемость, чем вода (Hwang, 2012). Несмотря на высокую диэлектрическую проницаемость, поверхность воды склонна к зеркальному рассеянию, когда поверхность воды недостаточно шероховата по сравнению с падающей длиной волны, большая часть падающей энергии отражается (а не рассеивается) в направлении, противоположном датчику. Это приводит к очень низкому обратному рассеянию (Barrick & Peake, 1968). Более высокое обратное рассеяние получено от волнистой (шероховатой) поверхности воды. В радиолокационном обратном рассеянии открытых водных поверхностей преобладает так называемое явление Брэгговского рассеяния (Valenzuela, 1978).

Брэгговские волны-это небольшие капиллярные волны размером от миллиметра до сантиметра на поверхности. Они вызваны напряжением сдвига локального ветрового поля на поверхности воды (De Carolis, Parmiggiani & Arabini, 2004). С помощью радара шероховатость водной поверхности часто обнаруживалась вплоть до сантиметрового масштаба с помощью Брэгговского рассеяния (Woodhouse, 2006). Тесная корреляция между обратным рассеянием воды и скоростью ветра наблюдается для поля ветра умеренной скорости (Attema, 1991). Для длин волн см-масштаба (включая С-диапазон) обратное рассеяние воды зависит от поляризации и угла наблюдения датчика. Отдача от вертикально поляризованного пучка при угле падения в диапазоне от 20° до 26° выше, чем горизонтальная отдача (Valenzuela, 1978).

Применение микроволнового дистанционного зондирования: понимание свойств воды, которые чувствительны в микроволновом дистанционном зондировании, привело к применению радаров для оценки высоты волн, спектра волн, скорости ветра, поверхностных течений и кажущейся температуры океана (Valenzuela, 1978). Обратное моделирование изменений этих параметров позволяет получить представление о состоянии водного объекта в момент получения изображения (Valenzuela, 1978).

Например, поиск скорости ветра используется в прогнозировании погоды. Наиболее популярные методы поиска направления ветра SAR основаны на визуализации океанических объектов SAR, таких как ветровые полосы и крены морского атмосферного пограничного слоя, поскольку они хорошо согласованы с поверхностными направлениями ветра (Horstmann & Koch 2004). Затем рассчитанные направления ветра передаются в модельную функцию, которая связывает NRCS поверхности океана с локальной скоростью приповерхностного ветра, направлением ветра в зависимости от направления взгляда антенны и угла падения (Horstmann & Koch 2004). Для С-диапазона SAR наиболее часто используемой геофизической моделью поиска скорости ветра является CMOD5 (Hersbach et al., 2003).

1. 4. Просачивание Нефти

Морские естественные нефтяные просачивания-это потоки природных нефтей, которые мигрируют из отложений под морским дном и текут через толщу воды в виде капель нефти, что приводит к появлению характерных пятен на поверхности моря (Judd and Hovland, 2007). Просачивание нефти происходит в результате разложения органического вещества (планктон, растения, животные и др.) накапливается в морских осадочных бассейнах. Органическое вещество эволюционирует в нефть со временем, в зависимости от наполнения бассейна, температуры теплового потока, а также явлений давления. Из - за более низкой плотности нефти по сравнению с водой нефть мигрирует на поверхность морского дна через осадочные слои. Во время этой миграции нефть может столкнуться с непроницаемым слоем и, таким образом, быть захвачена под этой “крышей” (называемой покровной породой или уплотнением) в пористом и проницаемом пласте, который становится породой-коллектором. Пара пласт-порода/покровная порода образует так называемую структуру “нефтяной ловушки”. Наиболее распространенными нефтяными ловушками являются структурные (*anticlines, faults, salt dome*) и стратиграфические ловушки (*pinch out, lens and unconformity traps* - рис. 3). Низкое качество или отсутствие покровной породы позволяет нефти выходить и достигать поверхности (Macgregor, 1993). Разломы или трещины обеспечивают естественные флюидные пути, по которым нефть попадает в толщу воды.

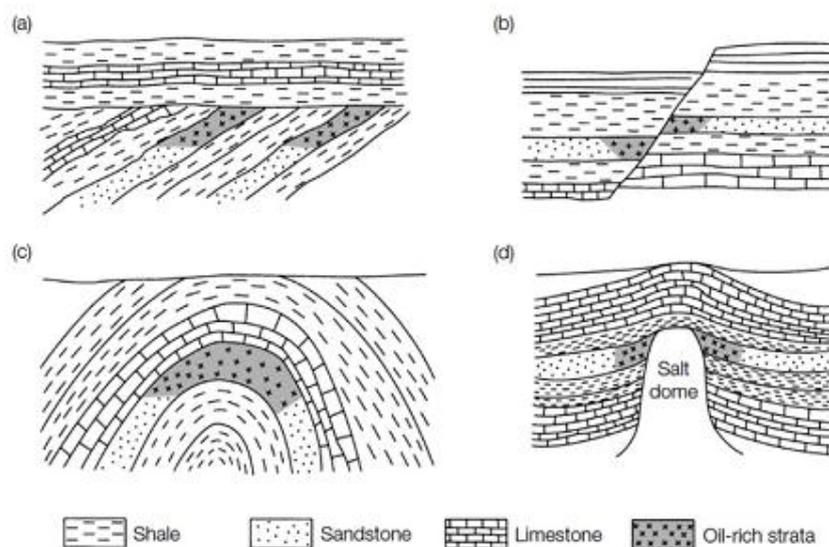


Рис. 3. Различные возможные типы нефтяных ловушек. а) стратиграфическая ловушка ниже *unconformity*, б) разломная ловушка, в) антиклиналь и г) соляной купол (структурная ловушка) (модифицировано по Ross, 1988).

Углеводороды, вытесненные из осадочных формаций и поступившие на морское дно, могут либо храниться на морском дне, вызывая положительную топографию, когда элементы имеют плотность выше, чем морская вода, либо продолжать свою миграцию в толще воды до тех пор, пока они не достигнут поверхности моря, когда их плотность достаточно низка (Rollet et al., 2006). Миграция вытесненной нефти в толще воды обычно происходит в виде пузырьков (Körber et al., 2014). Идентификация повторяющихся поверхностных просачиваний нефти с помощью космических радиолокационных изображений позволяет идентифицировать провинции просачивания нефти и обеспечивает дополнительное средство проверки миграции углеводородов на протяжении всего процесса разведки нефти (Stalvies et al., 2017).

1. 5. Обнаружение просачивания нефти на поверхность моря

Обнаружение просачивания с помощью SAR-это проверенный метод дистанционного зондирования для картирования поверхностных проявлений просачивания нефти, который может дать первое указание на нефтяные системы в различных морских бассейнах. Поверхностные проявления естественной утечки нефти могут быть обнаружены и идентифицированы на основе видимости на спутниковых снимках, пространственных размеров, формы и других характеристик. Нефтяные пятна не видны на поверхности океана, если контраст между пятном и окружающей водой недостаточно высок (например, при низких скоростях ветра). Кроме того, при высоких

скоростях ветра нефтяные пятна имеют тенденцию распадаться на более мелкие части, что препятствует обнаружению с помощью датчиков SAR. Сообщалось, что скорость ветра, необходимая для обнаружения нефтяных пятен, составляет 3-10 м/с (Singha et al., 2012), где обнаруживаемость возрастает с увеличением скорости ветра. Однако, по данным Иванова (2019), скорость ветра, влияющая на шероховатость морской поверхности, затрудняет идентификацию нефтяных пятен, а скорость ветра от 3 до 7-8 м/с предпочтительна для обнаружения просачивания нефти.

Пространственный анализ изображений SAR в ГИС на разных снимках, сделанных в разные даты, позволил обнаружить активные подводные просачивания, часто образующие скопления сликов или просачивающиеся слики. С другой стороны, сликовые кластеры могут быть результатом действия группы сходных источников или субсептиков, поскольку просачивающиеся жерла редко бывают единичными (Иванов и др., 2020; Иванов 2019).

Согласно “руководству пользователя *Synthetic Aperature Radar marine* ” (NOAA, 2004), если темные пятна неоднократно обнаруживаются примерно в одном и том же месте на поверхности моря и если они не имеют характерной линейной формы корабельного разлива нефти, то можно предположить, что они происходят от естественных просачиваний нефти. По данным Иванова (2020), пятна просачивания нефти видны на изображениях SAR как темные пятна с довольно четкими формами, часто линейными или изогнутыми (рис. 4). Геометрические особенности просачивающихся сликов являются результатом кратковременных локальных изменений ветра и течений. Нефтяные пятна на дне океана неподвижны, но положение нефтяных пятен на поверхности моря меняется в зависимости от океанических и метеорологических условий. Таким образом, многократно снимая SAR-изображения над одним и тем же районом океана и принимая во внимание адвекцию нефтяных пленок океанскими течениями и ветровым дрейфом, можно определить положение нефтяных просачиваний. Этот метод обнаружения широко используется нефтяными компаниями при разведке нефти на шельфе.

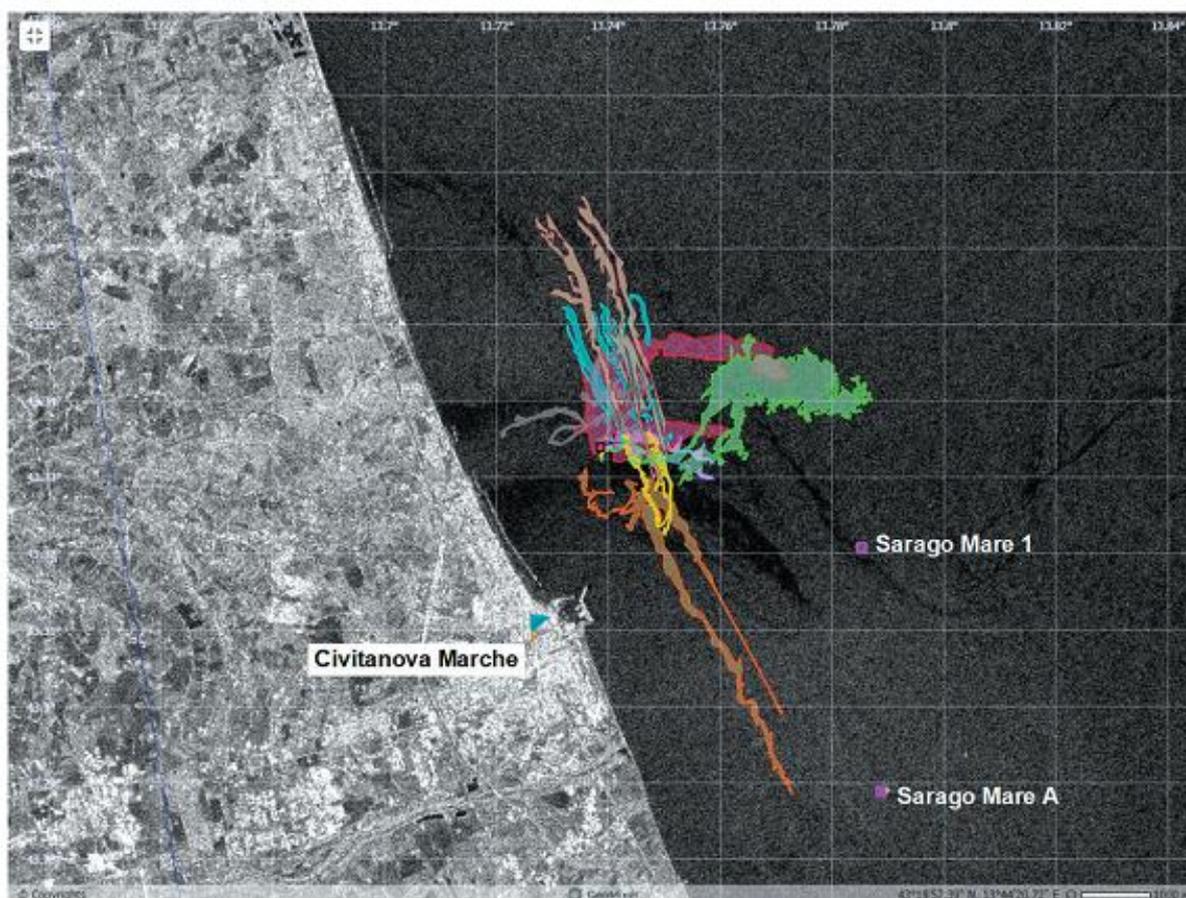


Рис. 4. Нефтяные пятна (цветные контуры) неоднократно обнаруживались на снимках SAR Sentinel-1A/1B, полученных в период с октября 2017 по октябрь 2018 года над холодным просачиванием (просачиваниями) у Чивитанова Марке (основное происхождение пятен на поверхности моря показано красным квадратом). Розовые квадраты - это нефтедобывающие платформы (Иванов, 2020)

1. 6. Движение и геометрия разлива нефти в океане

Как только нефть попадает в воду, она немедленно транспортируется условиями окружающей среды, включая ветры, течения и волны. По сравнению с первыми двумя факторами волновая составляющая наименее исследована. Это в значительной степени связано с восприятием того, что волновой дрейф имеет гораздо меньшую величину по сравнению с прямым сдвигом ветра и адвекцией течений. В некоторых случаях это предположение может оказаться неверным, особенно в регионах с преобладанием волн. Есть некоторые доказательства того, что для меньших масштабов поверхностные волны могут вносить столь же важный вклад в горизонтальную дисперсию (Herterich and Hasselmann, 1982). Гидродинамическая структура усложняется, учитывая взаимодействие между ветрами, волнами и течениями и генерацию турбулентной кинетической энергии

сдвигом и разрушающей волновой активностью. В некоторых моделях рассматривается только эмпирическая связь между вертикальной дисперсией и энергией разрушающей волны, горизонтальные течения, индуцированные ветрами и волнами, обычно объединяются вместе и представляются эмпирически обоснованным коэффициентом дрейфа и углом отклонения, зависящим от местной скорости ветра (Al-Rabeh et al., 1989).

Направления движения разливов нефти являются важным инструментом для оценки рисков, связанных с потенциальным воздействием на окружающую среду, связанным с разведкой и транспортировкой в чувствительных районах, а также для планирования мер по ликвидации разливов. В случае разлива модели также могут быть полезным оперативным инструментом, предоставляя информацию о том, где можно найти нефть. Фундаментальная задача движения разлива нефти состоит в том, чтобы использовать информацию об океанских течениях, ветрах, волнах и других факторах окружающей среды, в дополнение к естественному поведению распространения, чтобы предсказать, куда может пойти нефть. В большинстве случаев имеет смысл рассчитать токи. Течения индуцируются сочетанием океанической общей циркуляции, приливного воздействия и волнового дрейфа (Стокса). В открытой воде вызванный ветром дрейф часто является наиболее важным фактором, определяющим траектории поверхностных нефтяных пятен в течение нескольких дней (Spaulding, 1988), если только разлив не происходит в районе сильных средних или приливных течений. Океанская циркуляция может переносить разливы нефти, растворенные в морской воде, потому что значение плотности нефти ниже, чем у морской воды. (Инь и др., 2018). Волны также могут вызывать средний дрейф на поверхности, который может быть важным вкладом в поверхностный дрейф (Tang et al., 2008; Tang et al., 2007; Peggie et al., 2003). Система прогнозирования океанических поверхностных волн-приливов-циркуляции (oceanic surface wave-tide-circulation coupled forecasting system /OFS), разработанная Первым Институтом океанографии Государственного океанического управления (Wang et al., 2016), работает с ноября 2007 года. Это моделирование было использовано для определения характеристик движения микроводорослей в Желтом море (Qiao et al., 2011b). Ясно, что океаническая циркуляция, приливные течения и волновые данные могут быть использованы для создания моделей океанических течений. Модель океанического течения будет использоваться для проверки направления движения просачивающейся нефти и определения местоположения источника. Сложная изменчивость формы и направления пятна, очевидно, является результатом изменения ветра и течения в поверхностном слое (MacDonald, 2002)

1. 7. Ограничения SAR

Хотя на изображение SAR не влияют погодные условия, скорость ветра влияет на обратное рассеяние и обнаруживаемость пятен на поверхности воды. При скорости ветра менее 3 м/с трудно отличить чистую морскую поверхность от разлива нефти. Ветер не будет иметь никакого воздействия, а спокойная морская поверхность вызывает зеркальное отражение радиолокационных волн далеко от антенны. Кроме того, ветер выше 10 м/с разнесет разлив на более тонкие и мелкие фрагменты, что сделает его невидимым, а также поверхность разлива будет иметь диффузное рассеяние. Умеренный диапазон от 3-10 м/с является наиболее подходящим для процесса обнаружения (Singha et al., 2012).

Кроме того, изображение SAR может содержать естественные темные пятна, не являющиеся результатом разлива нефти, называемые двойниками. Другие природные явления, такие как естественные пленки, выделяемые рыбами, цветение водорослей, дождевые клетки, пробуждение корабля, внутренние волны и т. д. может вызвать эти темные пятна (Misra et al., 2017). Исследование интересует только просачивание нефти из нефтяного пласта.

Одним из основных ограничений является распознавание разлива нефти по внешнему виду, что является сложным и требует опыта и/или интеллектуального алгоритма. Автор повысил точность такой дискриминации на основе обзоров литературы и наблюдений за хорошо документированными случаями разлива нефти (Singha et al., 2012). Идея заключается в том, что многие похожие функции могут давать такое же обратное рассеяние, как и разлив нефти, но есть много других функций, которые могут исключительно различать разлив нефти; например, (1) геометрический рисунок, (2) морская инфраструктура, которая может быть убедительным доказательством корреляции с разливом нефти. Например, продольное темное пятно с ярким пятном на конце означает судно, сбрасывающее нефть на своем пути. Последняя трудность с изображениями SAR - это большое время повторного просмотра. Это препятствие в непрерывном мониторинге разливов нефти, которое очень быстро исчезает.

1. 8. Явления Look-alike

Радар с синтезированной апертурой – это активное микроволновое устройство дистанционного зондирования, которое использует преимущества относительного движения между своей антенной и целью для достижения более высокого пространственного разрешения. Как упоминалось ранее, покрытая нефтью область выглядит более гладкой, чем окружающая ее морская поверхность. Другими словами, Брэгговское рассеяние в этих областях ослаблено. А на изображении SAR это явление

обычно наблюдается в виде темных пятен. Однако на изображениях SAR обратное рассеяние сигнала от разлива нефти очень похоже на значения обратного рассеяния от спокойных морских районов и других океанских явлений, называемых явления “*look-alike*”. В следующей части приводятся пояснения и примеры некоторых основных двойников:

- Зона слабого ветра (*low wind area*): область, где ветер очень медленный (<2 м), например районы, защищенные сушей. Слабый ветер раскачивал морскую поверхность, действуя точно так же, как зеркало, которое отражает большую часть радиолокационного сигнала в противоположном направлении от приемной антенны. Поэтому они наблюдаются как низко рассеянная область.
- Биогенные пленки (*biogenic films*): природные пленки, производимые фитопланктоном и Рыбами, обычно встречаются на поверхности моря. Большинство из них представляют собой очень тонкий слой поверхностно-активных веществ с одной или несколькими молекулами, что резко снижает поверхностное натяжение. В результате они всегда наблюдаются как темные области.
- Дождевые ячейки (*rain cells*): также известный как конвективный дождь, который является распространенной формой дождя в тропиках и субтропиках (Alpers, 2004b). Типичная структура дождевой ячейки имеет нисходящий поток в качестве своего ядра с окруженным круговым фронтом порыва. Фронт порыва будет производить сильный ветер и всегда увеличивать шероховатость моря, в то время как нисходящий поток иногда гасит волны Брэгга в виде осадков. Таким образом, некоторые дождевые клетки могут иметь сигнатуру более темного ядра с гораздо более ярким окружением по сравнению с окружающей морской поверхностью на изображениях SAR (Alpers, 2004b).
- Океанические внутренние волны (*Oceanic Internal Waves/OIW*) и атмосферные гравитационные волны (*Atmospheric Gravity Waves/AGW*): обе они имеют линейные структуры с яркими и темными полосами, попеременно появляющимися на изображениях SAR. Их можно различить на основе теорий одиночных волн и радиолокационных изображений (Alpers et al. 2011).

Кроме того, физические явления океана, такие как жирный лед, также могут вызывать темные пятна или зоны на изображениях SAR. Вместе с полосообразной нефтью типичные изображения вышеупомянутых двойников приведены на рис. 5. Однако во многих случаях их характеристики, такие как форма или текстура, могут быть очень

близки друг к другу, что делает их очень трудными для различения, используя только какие-либо простые критерии.

В результате в процессе эксплуатации очень важно идентифицировать реальные нефтяные пятна и *look-alike* на изображениях SAR на основе всестороннего анализа их различных характеристик. По сравнению с ручным контролем автоматические или полуавтоматические методы дают лучшую эффективность и стабильность, поэтому они были широко изучены в последние годы.

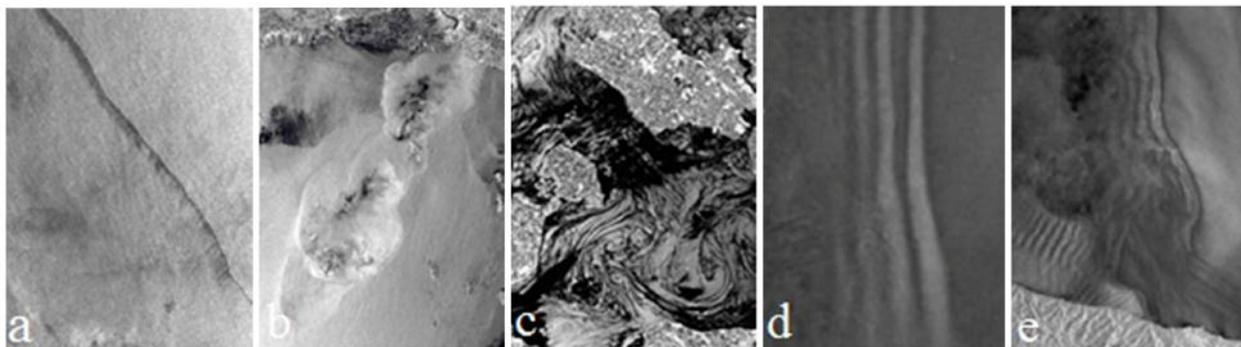


Рис. 5. Примеры нескольких основных двойников на изображениях SAR:

- а) типичная нефть (фото: Alpers et al. 2004a); б) дождевая ячейка / *rain cells* (фото: ESA); в) биогенные слики / *biogenic films* (фото: Alpers et al. 2004a); д) *OIW* (фото: Alpers et al. 2011); е) *AGW* (фото: Alpers et al. 2011)

Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований

2. 1. Географическое положение

Малаккский пролив расположен между двумя крупными массивами суши, а именно островом Суматра и полуостровом Малакка. В настоящее время существует три суверенных государства, которые непосредственно примыкают к Малаккскому проливу, а именно Индонезия, Малайзия и Сингапур. Острова Суматра (Индонезия), территория которых непосредственно обращена к Малаккскому проливу, являются провинциями Ачех, Северная Суматра, Риау, Джамби и острова Риау, в то время как область в Малайзии, непосредственно граничащая с Малаккским проливом, - это Кедах, Перлис, Малака, Джохор, Селангор, Негери-Сембилан, Перак, вся эта область расположена на полуострове Малайзия. Длина Малаккского пролива составляет около 805 км или 500 миль при ширине 65 км или 40 миль с южной стороны, а выход на север становится шире примерно на 250 км или 155 миль (Cleary & Chuan, 2000).

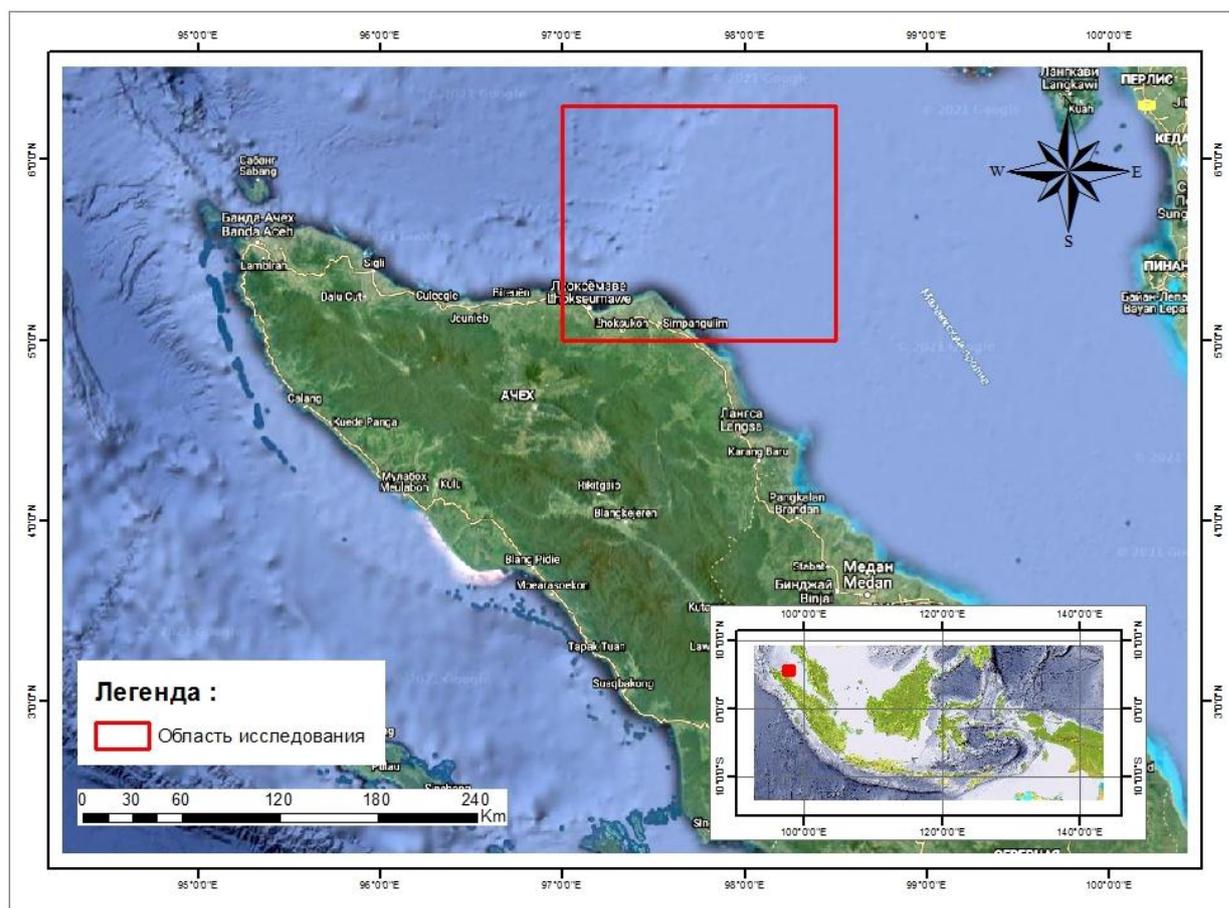


Рис 6. Карта района Исследования

Район исследований находится в океане к северо-востоку от острова Суматра, Индонезия. Этот район также является частью северо-западной оконечности Малаккского пролива. По данным Геологического агентства Министерства энергетики и минеральных ресурсов Индонезии, район исследований расположен вблизи восточной окраины бассейна Северной Суматры. Этот бассейн является одним из районов, обладающих углеводородным потенциалом в Индонезии. Не исключено, что в районе исследований может оказаться перспективный участок углеводородов. Область исследования была определена как $97^{\circ} 0' 0''\text{E} - 98^{\circ} 30' 0''\text{E}$ и $5^{\circ} 0' 0''\text{N} - 6^{\circ} 18' 0''\text{N}$ (рис. 6). Скорость ветра в этом районе колеблется от 0 до 10 м / с, что соответствует требованию 3-10 м / с для анализа просачивания нефти с использованием данных SAR-изображений (Singha et al., 2012).

2. 2. Геологическое строение Бассейн Северной Суматры

Бассейн Северной Суматры (NSB) расположен на северо-восточной окраине острова Суматра (рис. 7). Физиография NSB может быть разделена на две основные части: во-первых, ориентированная с севера на юг северная область, напоминающая современный депоцентр бассейна, и, во-вторых, южная береговая область с ее вытянутой геометрией с северо-запада на юго-восток, сформированная сериями ориентированной с севера на юг палеогеновой системы хорста-грабена. Davies (1984) смоделировал структурную эволюцию NSB как продукт интерактивных движений плит в третичном периоде. Основные вращательные и поступательные движения плит ответственны за сложные установки и структуры NSB. Daly et al. (1987) и Sosromihardjo (1988) определили, что тектоническая модель NSB в основном контролируется системой разломов связи дextrала Суматры, образующей крупный раздвигающийся бассейн (Фазовый суббассейн), ограниченный платформами Сигли и Тампур на западе и востоке соответственно. Davies (1984), и Sosromihardjo (1988) согласились, что Суматра претерпела вращательные движения, которые изменяют структурную кинематику во время Третичного периода, несмотря на их различное понимание направления вращения Суматры. Бассейнообразующая разломно-сдвиговая система была активна в позднем эоцене из-за косо́й конвергенции Индо-Австралийской плиты и Евразии.

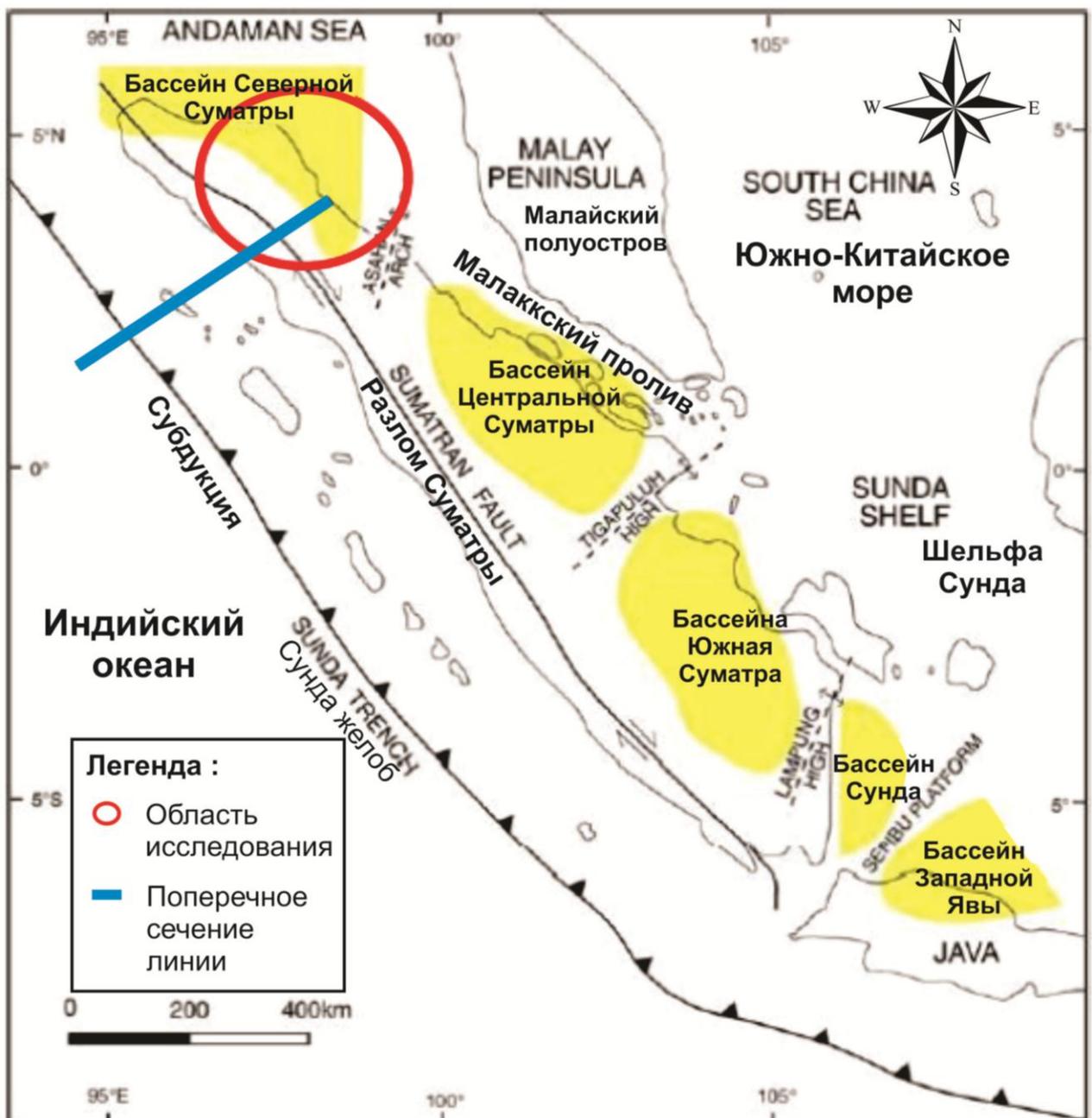


Рис 7. Карта тектонических структур бассейна Северной Суматры. Красный кружок показывает место исследования, а синяя линия - поперечное сечение (рис. 8) бассейна, направленного с северо-востока на юго-запад (Barber et al., 2005; Satyana, 2009).

2. 2. 1. Геотектоническое строение

Бассейн Северной Суматры-это бассейн, образовавшийся в раннем третичном периоде (около эоцена-олигоцена) в результате наклонного процесса субдукции между Индо-Австралийской плитой и Евразийской плитой, которая позже сформирует бассейн тыловой дуги (рис. 8). Развитие структуры и эволюция бассейна начиная с третичного периода является результатом взаимодействия двух основных структурных направлений,

которые являются северо-западным – юго-восточным (Суматрский узор) и северным-южным (Зондский узор). Во время процесса субдукции связанные с ними плиты создают разломно-сдвиговую узор разлома, который ведет на север вдоль западного края микроконтинентальной плиты. Davies (1984) утверждает, что формирование конфигурации бассейна Северной Суматры является результатом системы разломов сбрососдвиговых. В период от позднего олигоцена до раннего миоцена бассейн Северной Суматры развивался в экстенсиональном режиме. Ряд правосторонних сдвиговых разломов (правосторонние и левосторонние, правосторонние боковые сдвиговые разломы), образовавшихся и рассеянных в этой зоне, образуют раздвигающийся бассейн и высокие блоки (хорст) в результате зоны сжатия и зоны растяжения между двумя сдвиговыми разломами (Rodgers, 1980 в Davies, 1984).

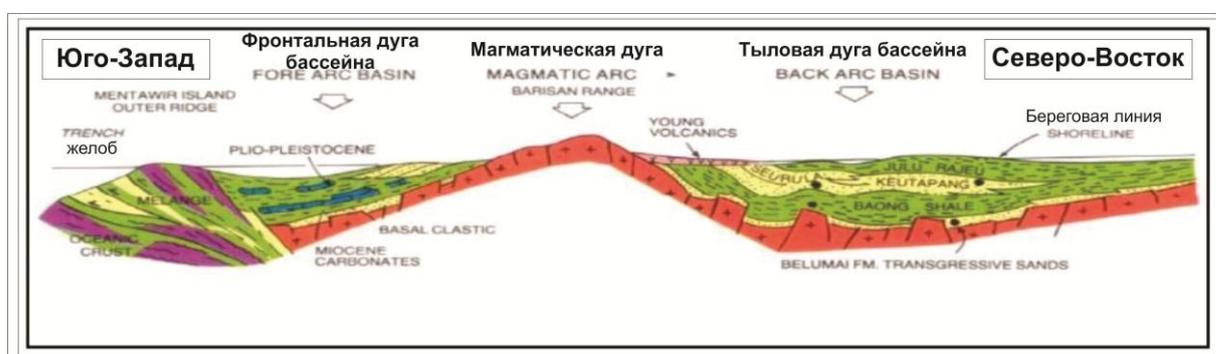


Рис. 8. Поперечное сечение бассейна Северной Суматры на рис. 2.1 и окружающие его особенности (Samuel and Gultom, 1986 in Satyana, 2009).

Согласно Pulunggono et al (1992), существует три тектонических режима, которые связаны с развитием бассейна. Во-первых, экстенсиональный режим, который доминирует в конфигурации бассейна и начальном заполнении от позднего мела до раннего третичного. Деятельность в этом режиме образует систему высоких и низких (грабен и хорст) ловушек и рост рифа, который впоследствии станет углеводородной кухней (кухонной зоной). Во-вторых, внутримiocеновый режим, возникший в течение миоцена. В этом режиме удаление краев бассейна сопровождается отложением обломочных материалов. В последнем режиме, а именно в режиме компрессия, который произошел в плио-плейстоцене. Этот режим привел к формированию "en-echelon" антиклинориевой структуры с западно - северо-западно-восточно-восточным направлением и формированию ловушек. Это положило конец третичным отложениям в бассейне Северной Суматры (Satyana, 2009).

2. 2. 2. Стратиграфия

Автор использует ссылки из Anderson, et al (1993) в качестве ссылки для стратиграфической колонки на Малаккском шельфе, поскольку стратиграфическая колонка была обновлена по версии Sosromihardjo (1988), а литостратиграфия почти близка к району исследований. Стратиграфия бассейна Северной Суматры (рис. 9) выглядит следующим образом:

1. Дотретичное основание

До-третичная коренная порода состоит из осадочных пород (конгломераты, песчаники, глинистые и известняки), метаседиментов (метаморфические известняки, аргиллиты, филиты, сланцы и сланцы) и магматических пород (туф и гранит). При наблюдении керновых пород и радиодатировании некоторые из до-третичных осадочных пород кажутся пушистыми и плотно цементированными кальцитом и кварцем, не показывая никакого потенциального резервуара (Caughey and Wahyudi, 1993).

2. Формация Тампур

Как было описано Caughey and Wahyudi (1993), Darman and Sidi (2000) и Barber et al (2005), формация Тампур состоит из массивно кристаллизованных доломитов и известняков с кремнистыми конкрециями. Согласно нескольким существующим исследованиям, эти известняки осаждаются в сублитеральной и открытой океанической осадочной среде. Bennett et al (1981c) в Barber et al (2005) указано, что определение возраста формации сама довольно сложно из-за отсутствия ископаемых данных. Поэтому предполагается, что эта формация развивалась из эоцена-раннего олигоцена, основываясь на стратиграфическом положении, региональной корреляции и имеющихся ископаемых данных. Верхняя Темпура-это тюленья порода в карбонатной игре (Meckel, 2012).

3. Формация Брукса и Бампо

Формация Брукса отложена неуместно поверх до-третичной коренной породы и начинается с толстого конгломерата брекчиевого базальта, представляющего аллювиальные веерные черты, за которым следует характерный темно-светло-серый цвет породы, содержащий слюду, плохую сортировку кварцевых песчаников, глинистых и алевролитовых пород, с локально зеленым туфом аренитом и грубым туфом. Barber et al (2005) предполагают, что песчаники, как правило, имеют поперечно-осадочную структуру и могут содержать тонкие угольные слои.

Формация Бампо, состоящая из глинистых пород черного цвета, содержит пирит, локально встречаются чередующиеся песчаники и карбонаты с редким фаунистическим составом. Локально встречаются также значительные известняковые конкреции и вставки из туфа. Глинистый камень, содержащий пирит, указывает на закрытую морскую среду на западе. Caughey и Wahyudi (1993) утверждают, что наблюдения за фораминиферами из обнажений и образцов горных пород из скважин показывают мелководно-глубоководную океаническую осадочную среду с поздним олигоценом до раннего миоцена (около P21-N4). Формация Бампо - это исходная порода и тюленья порода (Meckel, 2012).

4. Формация Белумай и пачка Малака

Белумай формация и пачка Малакка, в данном случае, описана McArthur и Helm (1982). Белумай формация сложена калькаренимом, известняковыми песчаниками и сланцами. Локально в нескольких местах образовались карбонатные наросты в виде вершин и биогермальных рифов. Карбонатные отложения, которые развиваются в Белумай формации, локально называются Малакскими пачками. Формация Белумай является исходной породой в карбонатной игре (Meckel, 2012).

5. Формация Пеуту

Формация Пеуту, описанная Caughey и Wahyudi (1993), показывает две различные литофации:

- a. Фации прозрачного скелетного известняка, характеризующегося большим массивом разнообразных мелководных морских фораминифер. Древняя осадочная среда варьировала от внутренней сублиторальной до внешней / внутренней неритической. В обнажении присутствуют также курганы лепидоциклины и других крупных бентосных форамов
- b. Глинисто-известняковые фации, в которых преобладают планктонные фораминиферы. Древняя осадочная среда показывает внешнюю неритическую среду до верхнего батьяла.

Исходя из палеонтологических наблюдений, обе литофации имеют одинаковый возраст, а именно нижний миоцен. Формация Пеуту является наиболее плодотворным резервуаром (Meckel, 2012).

6. Формация Баонг

Caughey и Wahyudi (1993) описывают формацию Баонг как преобладание серого глинистого камня с тонким слоем известняка, со вставками песчаника. Биостратиграфические результаты обнажений и образцов горных пород из скважин

указывают на глубинную океаническую осадочную среду с возрастным диапазоном от среднего миоцена до позднего миоцена (N8-N15 / N16). Нижний Баонг-это тюленья порода в карбонатной игре (Meckel, 2012).

7. Формация Кеутапанг

Формация Кеутапанг состоит из чередующихся песчаников и глинистых пород. Эта формация была отложена после формации Баонг. Планктонные фораминиферы показывают возрастной диапазон от N15 / N16 до 19 или от позднего миоцена до раннего плиоцена. Darman и Sidi, (2000) утверждают, что эта осадочная среда интерпретируется как дельтовая система, богатая песком, которая постепенно развивается к северо-востоку.

8. Формация Сеурула

Эта формация характеризуется Darman и Sidi (2000), а голубовато-серый аргиллит, содержащих ископаемые и конгломератных песчаников, средне-мелкозернистые песчаники и локально крупнозернистыми песчаниками. Эта формация гармонично охватывает Кеутапангскую формацию и имеет ранний плиоценовый возраст. Верхняя Сеурула запечатывает ловушки (Meckel, 2012).

9. Формация Джулу Райеу

Эта формация отложилась в позднем плиоцене-плейстоцене, состоит из мелких и крупных песчаников, глинистых пород, с фрагментами раковин моллюсков. Эта осадочная среда варьируется от аллювиальной до паралической.

Согласно Meckel (2012), область исследований входит в карбонатную игру. Карбонатные игры-это карбонатные резервуары, образующие стратиграфические ловушки, которые могут иметь линзовидную, листовидную или ленточную геометрию. Карбонатная игра доказана на шельфе Малаккского шельфа.

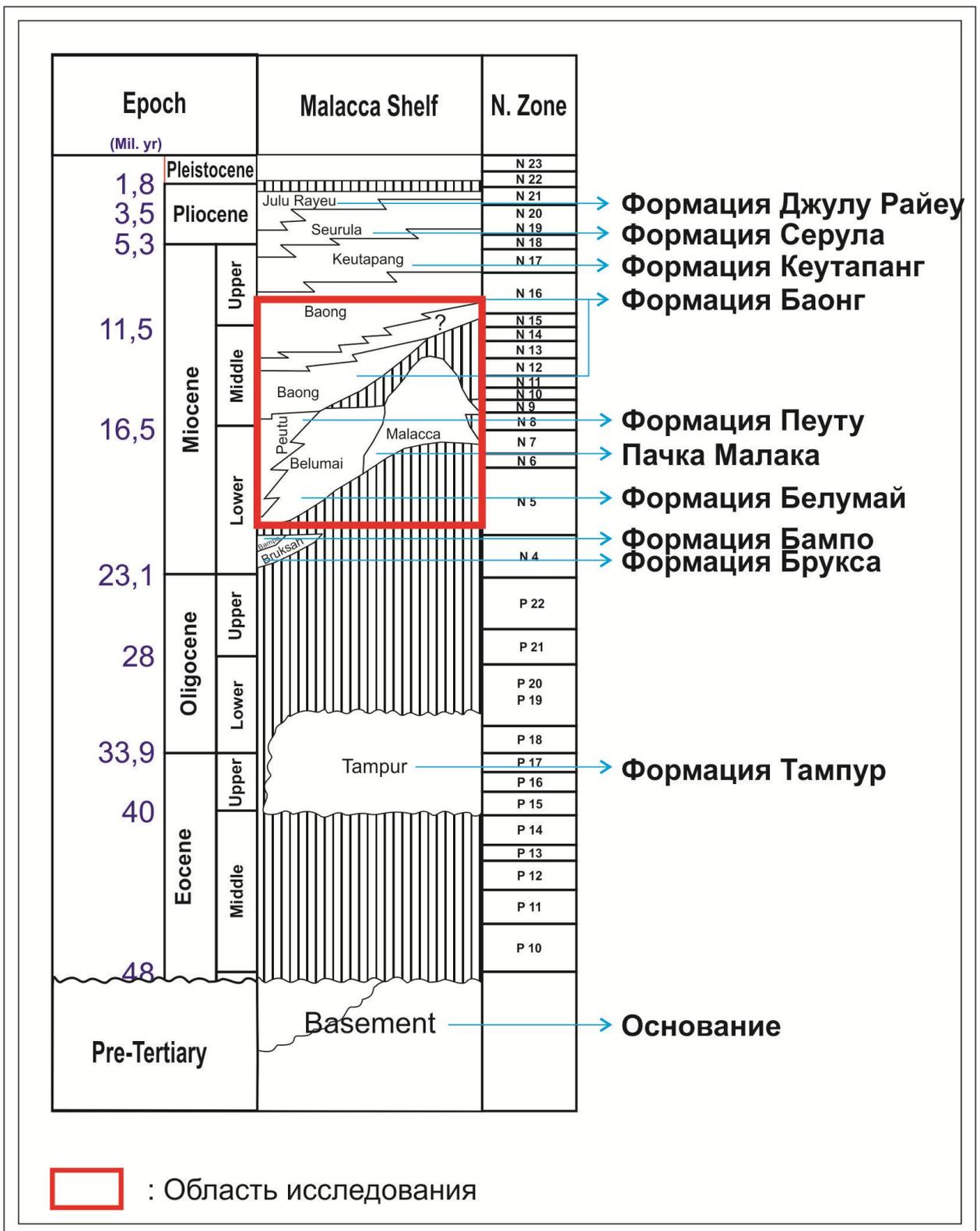


Рисунок 9. Стратиграфическая колонна бассейна Северной Суматры. Красный прямоугольник представляет соответствующую область исследований (Anderson et al, 1993).

2. 3. Климат

Индонезия расположена между двумя континентами, а именно Азиатским континентом и Австралийским континентом, и между двумя океанами, а именно Тихим океаном и Индийским океаном. Индонезия также является страной, которая имеет два сезона, а именно сухой сезон и сезон дождей, и из этих двух сезонов есть также два ветра, которые дуют каждые шесть месяцев, два муссона-северо-восточный муссон и юго-западный муссон (Waryono, 1986). Муссонные ветры-это сезонные ветры, которые происходят каждые шесть месяцев и движутся с Азиатского континента и Австралийского континента, а также находятся под влиянием двух ветров, исходящих из двух океанов, а именно Тихого океана и Индийского океана. Два муссона-это Северо-восточный муссон, который происходит между октябрём и апрелем и производит сезон дождей, и юго-западный муссон, который происходит между апрелем и октябрём и производит сухой сезон (рис.10).

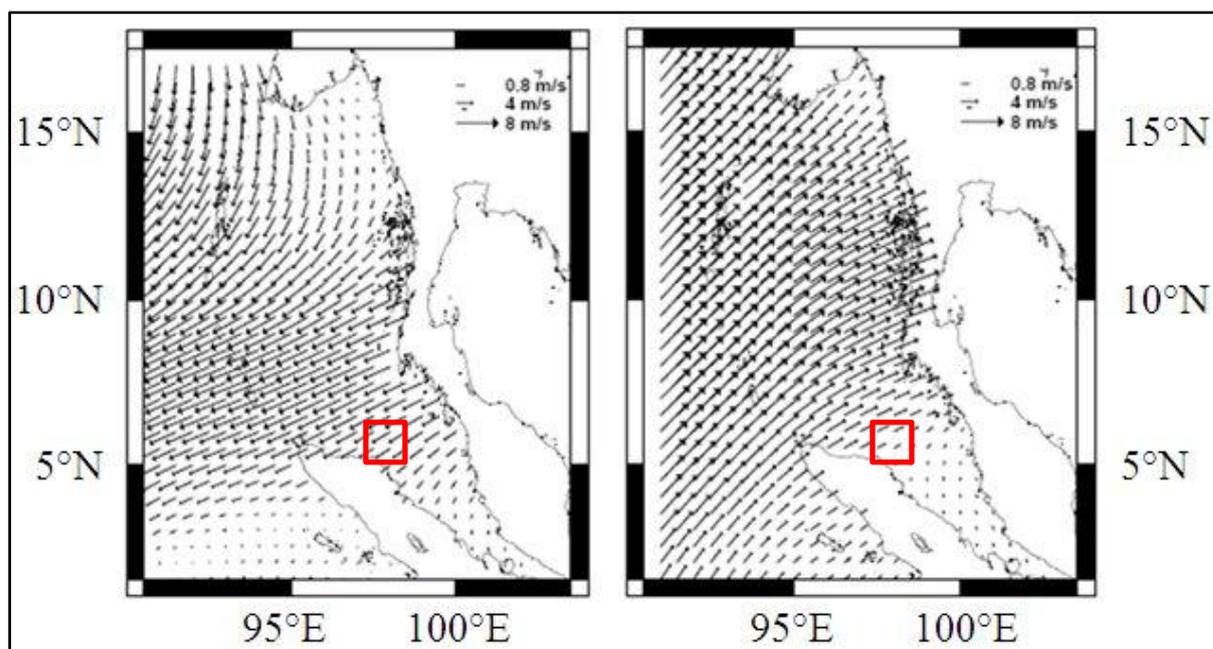


Рис. 10. Модель муссонов (а) Сезон северо-восточных муссонов, (б) сезон юго-западных муссонов (Rizal et al., 2012)

Северо-восточные муссонные ветры-это ветры, которые дуют с азиатского континента в Австралию через Индонезию. Поскольку эти ветры дуют через огромный Тихий океан, они содержат много водяного пара и вызывают много дождей после прибытия на индонезийскую территорию. Поэтому в этот сезон большая часть Индонезии приходится на сезон дождей. Юго-западные муссонные ветры-это ветры, которые дуют с австралийского континента в Азию через индонезийскую территорию. Эти ветры, прежде чем достичь территории Индонезии, пересекают обширную пустынную область в

Австралии, затем через узкое море между Австралией и Индонезией. В результате этот ветер содержит мало водяного пара и не приносит дождя, когда достигает индонезийской территории. Так, в этот сезон большая часть Индонезии приходится на сухой сезон.

Согласно Findlay (1878), хотя в Малаккском проливе дуют северо-восточные муссонные и юго-западные муссонные ветры, ветры в этом проливе сильно варьируются и ограничены. Это объясняется тем, что нормальное направление муссонных ветров перекрыто нагорьями Суматры с запада на юг и полуостровом Малакка с севера на восток. Кроме того, наличие регулярных морских и сухопутных бризов с побережья Суматры, а также с западного побережья Малаккского полуострова, непосредственно примыкающего к Малаккскому проливу, также влияет на направление ветра, возникающего в этих водах. Поэтому характер ветров в Малаккском проливе имеет тенденцию быть спокойным, но могут быть сильные ветры на небольшом расстоянии в районе, где муссонные ветры входят в Малаккский пролив.

2. 4. Морские течения

Район Малаккского пролива находится под сильным влиянием двух типов муссонов, а именно западного муссона (Северо-Восточный муссон) и юго-западного муссона (Северо-Западный муссон). Когда дует западный муссон, ветер движется с севера Индонезии на восток, в результате чего водные массы из Южно-Китайского моря попадают преимущественно в воды Малаккского пролива. Между тем во время юго-западного муссона ветер дует с юга на запад, так что доминирующая водная масса из Яванского моря попадает в воды Малаккского пролива (Keller and Richards, 1967; Wyrki, 1961). Согласно Ivanov (2019), поверхностные и подповерхностные течения, как правило, обусловлены локальными течениями, а также антициклонными и циклонными вихрями, образующимися из прибрежных.

Во время западного муссона (Северо-Восточный муссон) в Андаманском море северо-восточный пассат дует из материковой Азии на запад и вращается над Индийским океаном в сторону Австралии. Эта закономерность обуславливает движение поверхностных течений в Андаманском море в северной части острова Суматра на запад. Кроме того, движение этих течений приводит к тому, что водные массы в северной части Малаккского пролива притягиваются и движутся на северо-запад, следуя схеме течения на запад, и оказывает влияние на уменьшение поверхностной водной массы в северной части Малаккского пролива. Это сокращение приводит к тому, что водная масса из южной части Малаккского пролива перемещается, чтобы заполнить его, образуя поток на северо-запад. Кроме того, это движение привело к вакууму в водной массе в южной части, так что

водная масса из Южно-Китайского моря переместилась в Малаккский пролив. Поступление морских водных масс из Южно-Китайского моря происходит не из-за его очень большой массы, а из-за влияния массовой циркуляции в Андаманском море, вызванной Северо-восточным ветром, который тянет водные массы из Малаккского пролива и Южно-Китайского моря на северо-запад (рис.11). В восточном муссоне (юго-западный муссон) есть юго-восточный пассат, где над Яванским морем наблюдается западный характер ветра, течение на севере пролива Каримата поворачивает на северо-восток. Этот характер ветра заставляет течения в Яванском море поворачивать в пролив Каримата и частично в Малаккский пролив, толкая водные массы в Малаккском проливе на северо-запад. Характер течений в Малаккском проливе имеет тенденцию двигаться с севера на северо-запад (рис. 12). На характер течения влияет циркуляция водных масс в Андаманском море, которая имеет тенденцию вращаться вдоль побережья материковой Азии (Wyrtki 1961). Течения текут через пролив в общем северо-западном направлении в течение всего года в результате муссонных воздействий на соседние моря. На этот поток также сильно влияют приливы (Keller and Richards, 1967).

Согласно Sangkooyo и Purwanto (2011), топография полуострова Малакка и острова Суматра также заставляет течение двигаться на юг. Это течение берет свое начало из Индийского океана, который движется с севера острова Суматра, который затем движется вдоль рельефа острова Суматра и полуострова Малакка, что заставляет течение двигаться в основном на юг. Затем это течение повернет на северо-запад, следуя общему направлению течения Малаккского пролива.

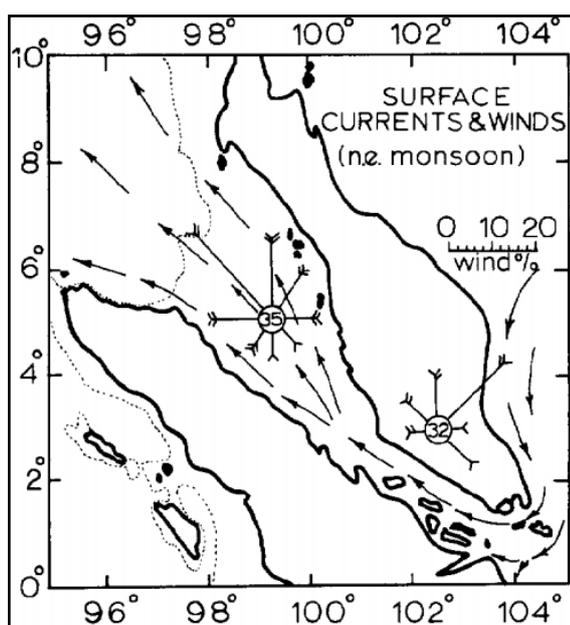


Рисунок 11. Океанские течения во время северо-восточного муссона (Keller and Richards, 1967)

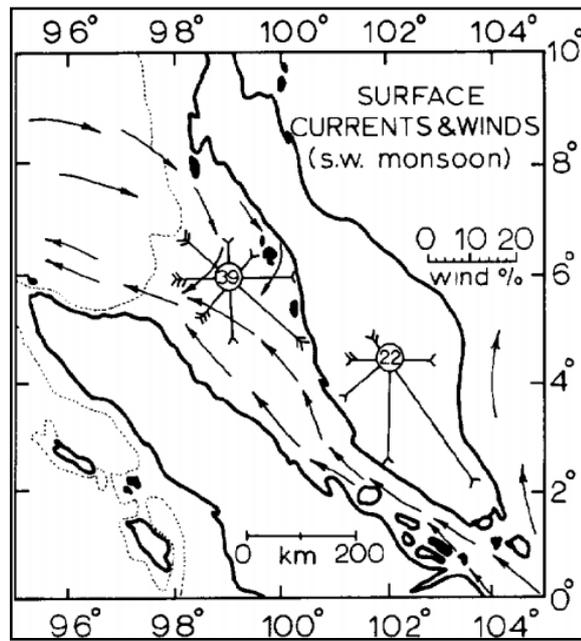


Рисунок 12. Океанские течения во время юго-западного муссона (Keller and Richards, 1967)

Глава 3. Данные и методы исследования

Существует три подхода или способа обработки исходных данных для целей обнаружения разливов нефти: полностью автоматический, полуавтоматический и ручной подходы. Обнаружение разливов нефти в морской среде-это сложная работа, которая должна быть полностью автоматизирована и требует вмешательства человека в процесс обнаружения (Misra et al, 2017). Ручной подход наиболее часто используется и выполняется опытными людьми, которые обучены исследовать изображения SAR для обнаружения возможных разливов нефти. К сожалению, этот подход требует много времени, а уровень доверия зависит от наблюдателя. Полуавтоматические и полностью автоматизированные подходы включают экспертные знания в автоматизированные алгоритмы для экономии времени (European Maritime Safety Agency, 2020). Этот подход является сложным и все еще развивается, поскольку он требует большого количества обучающих наборов данных для классификаторов. Это экономически эффективный метод мониторинга больших площадей океана по сравнению с ручным подходом. Поэтому в данном исследовании был принят полуавтоматический подход, и этот метод был использован для проведения исследования.

В отличие от случая с Najoui et al (2018), они утверждают, что уровень точности с использованием существующего подхода автоматического метода еще не может быть определен. Они предпочитают использовать ручной подход для анализа утечки углеводородов в северном мексиканском заливе. Все SAR-изображения были проанализированы вручную для обнаружения и распознавания просачивания нефти на основе “руководства пользователя Synthetic Aperature Radar marine” (NOAA, 2004).

Поэтому здесь автор будет подходить с использованием полуавтоматического метода. Полуавтоматический подход представляет собой комбинацию автоматических методов с ручными методами, где анализ предварительной обработки и оценка скорости ветра выполняются автоматически, а затем следующие шаги, такие как обнаружение темных пятен, кластеризация, дискриминация и маскировка, выполняются автоматически, но должны контролироваться вручную или наблюдателем.

3. 1. Данные

1. Космические снимки Sentinel-1 C-Band SAR

Ключевые данные для исследования были получены из бесплатной онлайн-базы данных (Scientific Sentinel Hub) спутника Sentinel-1, запущенного в рамках миссии Sentinel Европейского космического агентства (ЕКА) в 2013 году. C-SAR датчик, установленный

на Sentinel-1 - это двойной поляризацией радиолокационного прибора. Это правосторонняя активная фазированная антенная решетка, которая выполняет быстрое сканирование по дальности (высоте) и азимуту. Рабочая длина волны для датчика C-диапазона составляет приблизительно 5,6 см. Двойной H и двойной V (HH+HV, VV+VH) - это две поляризации прибора C-SAR. Для Земли используются двойные поляризационные цепи V (VV+VH) (ESA, 2016). Однако для изучения этих двух объектов были использованы данные с одной VV-поляризацией, поскольку эта поляризация усиливает обратное рассеяние воды и наиболее подходит для радиолокационного дистанционного зондирования воды. Для этого исследования был использован продукт level-1, который доступен в двух форматах данных: SLC (Side Look Complex) и GRD (Ground Range Data). Для этого исследования был использован набор данных GRD, поскольку он является сфокусированным, эллипсоидно скорректированным и многозначным, что экономит время за счет сокращения шагов обработки данных. Поскольку основное внимание в исследовании было уделено применению данных C-SAR, на анализ было потрачено больше времени, чем на обработку данных. Данные для исследования местности включали изображения C-SAR, полученные в период с октября 2019 года по сентябрь 2020 года. Этот диапазон был выбран потому, что мы хотим знать активность просачивания нефти за последний год, анализируя характеристики повторяемости нефтяного слоя в том или ином районе в качестве основной характеристики.

2. Геологические данные

Геологические данные в районе исследований необходимы для объяснения взаимосвязи просачивания нефти на поверхность моря. Потенциальные запасы углеводородов также могут быть идентифицированы по геологическим и геофизическим данным. Геологические данные также могут объяснить процесс миграции и факторы, влияющие на то, есть ли утечка углеводородов в районе исследований. Кроме того, эти данные используются в качестве справочного материала при фокусировании внимания на области исследований.

3. Климатические данные

В данном исследовании авторы используют данные ветра из компонентного продукта Sentinel-1 Level 2 OCN Ocean Wind Field (OWI). Продукты IW уровня 2 Ocean (OCN) содержат поле океанского ветра (OWI). Компонент OWI представляет собой сетчатую оценку наземного диапазона скорости и направления поверхностного ветра на высоте 10 м над поверхностью, полученную из полосовых карт (SM), IW или

Сверхшироких полосовых режимов (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/ocean-wind-field-component>). Данные о ветре используются для определения скорости ветра в пределах заданного порога и влияния дисперсии, вызванной скоростью ветра на поверхности.

4. Данные об океанских течениях

Океанские течения и поля скоростей, использованные в этой работе, были получены из Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), доступной по адресу <http://marine.copernicus.eu/> . В частности, автор использовал набор данных продукта GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_001_024. Система содержит ежедневные 3D-данные о глобальном океанском текущем поле. Горизонтальное разрешение модели составляет 1/12° (8 км). Данные визуализируются с использованием геострофической скорости течения, вычисленной по восточной (U) и северной (V) компонентам скорости морской воды в RStudio.

$$\text{Скорость} = \sqrt{U^2 + V^2}$$

5. Батиметрические данные

Батиметрические данные загружаются с сайта DEMNAS (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/>) который является поставщиком данных DEM от индонезийского агентства геопространственной информации, включая данные батиметрии. Пространственное разрешение данных BATNAS составляет барс-second (примерно 180 метров) с использованием данных MSL (средний уровень моря).

6. Район нефтяного потенциала Индонезии

Потенциальные районы добычи нефти и газа в Индонезии необходимы для того, чтобы место проведения исследований находилось в нужном районе и действительно имело потенциал добычи нефти и газа, чтобы оно могло быть более убедительным при интерпретации данных о разливах нефти или просачивании нефти. Данные о рабочих зонах и потенциальных зонах можно получить на веб-сайте индонезийского правительственного агентства по управлению нефтью и газом (<https://www.skkmigas.go.id/>). Сайт включает в себя не только данные о рабочих зонах и потенциальных зонах, но и о состоянии развития территории, а также об операторах, которые управляют этой территорией.

3. 2. Программное обеспечение

1. SNAP

Помимо открытия страж концентратор данных, ЕКА предоставляется с открытым исходным кодом набора инструментов для анализа данных дистанционного зондирования Земли. Инструмент, используемый для обработки данных Sentinel, называется Sentinel Application Platform (SNAP). Программа проста в использовании и способна регулировать наиболее часто используемые форматы изображений, такие как GeoTIFF, CSV и т. д., но продолжал разрабатываться в течение исследуемого периода. Несмотря на то, что это программное обеспечение предлагает стандартные функции обработки, оно создает проблемы из-за своей постоянно развивающейся природы и ошибок, обнаруженных сообществом пользователей и разработчиков. Свободный доступ и простота обработки различных файлов являются основными причинами выбора этого инструмента для обработки радиолокационных изображений. Другое программное обеспечение, способное обрабатывать радиолокационные изображения, доступно только по цене, которая недоступна для данного исследования.

2. ArcGIS

Поскольку это исследование требует пространственного и многовременного анализа, необходимо программное обеспечение, способное это сделать. Поэтому авторы выбрали популярное программное обеспечение ArcGIS для выполнения упомянутого анализа. Данные будут проанализированы качественно, например, кластеризация и дискриминация. Этот этап требует интерактивного идентификационного анализа, основанного на геометрических и текстурных свойствах, основанных на " Synthetic Aperature Radar marine user manual " (NOAA, 2004). С помощью программного обеспечения ArcGIS можно надеяться, что оно поможет в анализе геологической связи с существующей утечкой нефти.

3. RStudio (язык программирования R)

R-это скорее язык программирования, чем статистическая программа. Он был начат Робертом Джентльменом и Россом Ихакой из Оклендского университета в 1995 году. Они описали его как язык для анализа данных и графики . R также является свободным и открытым исходным кодом, распространяемым на условиях GNU General Public License. Это означает, что вы можете бесплатно загружать и использовать программное обеспечение для любых целей, изменять его и делиться им. R используется

для манипулирования и визуализации данных океанических течений. Из этих данных будет получено направление тренда потока разливов нефти. R используется для манипулирования и визуализации данных океанических течений. Из этих данных будет получено направление тренда потока разливов нефти. Помимо определения направления тенденции разлива нефти, он может быть использован для оценки районов загрязнения морской среды.

3. 3. Методы исследования

3. 3. 1. Предварительная обработка

Согласно Girard-Ardhuin et al. (2005), наиболее подходящей конфигурации SAR для обнаружения разлива нефти или утечки является одной поляризацией C-диапазона VV SAR при углах падения от 20 до 45. Это было важным фактором, который необходимо учитывать при выборе изображений для данного тематического исследования. Предварительная обработка спутниковых изображений осуществляется с помощью прикладной платформы sentinel (SNAP), которая является программным обеспечением ЕКА с открытым исходным кодом, пригодным для использования данных наблюдений Земли. Следующие шаги выполняются на необработанном спутниковом изображении с помощью панели инструментов SNAP:

1. Радиометрическая калибровка

Продукты уровня 1 не включают радиометрическую коррекцию, и поэтому значительное радиометрическое смещение все еще требует коррекции. Цель калибровки SAR состоит в том, чтобы гарантировать, что значение пикселя изображения SAR фактически представляет собой радар обратного рассеяния отражающей поверхности. Инструмент SNAP radiometric calibration tool выполняет абсолютную радиометрическую калибровку для продуктов Sentinel-1, применяя таблицы поиска σ^0 , β^0 и γ , представленные в продукте.

2. Спекл-Фильтрация

В отличие от оптических изображений дистанционного зондирования, SAR-изображения имеют присущую им “соль и перец” текстуру, называемую крапинками, которые ухудшают качество изображения и затрудняют интерпретацию признаков. Источником этого шума является случайная конструктивная и деструктивная интерференция дефазных, но когерентных обратных волн, рассеянных элементарными

рассеивателями внутри каждой разрешающей ячейки. Поэтому спекл-фильтрация является очень важным этапом предварительной обработки для обнаружения. Здесь используется инструмент спекл-фильтрации SNAP, в котором для обработки используется спекл-фильтр " Lee " с размером ядра 7 x 7 (Marghany 2001). Фильтр сохраняет края и снимает шумы с изображения. Согласно Marghany & Van Genderen (2014) алгоритм ли может хорошо работать на линейных нефтяных пятнах.

3. Коррекция эллипсоида / геометрическая коррекция

Из - за наклона спутниковых датчиков и топографических вариаций сцены расстояние на снимках SAR может быть искажено. Чтобы геометрическое представление изображения было максимально приближено к реальному миру, для компенсации искажений применяется коррекция поля.

4. Маскировка земли

Маскировка суши проводилась с целью сосредоточения района исследований только на океанах, чтобы избежать ошибок в интерпретации полученных данных и результатов.

3. 3. 2. Метод обработки

Адаптивный Порог / *Adaptive Threshold* (Автоматический Метод)

Адаптивная пороговая методика используется , направленная на решение проблемы разливов нефти в океаническом мире. Как мы знаем, разлив нефти является самой большой проблемой, с которой сталкиваются морские виды для преодоления этой проблемы применяется адаптивный пороговый метод автоматического мониторинга и обнаружения разливов нефти в океане. Анализ с использованием адаптивного порога осуществляется путем применения инструмента обнаружения разливов нефти к программному обеспечению SNAP, которое идентифицирует темные пятна с использованием адаптивного порога. Пороговое значение обычно используется для сегментации изображения, устанавливая все пиксели выше определенного значения на значение переднего плана, а остальные-на фоновое значение. В основном применение адаптивного порога осуществляется через начальный этап, а именно локальный средний уровень обратного рассеяния оценивается с помощью пикселей в широком размере окна, так что при реализации необходимо установить фоновый размер окна, затем на следующем этапе порог обнаружения устанавливается на "x" децибел ниже расчетного

среднего уровня обратного рассеяния локального. Затем пиксели в окне со значением ниже порогового значения обнаруживаются как темные пятна. “X” или пороговый сдвиг- это выбранный пользователем параметр. Используемый пороговый сдвиг относится к результатам исследований Solberg et al (2007), используемое пороговое значение составляет 1-4 децибел. Если он превышает пороговое значение “x”, то устанавливается в качестве фонового пикселя. Обнаруженные пиксели группируются в один кластер, а те, размер которых меньше заранее заданного размера, выбранного пользователем, удаляются. В этом исследовании исследователи использовали размер фонового окна -700; пороговый сдвиг (дБ) - 2,0 и минимальный размер кластера 0,1 кв. км. Изученные тестовые примеры показывают в целом хорошую производительность адаптивного порогового алгоритма, реализованного в SNAP для обнаружения разливов нефти. Некоторые *look-alike* частично обнаруживаются как нефть. Не только *look-alike*, но и корабли длиной более 30 м также помечены красным прямоугольником, поэтому для проверки результатов требуется дополнительная процедура классификации или визуальный осмотр оператором или автором. (Gancheva and Peneva, 2019)

3. 3. 3. Окончательная обработка

Окончательная обработка выполняется в программном обеспечении ArcGIS путем наложения всех векторов из двух приведенных выше методов. Это делается для проведения следующего этапа анализа, кластеризации и дискриминации. Кластеризация и дискриминация-это метод разделения и группировки нужной части или вектора с другими, в данном случае просачивающимися и похожими друг на друга нефтями. Этот метод основан на " *Synthetic Aperature Radar marine user manual*" (NOAA, 2004). В этом исследовании авторы сосредоточат внимание только на видимой утечке нефти в зоне исследования. Затем результаты будут наложены на данные о ветре, геологические, батиметрические данные в районе исследований и потенциальный район добычи нефти и газа в Индонезии. Чтобы определить тренд в направлении потока разлива нефти, автор также наложит расчетный разлив нефти на океанские течения, визуализированные с помощью RStudio (язык программирования R). По результатам перекрытия данных авторы будут искать взаимосвязь между геологией исследуемого района и просачиваниями нефти, так что результаты карты будут иметь вид карты углеводородного потенциала в исследуемом районе.

3. 3. 4. Анализ данных

Для каждого изображения C-SAR морское обратное рассеяние было описано в связи со следующим:

А. вариации в морском обратном рассеянии через море, описанные ниже:

- i. Во-первых, обратное рассеяние связано с ветровыми условиями на поверхности.
- ii. Кроме скорости ветра, анализируется влияние направления ветра. Эффект ветрового щита-это изменение сигнала обратного рассеяния в определенной области из-за присутствия физического объекта, который вызывает локальное изменение ветрового напряжения, испытываемого водной поверхностью. Это приводит к локальным различиям внутри изображения.
- iii. Объясните обратное рассеяние от свойств морской поверхности..
- iv. Далее оценивается взаимосвязь батиметрии и других возможных факторов с точки зрения их влияния на обратное рассеяние.
- v. Наконец, возможность существования нефти рассматривается и подтверждается деятельностью на поверхности моря в районе исследований, а также геологическими данными.

Б. В конце анализа всех имеющихся изображений в области исследования формируется набор гипотез, которые затем становятся результатами и выводом исследования.

Глава 4. Результаты анализа

В этой части автор покажет результаты анализа адаптивного порогового метода, а затем проверит результаты адаптивного порогового метода. Проверка результатов этого автоматического метода называется полуавтоматическим методом. Автор проведет проверку на основе данных геометрии и ветра в районе исследования. После проверки результатов автоматического метода автор покажет модель океанических течений, чтобы выяснить взаимосвязь между океаническими течениями и просачиванием нефти одновременно. Эти морские данные также могут помочь в проверке результатов автоматизированных методов и могут быть использованы для оценки местоположения источника просачивающейся нефти в океане. Затем в конце раздела автор объяснит связь между геологией и просачиванием нефти на поверхность океана в районе исследований.

4. 1. Проверка результатов адаптивного порогового метода

Автоматическая валидация результатов (адаптивный порог) проводится с целью минимизации ошибок при оценке просачивания нефти. Чтобы помочь валидации, автор наложит результаты на данные о скорости и направлении ветра в районе исследований с OWI Sentinel-2. Singha et al (2012) сообщили, что скорость ветра от 3 до 10 м / с является необходимым условием для обнаружения разливов нефти на уровне моря. Однако Ivanov (2019) предпочитает использовать данные о скорости ветра в диапазоне 3-7 / 8 м / с. Отсюда автор делит скорость ветра на 4 уровня, а именно:

1. 0-3,00 м / с, это низкая скорость ветра и не рекомендуется
2. 3,01-7,00 м / с, что является рекомендуемой скоростью ветра Singha et al (2012) и Ivanov (2020)
3. 7,01-10,00 м / с, что является скоростью ветра, рекомендованной Singha et al (2012)
4. 10,00 м / с-это скорость ветра, которая не рекомендуется, поскольку она слишком сильна для анализа разливов нефти или просачивания

Данные о направлении и скорости ветра над поверхностью моря, которые являются сильными, также разнесут нефтяной слой на более мелкие и тонкие фрагменты. С другой стороны, низкая скорость ветра может быть признаком "look-alike", который называется областью низкого ветра. Геометрические особенности нефтяных пятен являются результатом кратковременных локальных изменений ветра и течений, которые довольно отчетливы и часто линейны или изогнуты. Их воспроизводимость во времени и в одном и том же месте, то есть повторяемость и группировка в пространстве, являются их наиболее отличительными характеристиками. Вот почему просачивание нефти / слой имеют характерные формы, которые могут помочь отличить естественные просачивания нефти

от нефтяного загрязнения или других подобных явлений (Ivanov, 2020). На этом этапе аудитор проверяет каждый спутниковый снимок в соответствии с его соответствующим временем.

а) Данные от 28.05.2020 г.

На рис. 13 показано изображение, полученное 28 мая 2020 года. Скорость ветра в момент приобретения составляла около 0,1 - 10,5 м/с, и дул с северо-востока в южной части и дул с северо-запада в Северной части. Однако вдоль побережья острова Суматра несколько направлений ветра дуют с Запада (побережье) на Восток (Малаккский пролив). Обычно это происходит из-за сухопутных бризов. В это время в районе исследований преобладает низкая скорость ветра (<3 м / с), на это указывает доминирование символа направления зеленой стрелки в районе исследований. Ветры с низкими скоростями находятся на востоке и западе района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 1) обеспечивает хорошее покрытие объекта, но почти все "похожие" структуры также обнаруживаются. Это указывает на то, что существует несколько ошибок в обнаружении нефтяного слоя в этой области. Ошибка анализа возникает в областях с преобладанием низкой скорости ветра (менее 3 м/с), которая является областью низкого ветра. Области с низким ветром со скоростью ветра менее 3 м/с было упомянуто, что при этих скоростях шероховатость морской поверхности очень мала или даже отсутствует, что вызывает демпфирование в этом районе. Эти области образуют темные пятна на изображениях SAR. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения в районах с низким ветром. Результат обнаружения с использованием адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и слегка искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этой области. Из рис. 13 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м / с) имеются две линейные геометрии протяженностью 25,27 км и 42,53 км в северном направлении в районе исследований. Две линейные геометрии разделены областью низкого ветра, где нет результата обнаружения просачивания нефти. Если смотреть с направления тренда потока нефти, то эти две геометрии взаимосвязаны и образуют одно целое. Общая площадь этих двух геометрий составляет $78,95 \text{ км}^2$.

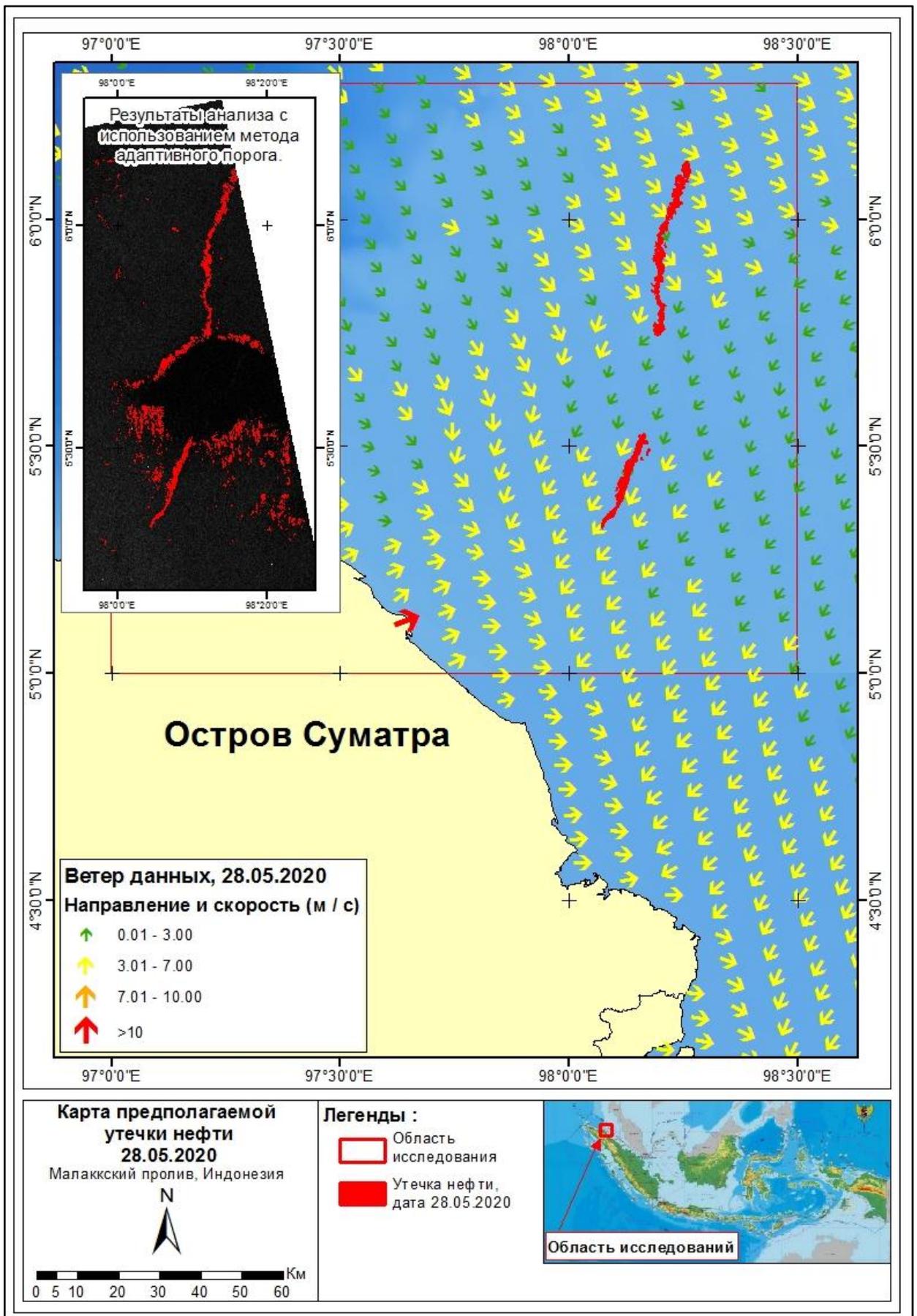


Рис. 13. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 28.05.2020 г

Данные гистограммы от 28.05.2020 года показывают, что среднее значение обратного рассеяния для морской поверхности составляет 17 дБ. Между тем, просачивание масла обозначается значением ниже 15 дБ. Это связано с тем, что авторы определили порог в 2 дБ от среднего значения водной поверхности.

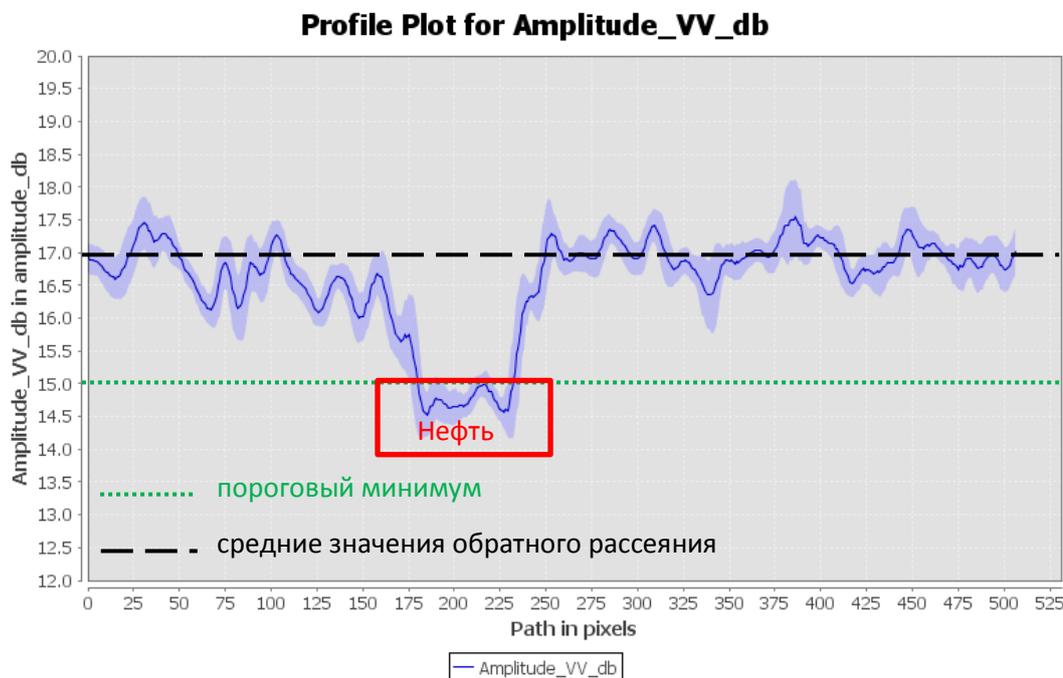


График 1(а). Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 28.05.2020

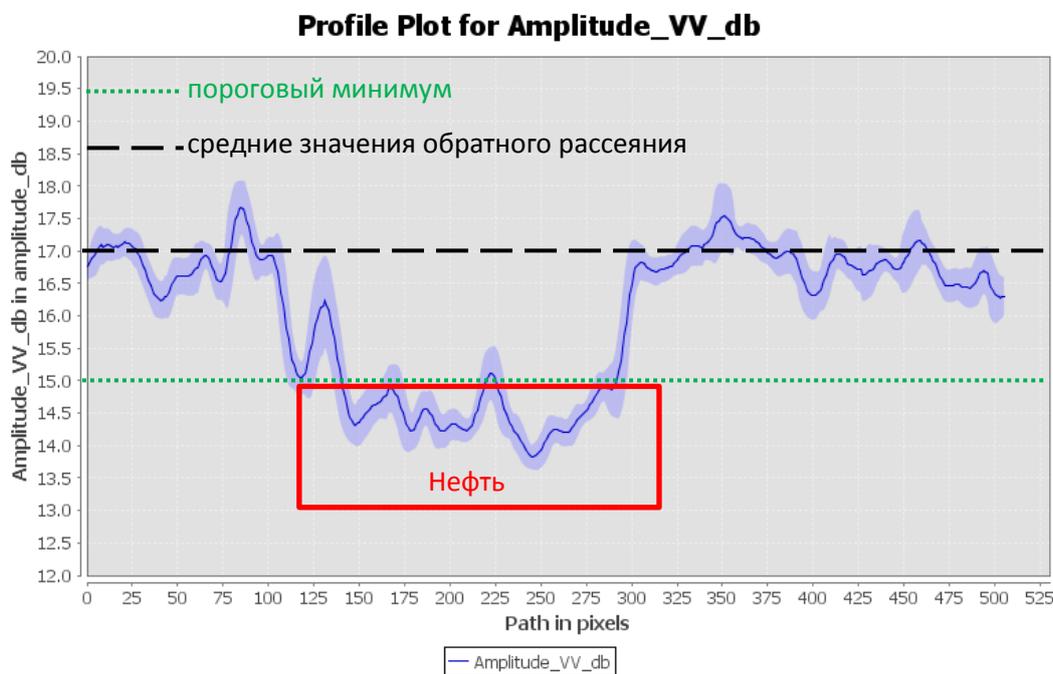


График 1(б). Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 28.05.2020

б) Данные от 21.06.2020 г.

На рис. 14 показано изображение, полученное 21 июня 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,1 - 11,5 м/с, он дул с юго-востока в восточной

части на Северо-восток и Юго-запад и дул с Запада (побережье) на Восток (Малаккский пролив) вдоль побережья острова Суматра. Обычно это происходит из-за сухопутных бризов. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 10 м / с), на это указывает доминирование желтых и оранжевых стрелочных символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра от 3 до 10 м / с, в центральной и восточной части района исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. (менее 3 м/с). Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до высокого. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 14) обеспечивает плохое покрытие объекта и затрудняет проверку результатов автоматического метода. Это указывает на наличие ошибок в обнаружении нефтяного слоя в этой области. Ошибка анализа возникает в областях с преобладанием низкой скорости ветра (менее 3 м/с), которая является областью низкого ветра. Области с низким ветром со скоростью ветра менее 3 м/с было упомянуто, что при этих скоростях шероховатость морской поверхности очень мала или даже отсутствует, что вызывает демпфирование в этом районе. Эти области образуют темные пятна на изображениях SAR. Также видно, что есть квадратная геометрическая форма, которая указывает на присутствие кораблей в это время. Корабли, плавающие в районе исследования, будут мешать процессу обнаружения с помощью адаптивного порогового метода, потому что разница значений пикселей слишком бросается в глаза с его окружением. По словам Gancheva (2019), на красной квадратной форме изображен корабль длиной более 30 м. В это время авторы также не смогли проверить, основываясь на типичной линейной и криволинейной геометрии просачивания нефти. Результаты обнаружения с помощью автоматического метода также не показывают появления кривизны при соединении с направлением возникающего ветра. Поэтому авторы не использовали результаты обнаружения просачивания нефти на эту дату.

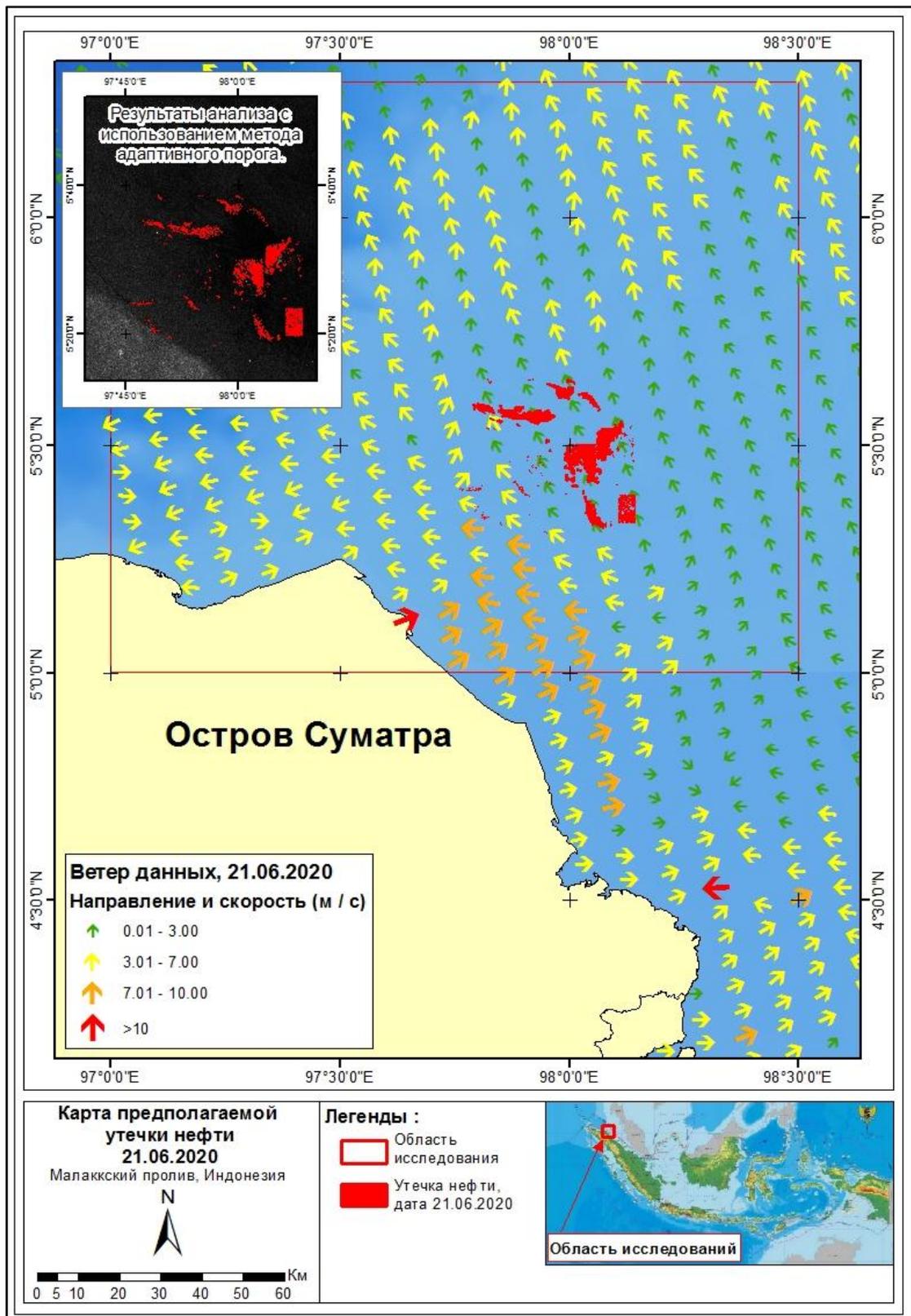


Рис. 14. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 21.06.2020 г

Данные гистограммы от 21.06.2020 г. показывают, что величина обратного рассеяния для морской поверхности колеблется в пределах 15-17 дБ, а среднее значение

обратного рассеяния составляет 16 дБ. Согласно порогу, установленному автором в 2 дБ от значения поверхности моря, просачивание нефти должно быть показано при значении обратного рассеяния ниже 14 дБ. Однако этого не видно в данных гистограммы. Кроме того, существуют аналитические ошибки, вызванные кораблями в районе исследований. Наличие судов в районе исследования обозначается графиком, который имеет очень высокое значение обратного рассеяния и превышает среднее значение обратного рассеяния морской поверхности. Величина обратного рассеяния для кораблей находится в диапазоне от 23 до 25 дБ. А результаты анализа на карте показаны в квадратной форме (Gancheva and Peneva, 2019). Очень высокая разница в значениях обратного рассеяния из-за присутствия кораблей вокруг района исследований вызывает хаос в расчетных средних значениях уровня моря. Эта ошибка в оценке среднего значения поверхности моря также вызывает ошибку в анализе просачивания нефти с использованием этого метода.

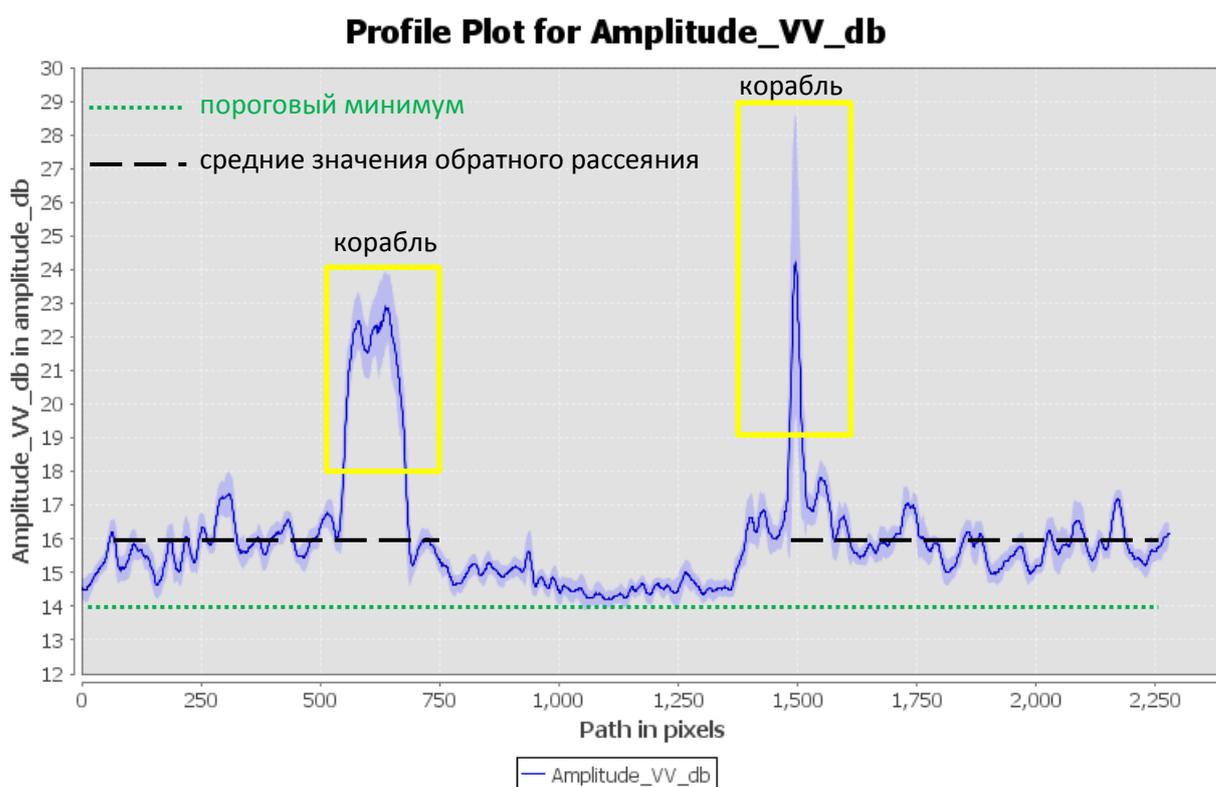


График 2. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 21.06.2020

в) Данные от 03.07.2020 г.

На рис. 15 показано изображение, полученное 03 июля 2020 года. Скорость ветра в момент приобретения составляла около 1,2 - 10,6 м/с и дула с юго - востока в восточной части на Запад-это направление ветра является показателем того, что муссоны играют большую роль в это время. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование символа направления желтой

стрелки в районе исследований. Несмотря на то, что в западной и юго-восточной части района исследований преобладают скорости ветра от 3-7 м/с, есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями дуют с севера на северо-восток района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении умеренное. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 15) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Незначительное изменение скорости ветра в зоне слабого ветра (2,6 - 2,9 м/с) и тенденция относительно равномерного направления ветра приводят к тому, что шероховатость морской поверхности захватывается Sentinel-1, так что темные пятна не образуются. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения в районах с низким ветром, поскольку в этой области нет пятен просачивания нефти. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Из рис. 3 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 31,06 км к юго-западу от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 161,14 км².

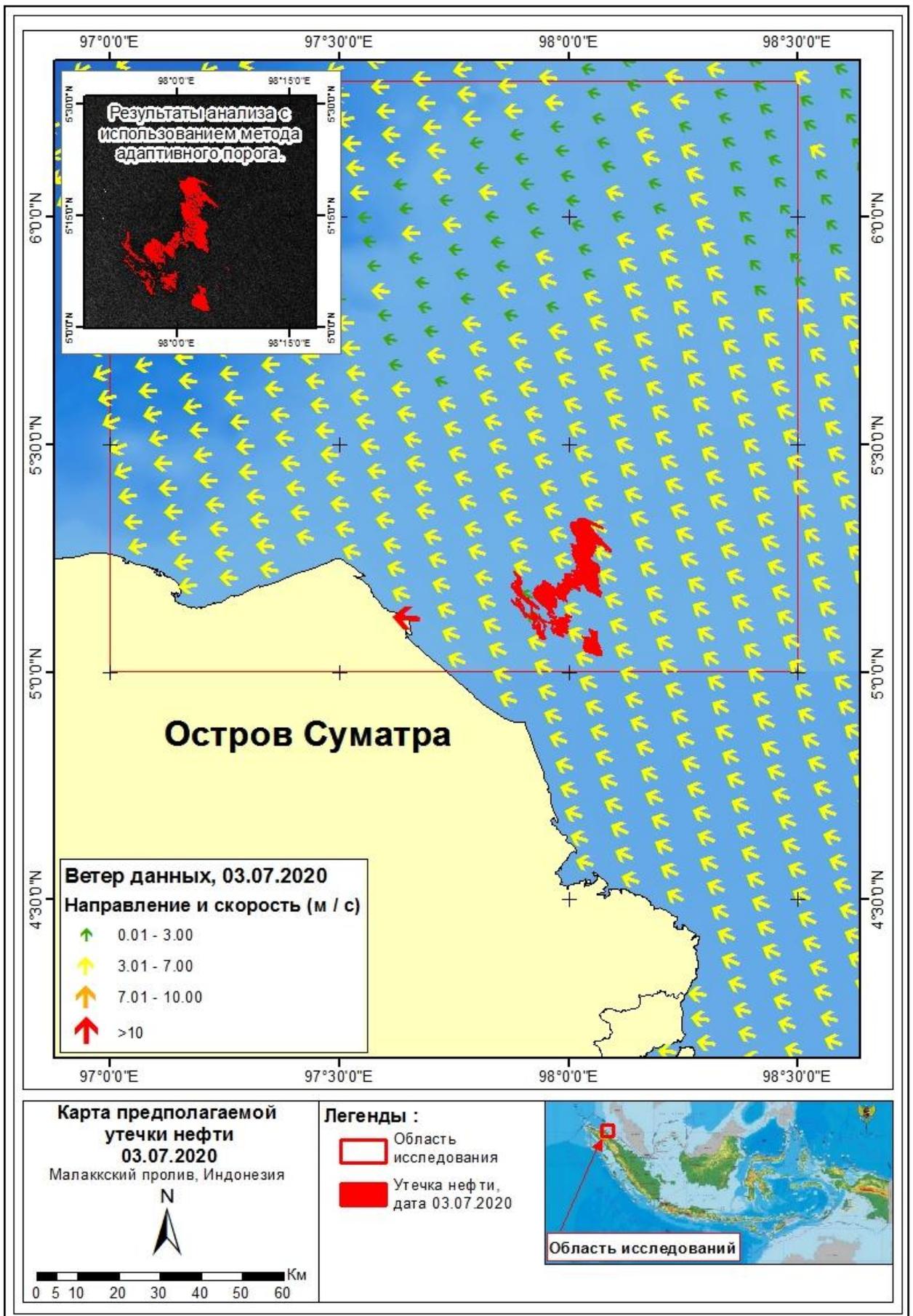


Рис. 15. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 03.07.2020 г

Данные гистограммы от 03.07.2020 г. показывают, что среднее значение обратного рассеяния для морской поверхности составляет 18,5 дБ. Между тем, просачивание нефти обозначается значением ниже 16,5 дБ. Это связано с тем, что авторы определили порог в 2 дБ от среднего значения водной поверхности. Эта гистограмма показывает, что просачивание нефти имеет значение между 14,5 - 16,5 дБ.

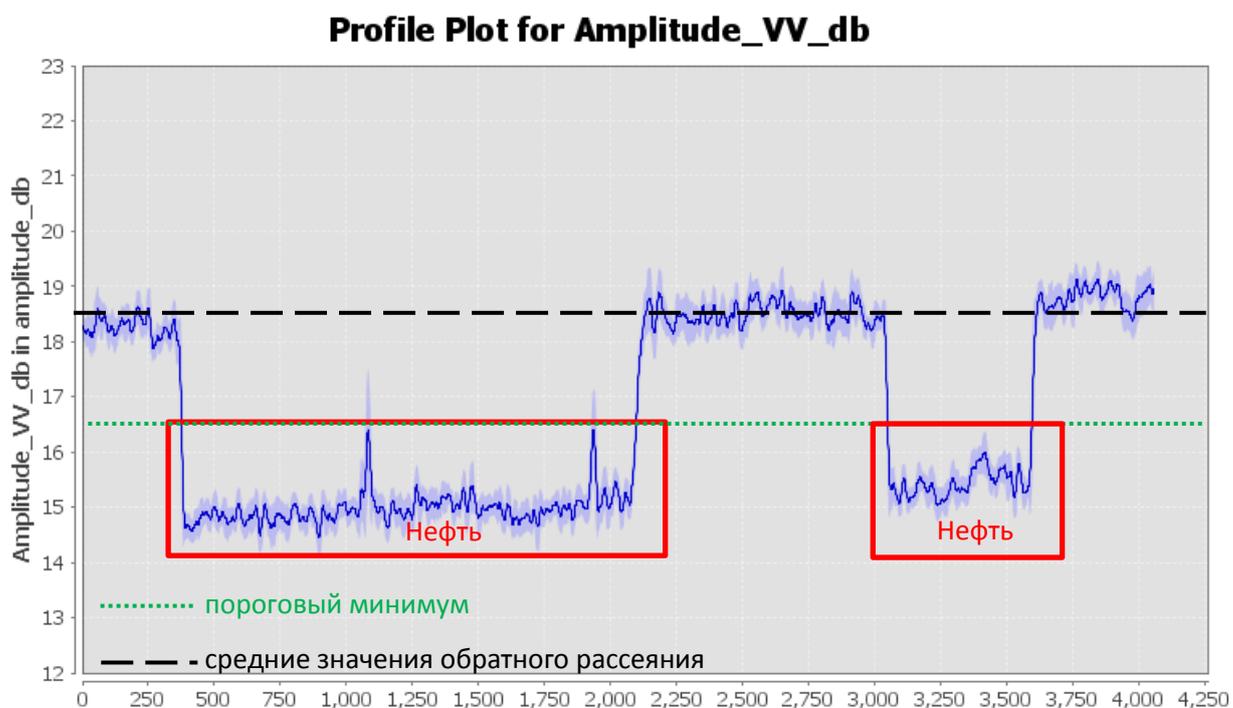


График 3. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 03.07.2020

г) Данные от 15.07.2020 г.

На рис. 16 показано изображение, полученное 15 июля 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,2 - 10,6 м/с и дула с юго-востока на Запад и Северо-запад. Это направление ветра указывает на то, что муссоны играют большую роль в это время. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование символа направления желтой стрелки в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-7 м/с, более чем в половине районов исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями находятся в северной части района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 16) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Незначительное изменение скорости ветра в зоне слабого ветра (2 – 2,9 м/с) и тенденция относительно равномерного направления ветра приводят к тому, что шероховатость морской поверхности

захватывается Sentinel-1, так что темные пятна не образуются. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения в районах с низким ветром, поскольку в этой области нет пятен просачивания нефти. Результат обнаружения с использованием адаптивного порогового метода также показывает линейные геометрические фигуры в направлении ветра с площадью, которая имеет тенденцию быть небольшой по сравнению с другими оценками просачивания нефти. Линейные геометрические фигуры в направлении ветра с площадью, которая имеет тенденцию быть небольшой по сравнению с другими оценками просачивания нефти. Поэтому нет никакого изогнутого характера из-за направления ветра. Из рис. 16 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 16,55 км к северо-западу от района исследований и общая площадь этой геометрии составляет 21,16 км².

Данные гистограммы от 15.07.2020 года показывают, что значение обратного рассеяния для морской поверхности колеблется в пределах 18,5 - 20,5 дБ, поэтому среднее значение обратного рассеяния для морской поверхности составляет 19 дБ. Между тем, величина просачивания нефти находится ниже значения 17 дБ, а точнее около значения 14,5 - 17 дБ.

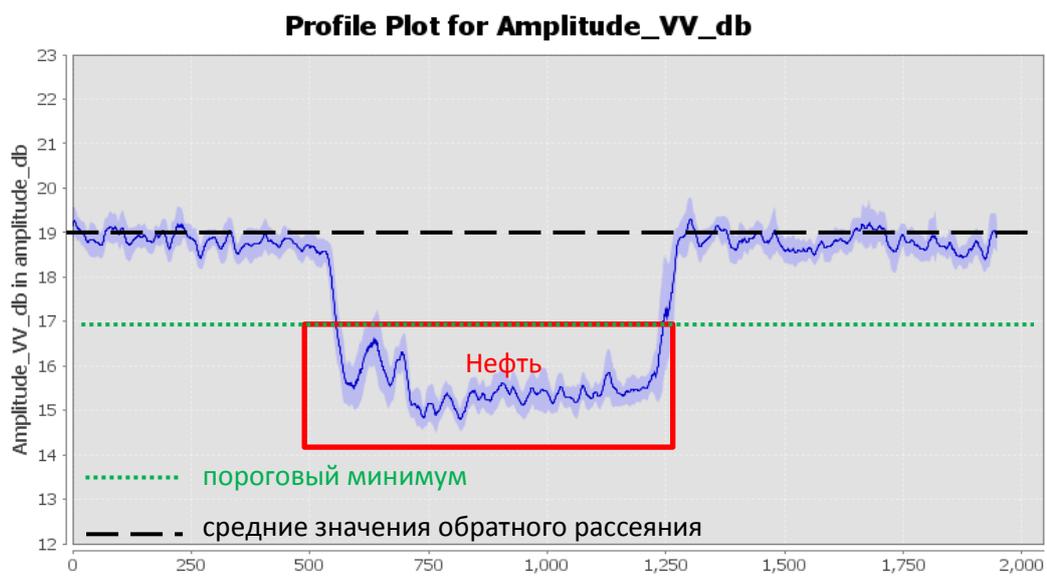


График 4. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 15.07.2020

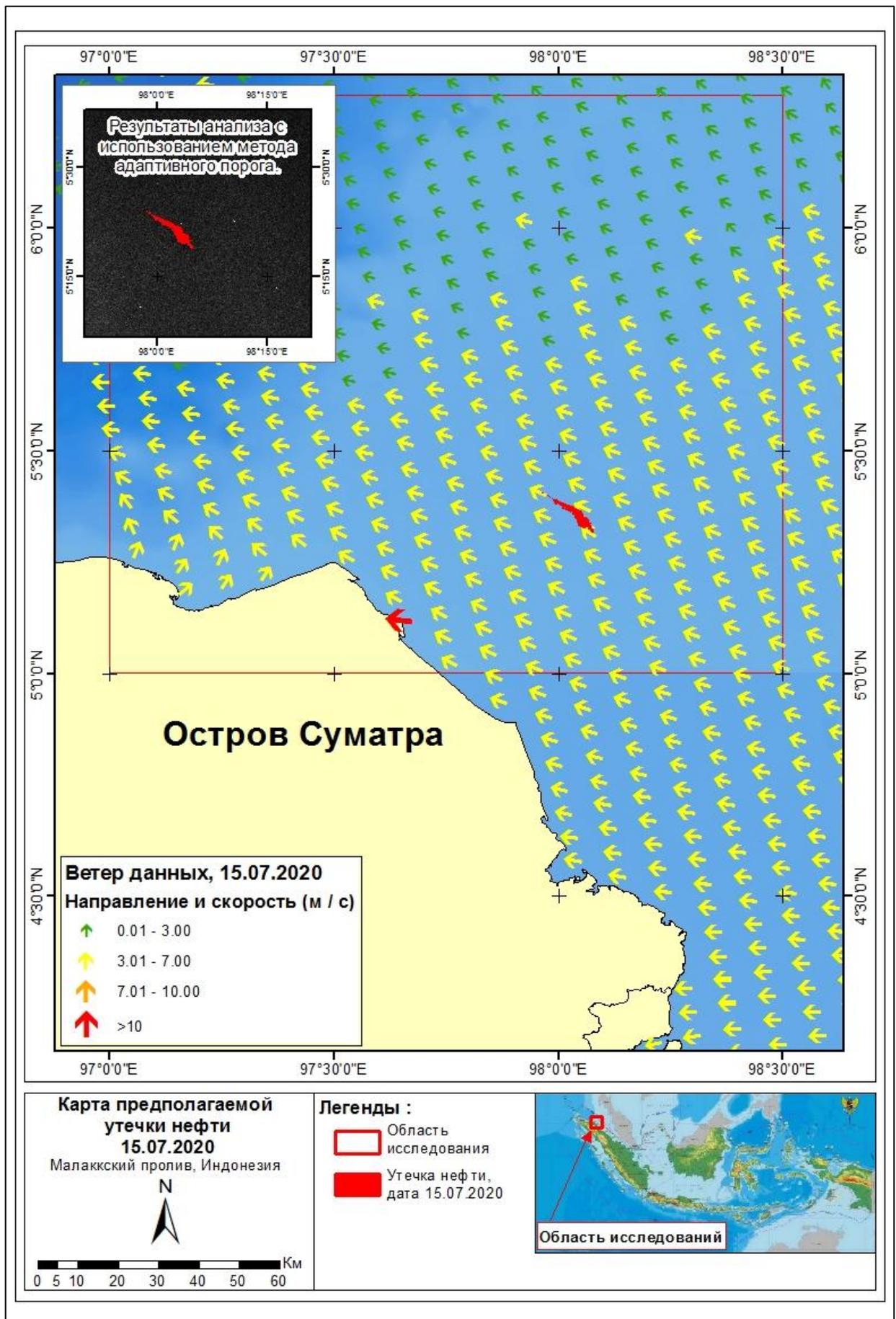


Рис. 16. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 15.07.2020 г

д) Данные от 08.08.2020 г.

На рис. 17 показано изображение, полученное 08 августа 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 1,4 - 14,8 м/с, он дул с Запада и Северо-Запада в западной части на Юг и Юго-запад и дул с Запада (побережье) на Восток (Малаккский пролив) вдоль побережья острова Суматра. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 10 м / с), на это указывает доминирование желтых и оранжевых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-10 м/с, более чем в половине районов исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями дуют в юго-восточной части района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 17) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Незначительное изменение скорости ветра в зоне слабого ветра (2,4 – 2,9 м/с) и тенденция относительно равномерного направления ветра приводят к тому, что шероховатость морской поверхности захватывается Sentinel-1, так что темные пятна не образуются. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения в районах с низким ветром, поскольку в этой области нет пятен просачивания нефти. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Из рис. 17 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 10 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 43,44 км в направлении юго-запада района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 67,69 км².

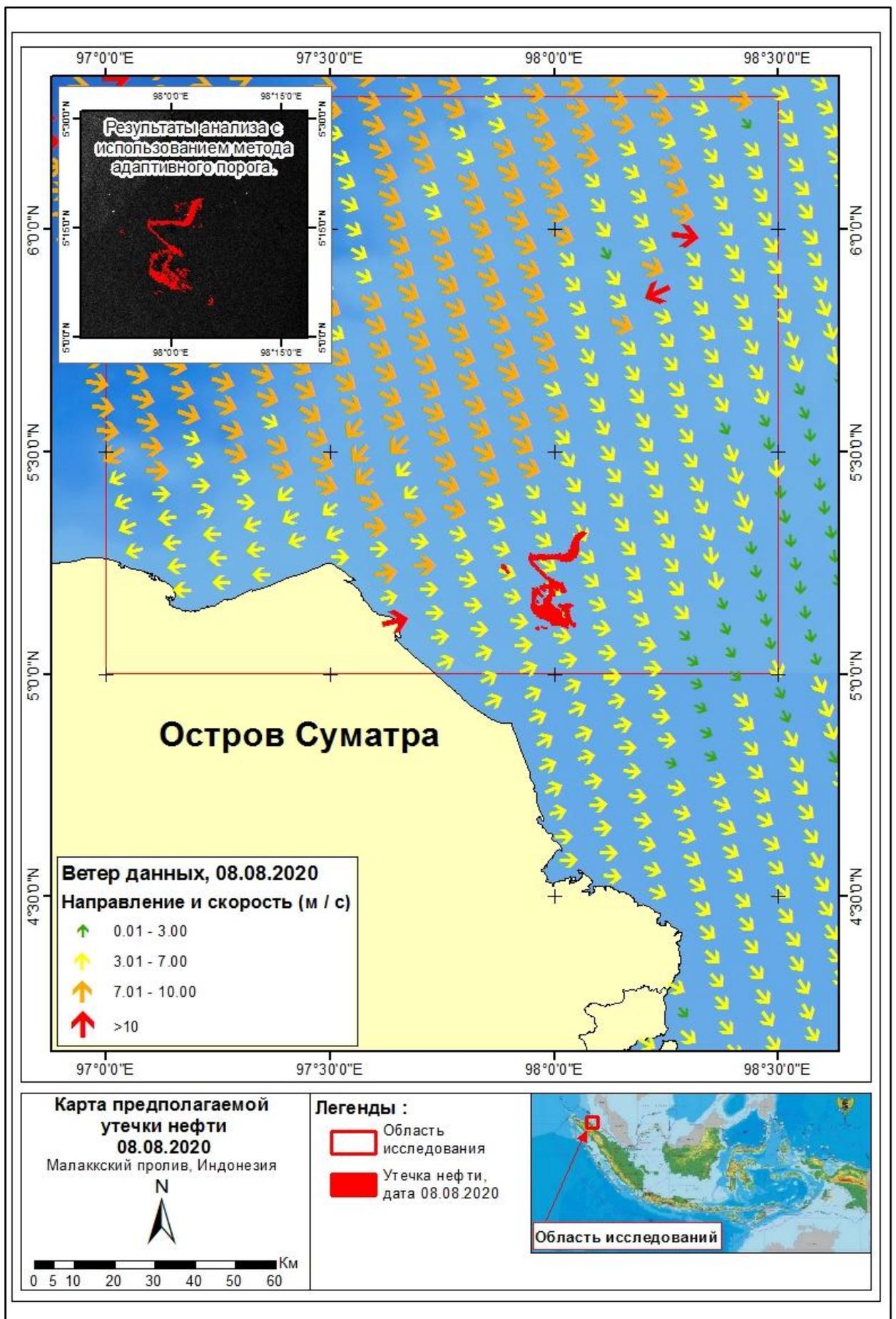


Рис. 17. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 08.08.2020 г

Данные гистограммы от 08.08.2020 года показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности составляет 17,5 - 18,5 дБ, то есть среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 18 дБ. Между тем, величина обратного рассеяния при просачивании нефти составляет менее 16 дБ.

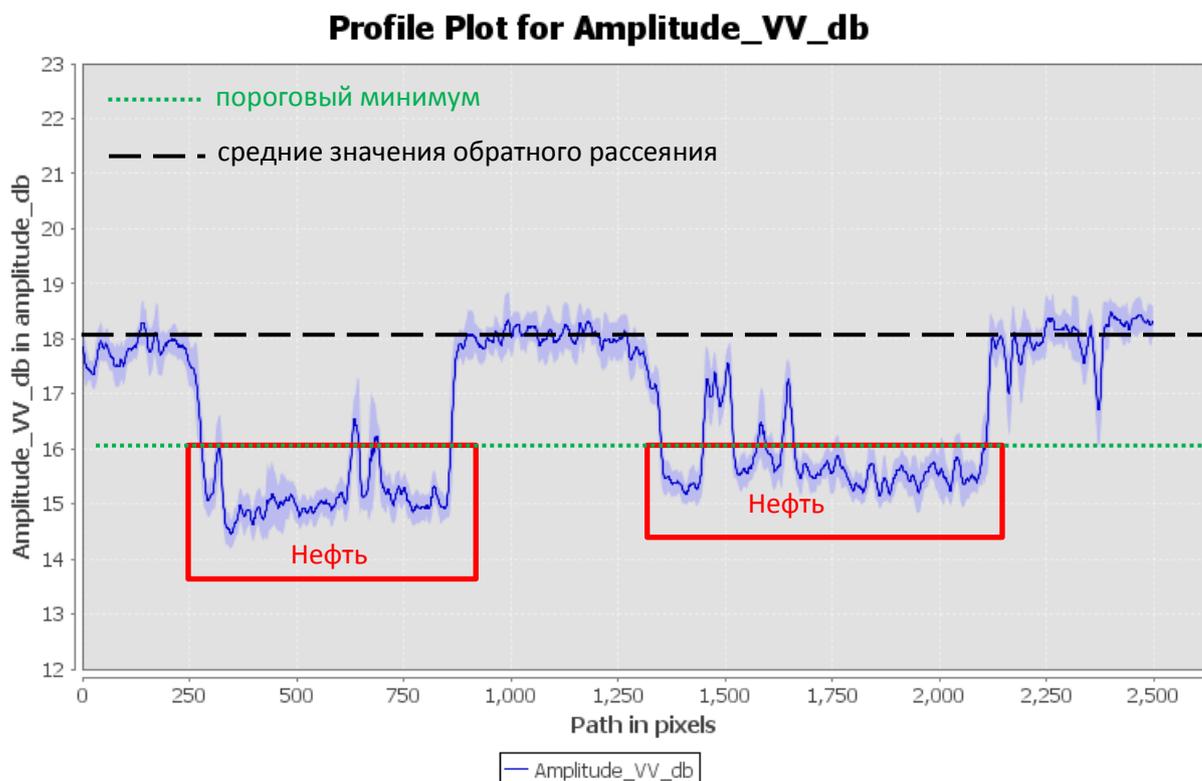


График 5. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 08.08.2020

е) Данные от 20.08.2020 г.

На рис. 18 показано изображение, полученное 20 августа 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,1 - 9,9 м/с и дула с юго-востока на Запад. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-7 м/с, почти на всей территории исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями находятся в северо-восточной части района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 18) обеспечивает хорошее покрытие объекта в это время, но есть и "look-alike" структуры, которые также обнаруживаются. Несмотря на то, что он находится в районе с требуемой скоростью ветра (3-10 м / с), произошли некоторые ошибки обнаружения. Ошибки обнаружения возникают вокруг приблизительной площади нефтяных пятен просачивания. Подсчитано, что ошибка обнаружения адаптивным пороговым методом возникает из-за присутствия кораблей в

этом районе. Если вы обратите внимание, то в этой области есть несовершенная форма красного квадрата. А при визуальном просмотре непосредственно с изображения он показывает наличие ярких пикселей, которые указывают на активность кораблей. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения ошибок. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Из рис. 18 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 81,40 км к северо - востоку от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 152,24 км².

Данные гистограммы от 20.08.2020 года показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется от 17 до 18,5 дБ, а среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 17,5 дБ. Таким образом, значение обратного рассеяния ниже 15,5 дБ интерпретируется как просачивание нефти, появившееся в районе исследований в эту дату.

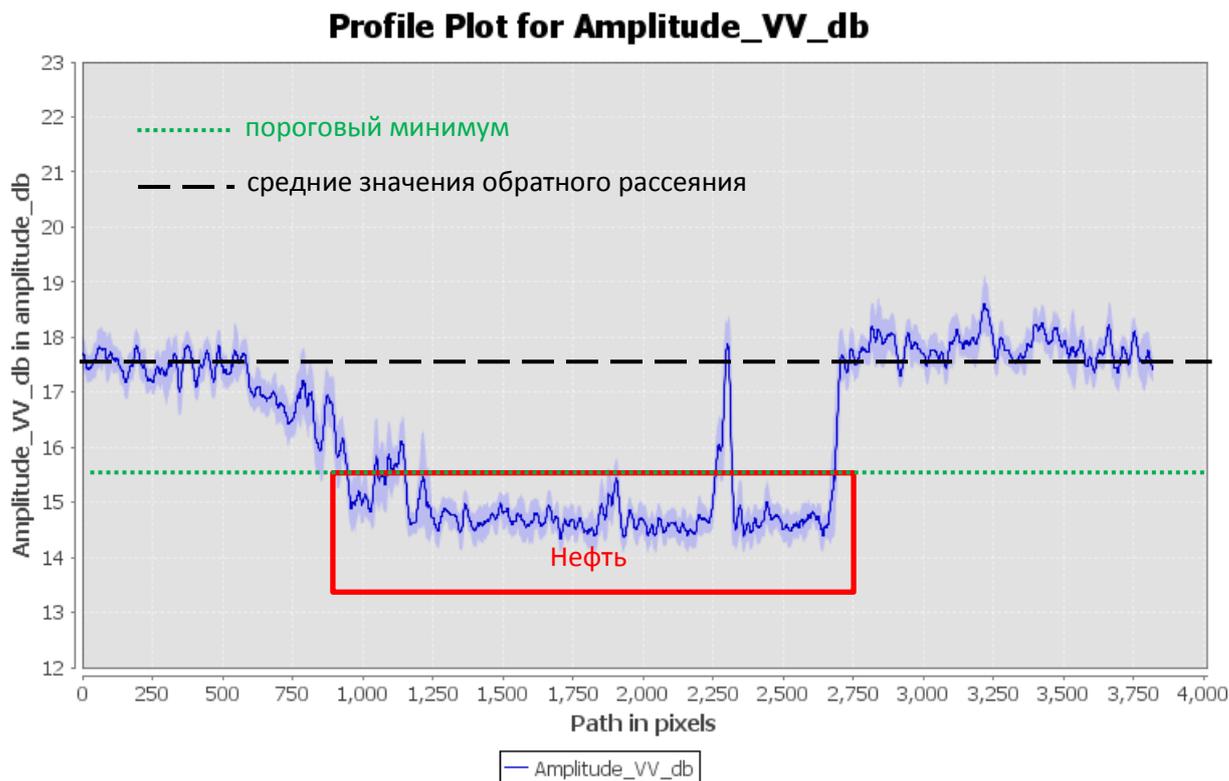


График 6. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 20.08.2020

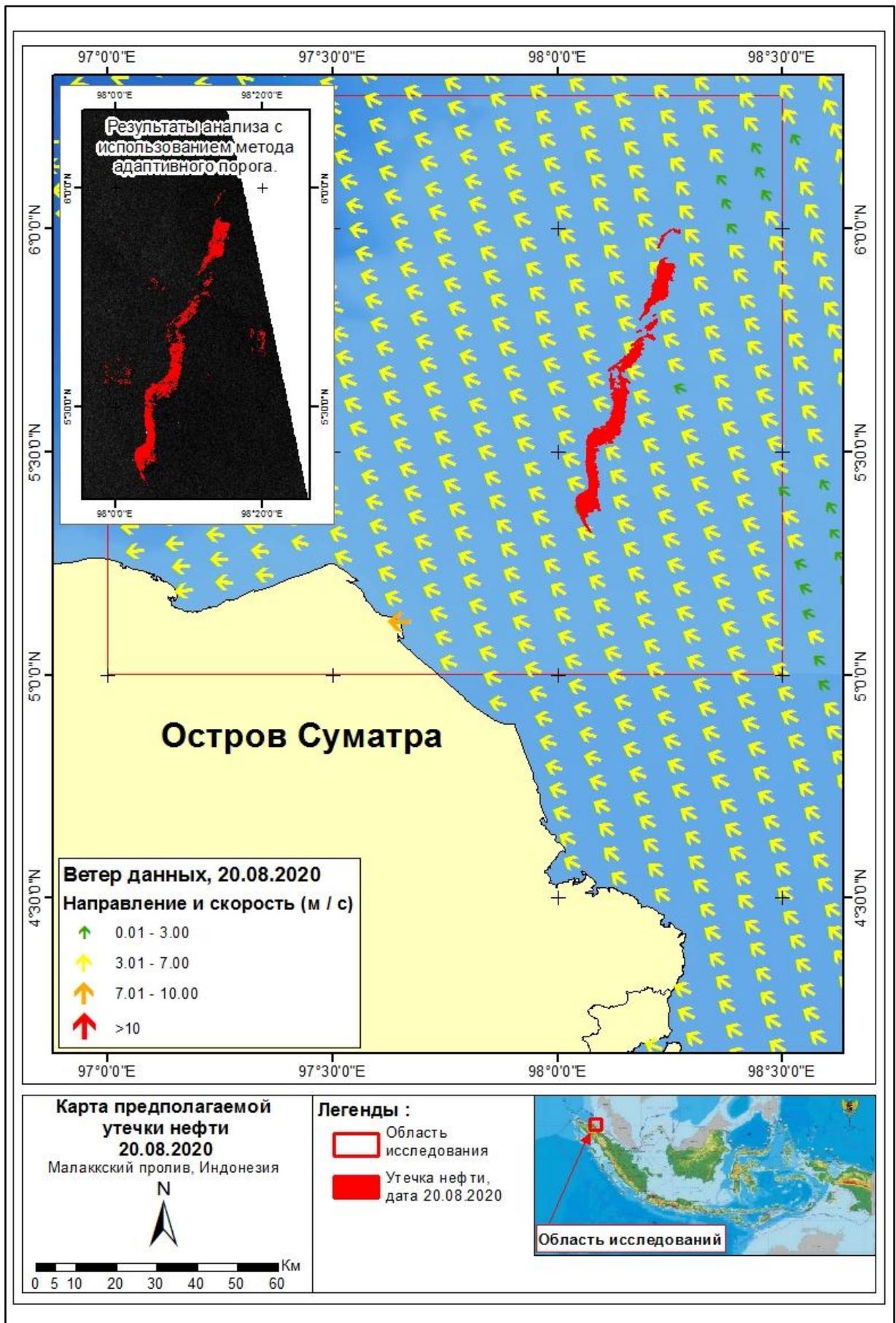


Рис. 18. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 20.08.2020 г

ж) Данные от 01.09.2020 г.

На рис. 19 показано изображение, полученное 01 сентября 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,2 - 10,5 м/с, он дул с юго-востока в восточном направлении на Северо-запад и дул с Юго-запада (побережье) на Северо-восток (Малаккский пролив) вдоль побережья острова Суматра. В это время в районе исследований преобладает низкая скорость ветра (менее 3 м / с), на это указывает доминирование зеленых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают ветры со скоростью менее 3 м / с, вокруг острова Суматра все еще существуют ветры со скоростью более 3 м / с и дующие от побережья к морю. Обычно это происходит из-за сухопутных бризов. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 19) обеспечивает плохое покрытие объекта, и результаты автоматического метода трудно проверить. Это указывает на наличие ошибок в обнаружении нефтяного слоя в этой области. Ошибка анализа возникает в областях с преобладанием низкой скорости ветра (менее 3 м/с), которая является областью низкого ветра. Области с низким ветром со скоростью ветра менее 3 м/с было упомянуто, что при этих скоростях шероховатость морской поверхности очень мала или даже отсутствует, что вызывает демпфирование в этом районе. Эти области образуют темные пятна на изображениях SAR. Также видно, что есть квадратная геометрическая форма, которая указывает на присутствие кораблей в это время. Корабли, плавающие в районе исследования, будут мешать процессу обнаружения с помощью адаптивного порогового метода, потому что разница значений пикселей слишком бросается в глаза с его окружением. По словам Gancheva (2019), на красной квадратной форме изображен корабль длиной более 30 м. В это время авторы также не смогли проверить, основываясь на типичной линейной и криволинейной геометрии просачивания нефти. Поэтому авторы не использовали результаты обнаружения просачивания нефти на эту дату.

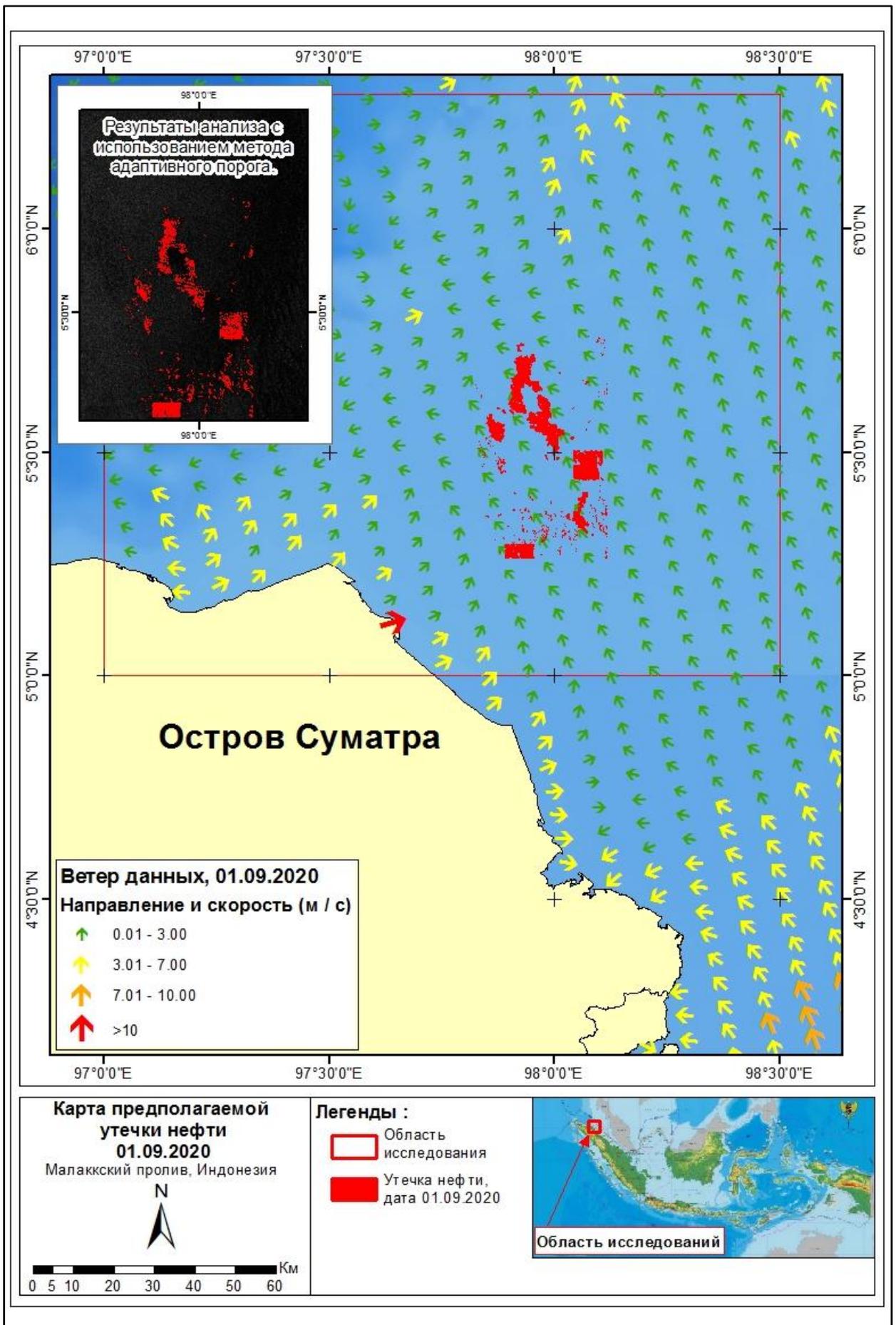


Рис. 19. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 01.09.2020 г

Данные гистограммы от 01.09.2020 г. показывают, что значение обратного рассеяния для морской поверхности колеблется от 16 до 17,5 дБ и имеет среднее значение обратного рассеяния 16,8 дБ. Согласно порогу, установленному автором в 2 дБ от значения поверхности моря, просачивание нефти должно быть показано при значении обратного рассеяния ниже 14,8 дБ. Это видно из данных гистограммы, что есть несколько областей, которые, как полагают, являются просачиванием нефти. Однако в этих данных гистограммы предполагается, что существует ошибка анализа, вызванная кораблями вокруг района исследований. Наличие судов в районе исследования обозначается графиком, который имеет очень высокое значение обратного рассеяния и превышает среднее значение обратного рассеяния морской поверхности. Величина обратного рассеяния для кораблей находится в диапазоне от 19,5 до более чем 23 дБ. А результаты анализа на карте показаны в квадратной форме (Gancheva and Peneva, 2019). Очень высокая разница в значениях обратного рассеяния из-за присутствия кораблей вокруг района исследований вызывает хаос в расчетных средних значениях морской поверхности. Эта ошибка в оценке среднего значения поверхности моря также вызывает ошибку в анализе просачивания нефти с использованием этого метода.

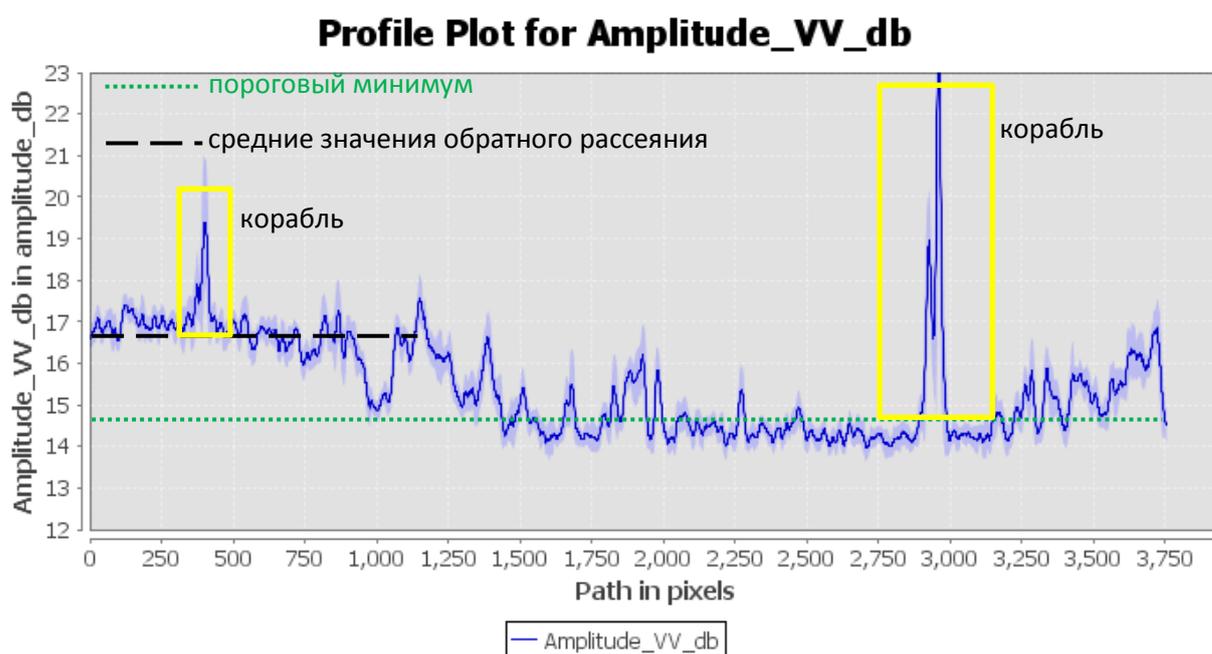


График 7. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 01.09.2020

з) Данные от 13.09.2020 г.

На рис. 20 показано изображение, полученное 20 сентября 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,2 - 15,7 м/с и дула с Запада и Юго-запада на Восток и Юго-восток. В это время в районе исследований преобладает требуемая

скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-7 м/с, более чем в половине районов исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями дуют в юго-восточной и юго-западных частях района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 20) обеспечивает хорошее покрытие объекта в это время, но есть и "look-alike" структуры, которые также обнаруживаются. Несмотря на то, что он находится в районе с требуемой скоростью ветра (3-7 м / с), произошли некоторые ошибки обнаружения. Ошибки обнаружения возникают вокруг приблизительной площади нефтяных пятен просачивания. Подсчитано, что ошибка обнаружения адаптивным пороговым методом возникает из-за присутствия кораблей в этом районе. Если вы обратите внимание, то в этой области есть несовершенная форма красного квадрата. А при визуальном просмотре непосредственно с изображения он показывает наличие ярких пикселей, которые указывают на активность кораблей. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения ошибок. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Короткий поток возможной утечки нефти может быть вызван меньшим объемом утечки нефти, чем другие, и тем, что направление океанских течений противоположно направлению поверхностного ветра. Из рис. 20 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 24,9 км к юго-западу от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 40,79 км².

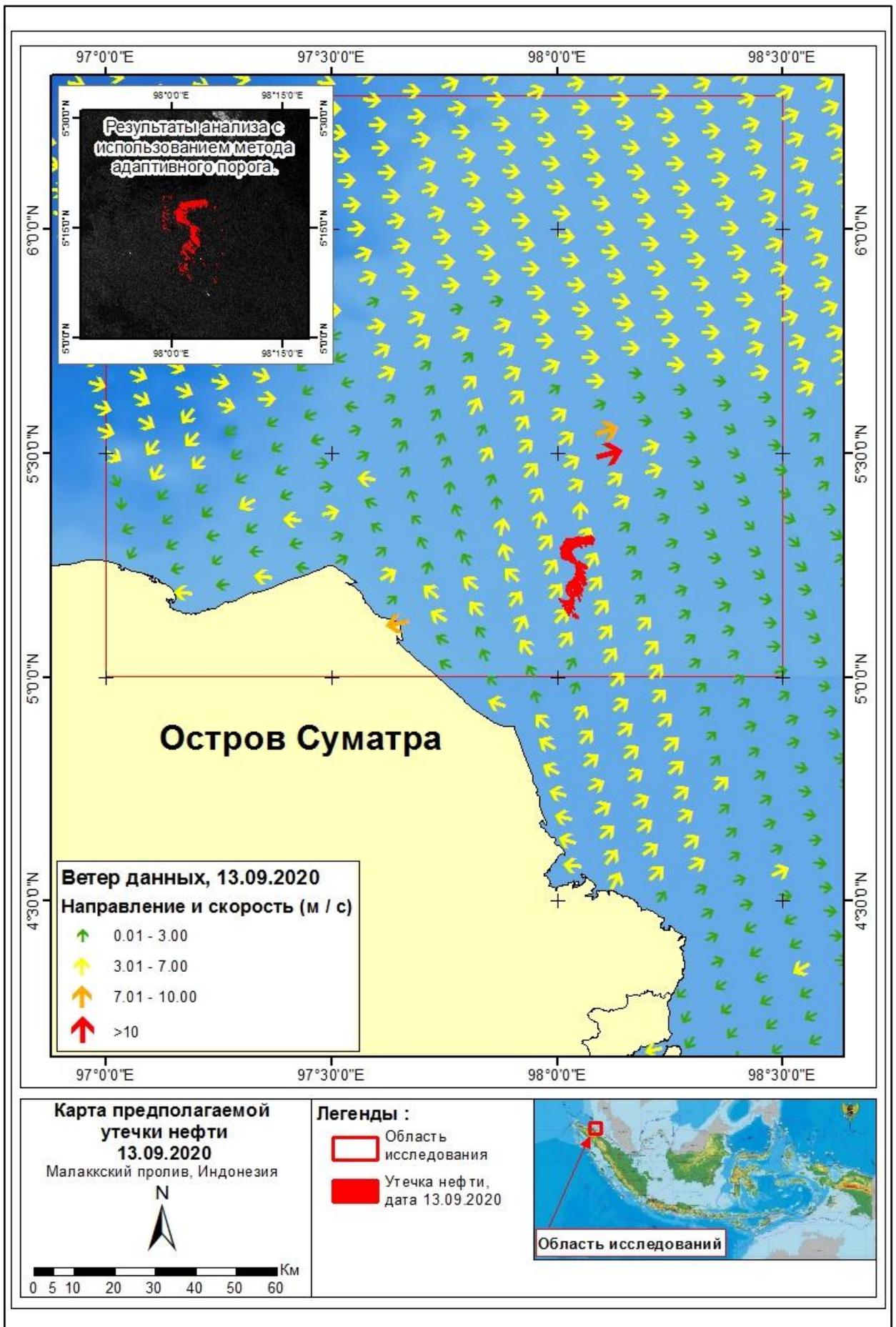


Рис. 20. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 13.09.2020 г

Данные гистограммы от 13.09.2020 г. показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется от 16 до 18,5 дБ, а среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 17,3 дБ. Так что значение обратного рассеяния ниже 15,3 дБ интерпретируется как просачивание нефти, появившееся в районе исследований в эту дату.

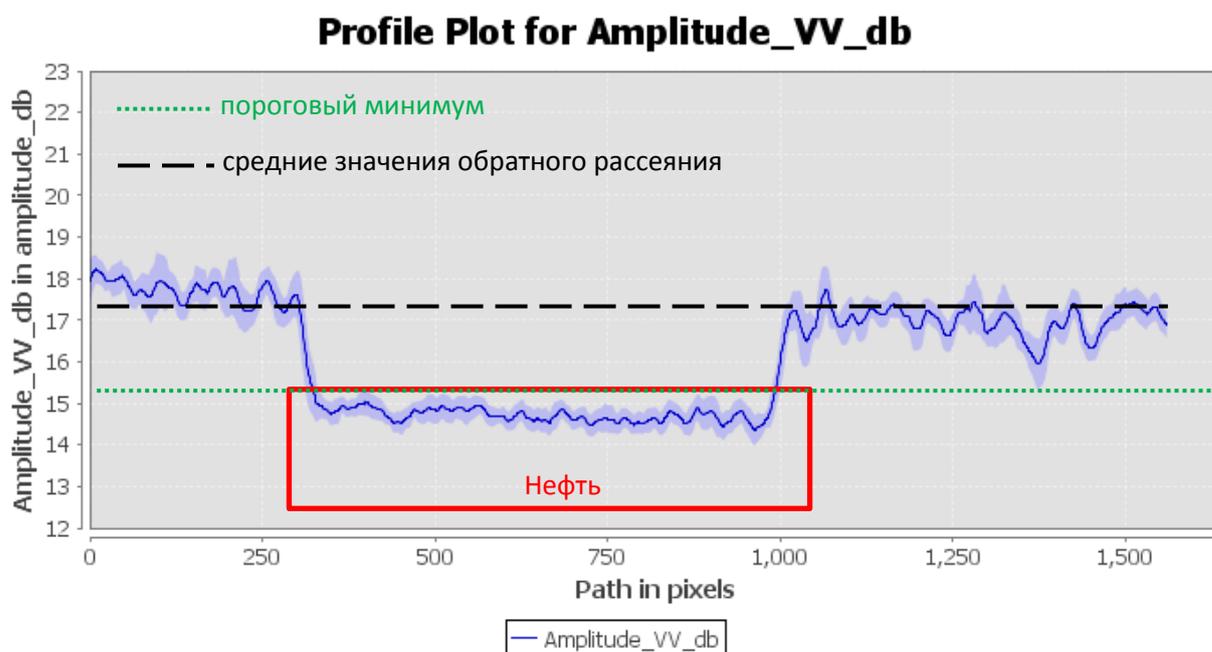


График 8. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 13.09.2020

и) Данные от 25.09.2020 г.

На рис. 21 показано изображение, полученное 25 сентября 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,4 - 12,5 м/с и дула с Северо-Запада на Юго-Восток и Юго-Запад. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-7 м/с, более чем в половине районов исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями находятся в Западной и юго-восточной частях района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 21) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Незначительное изменение скорости ветра в зоне слабого ветра (1,2 – 2,9 м/с) и тенденция относительно равномерного направления ветра приводят к тому, что шероховатость морской поверхности захватывается Sentinel-1, так что темные пятна не образуются.

Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения в районах с низким ветром, поскольку в этой области нет пятен просачивания нефти. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. В конце потока есть возможность просачивания нефти, есть некоторые части, которые разошлись. Это связано с влиянием направления и скорости ветра и связано с толщиной нефтяного слоя. Однако эти данные прогноза нефти все еще могут быть использованы, поскольку предполагается, что они все еще связаны с основным потоком просачивания нефти. Из рис. 9 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 58,21 км к юго-западу от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 65,29 км².

Данные гистограммы от 25.09.2020 г. показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется в пределах 17,5 - 18,5 дБ, а среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 18 дБ. Таким образом, значение обратного рассеяния ниже 16 дБ интерпретируется как просачивание нефти, появившееся в районе исследований в эту дату.

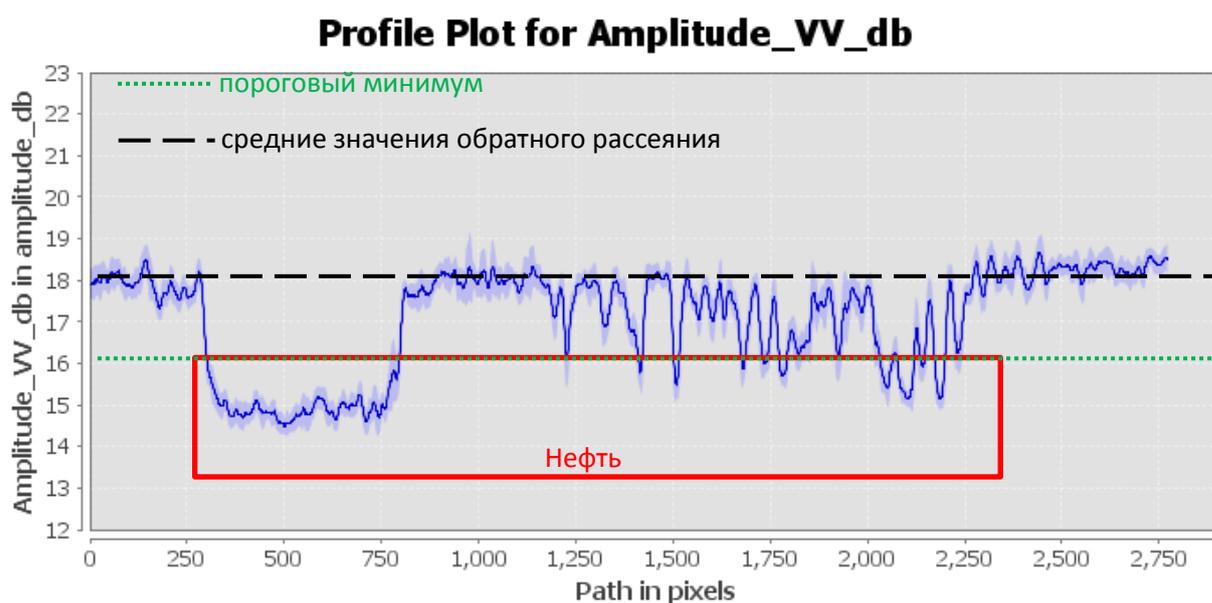


График 9. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 25.09.2020

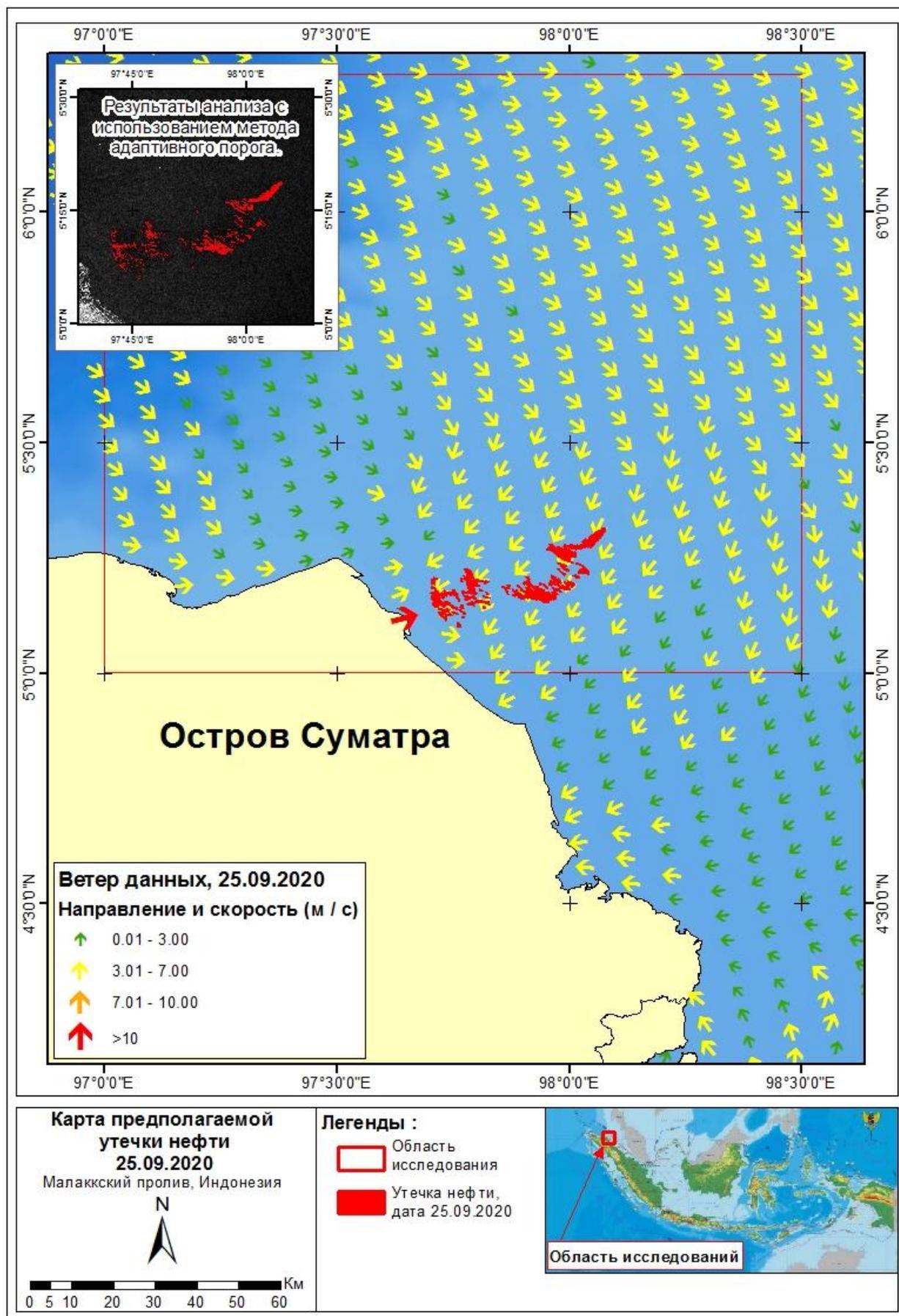


Рис. 21. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 25.09.2020 г

к) Данные от 19.10.2020 г.

На рис. 22 показано изображение, полученное 19 октября 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,2 - 12,7 м/с и дула с Востока и северо-востока на Запад и Северо-Запад. Однако вдоль побережья острова Суматра несколько направлений ветра дуют с юго-запада (побережье) на северо-восток (Малаккский пролив). Обычно это происходит из-за сухопутных бризов. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Несмотря на то, что здесь преобладают скорости ветра в пределах 3-7 м/с, более чем в половине районов исследований есть также районы с низкими скоростями ветра. Ветры с низкими скоростями дуют в северо-восточной и северной части района исследований. Общее обратное рассеяние на изображении от низкого до умеренного. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 22) обеспечивает хорошее покрытие объекта в это время, но есть и "look-alike" структуры, которые также обнаруживаются. Несмотря на то, что он находится в районе с требуемой скоростью ветра (3-7 м / с), произошли некоторые ошибки обнаружения. Ошибки обнаружения возникают вокруг приблизительной площади нефтяных пятен просачивания. Подсчитано, что ошибка обнаружения адаптивным пороговым методом возникает из-за присутствия кораблей в этом районе. Если обратить внимание, то в этом районе есть красная квадратная форма. А при визуальном просмотре непосредственно с изображения он показывает наличие ярких пикселей, которые указывают на активность кораблей. Поэтому авторы игнорируют результаты обнаружения ошибок. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этой области и объема просачивания нефти на поверхность. В конце потока есть возможность просачивания нефти, есть некоторые части, которые разошлись. Это связано с влиянием направления и скорости ветра и связано с толщиной нефтяного слоя. Из рисунка 22 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 44,62 км в направлении северо-запада района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 102,24 км².

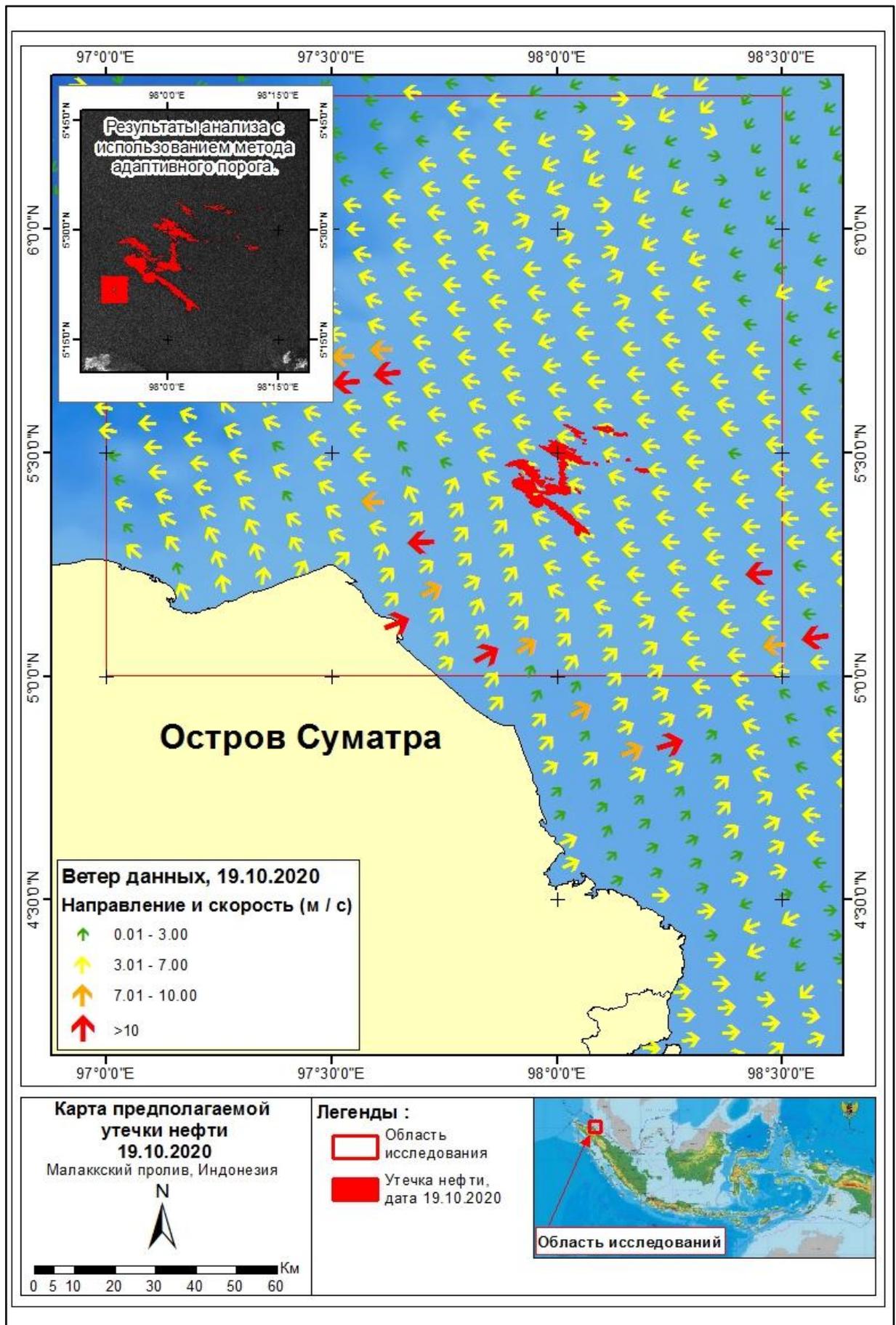


Рис. 22. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 19.10.2020 г

Данные гистограммы от 19.10.2020 года показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется в пределах 17,8 - 19,5 дБ и имеет среднее значение обратного рассеяния 18,2 дБ. Так что величина обратного рассеяния при просачивании нефти будет ниже 16,2 дБ. В это время было видно, что в районе исследований были корабли, но поскольку расстояние было довольно далеко от просачивания нефти, это не смутило результаты анализа с этим методом.

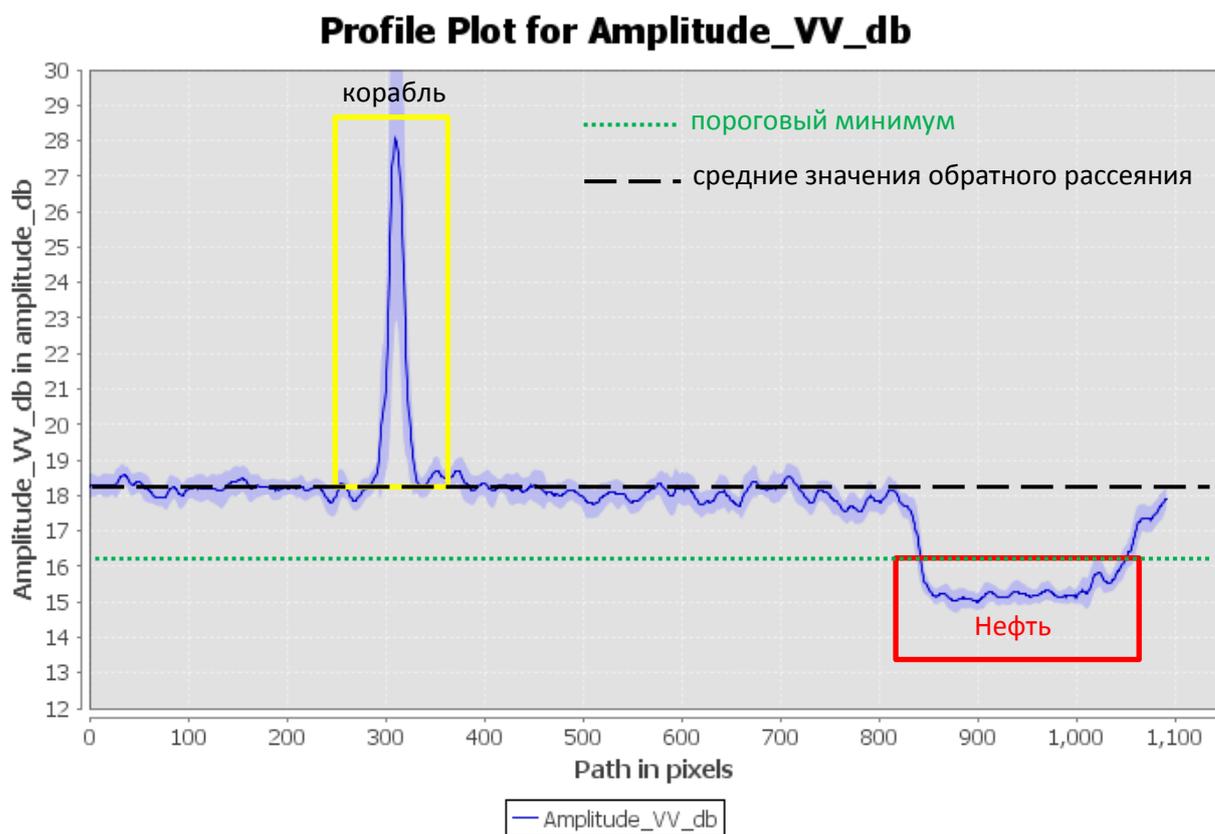


График 10. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 19.10.2020

л) Данные от 31.10.2020 г.

На рис. 23 показано изображение, полученное 31 октября 2020 года. Скорость ветра в момент приобретения составляла около 0,8 - 10,9 м/с, и дул он преимущественно с юго-востока на Юго-Запад и Северо-Запад. В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Точки с низкими и сильными скоростями ветра ничтожны, потому что они не покрывают большой и очень маленькой площади. Общее обратное рассеяние на изображении умеренное. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 23) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в

некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Из рис. 23 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 77,11 км к северо-востоку от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 152,62 км².

Данные гистограммы от 31.10.2020 года показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется в пределах 16,8 - 17,9 дБ, а среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 17,3 дБ. Так что значение обратного рассеяния ниже 15,3 дБ интерпретируется как просачивание нефти, появившееся в районе исследований в эту дату.

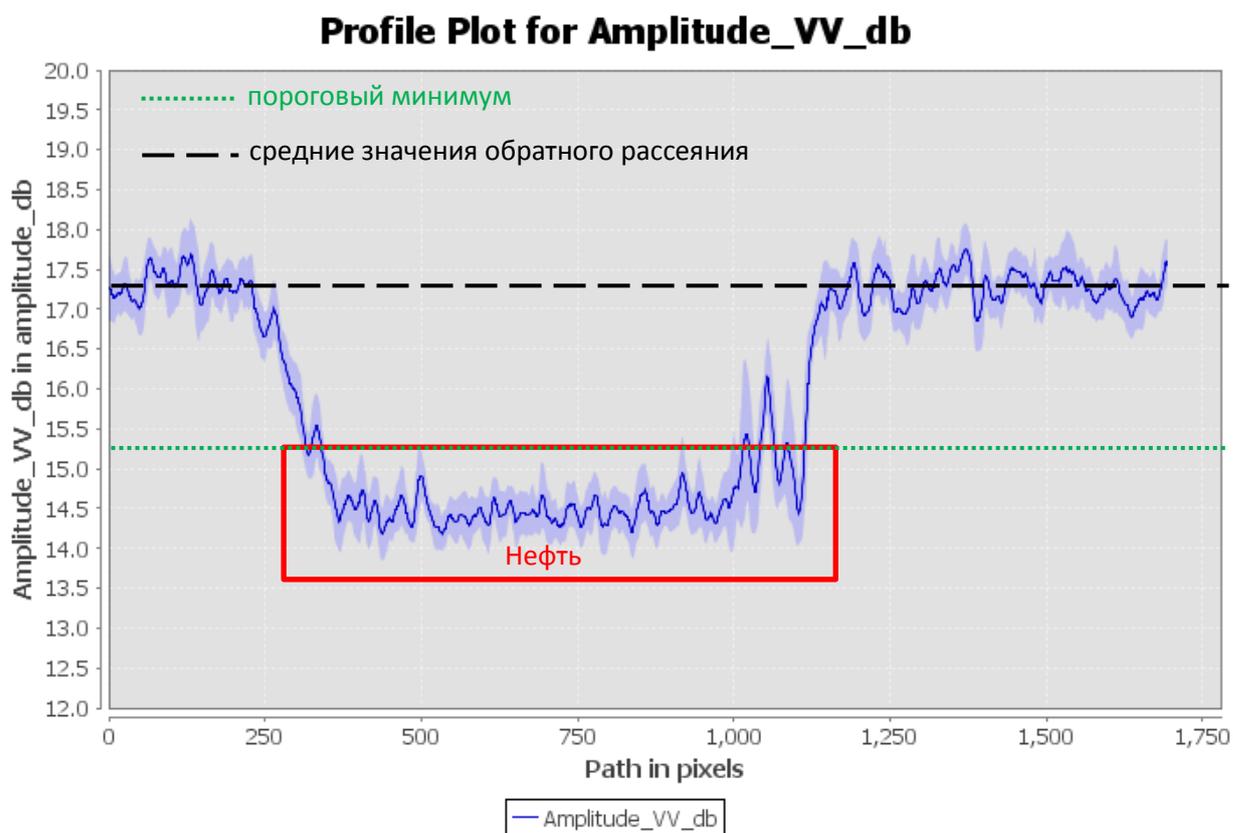


График 11. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 31.10.2020

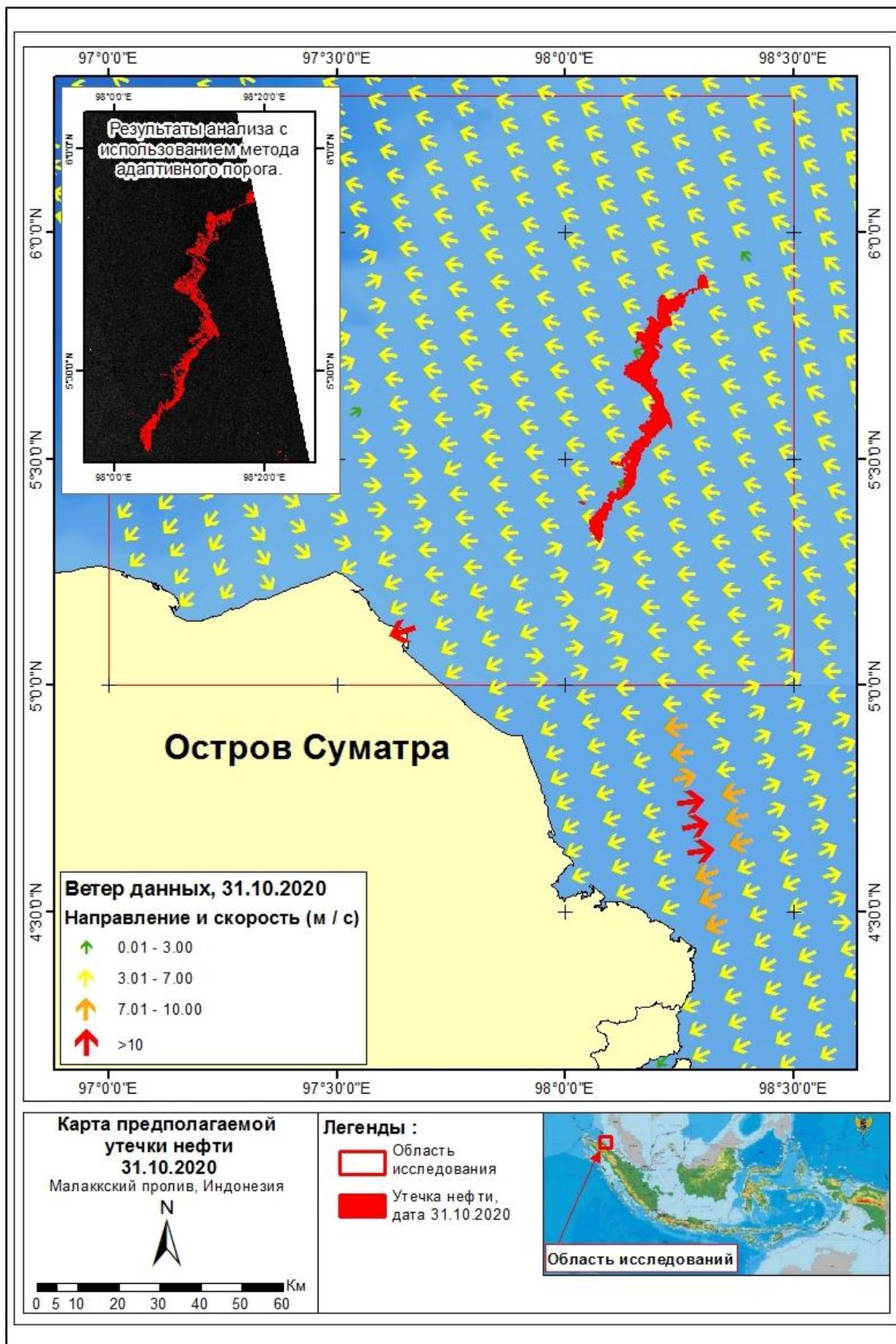


Рис. 23. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 31.10.2020 г

м) Данные от 12.11.2020 г.

На рис. 24 показано изображение, полученное 12 ноября 2020 года. Скорость ветра в момент обнаружения составляла около 0,3 - 10,8 м/с, и дул он преимущественно с юго-востока на Северо-запад. Однако вдоль берегов острова Суматра несколько направлений ветра дуют с юго-запада (побережье) на северо-восток (Малаккский пролив). В это время в районе исследований преобладает требуемая скорость ветра (3 - 7 м / с), на это указывает доминирование желтых стрелок символов направления в районе исследований. Точки с низкими и сильными скоростями ветра ничтожны, потому что они не покрывают большой и очень маленькой площади. Общее обратное рассеяние на изображении умеренное. Обнаружение разливов нефти с помощью адаптивного порогового метода (вверху слева на рис. 24) обеспечивает очень хорошее покрытие объекта в это время, и нет никакого сходства, которое должно быть дополнительно проанализировано. Результат обнаружения с помощью адаптивного порогового метода также показывает линейную геометрическую форму и искривлен в некоторых частях из-за влияния направления ветра в этом районе объема просачивания нефти на поверхность. Из рис. 24 видно, что в районе с рекомендуемой скоростью ветра (от 3 до 7 м/с) имеется линейная геометрия протяженностью 37,17 км к северо - западу от района исследований. Общая площадь этой геометрии составляет 46,33 км².

Данные гистограммы от 12.11.2020 г. показывают, что величина обратного рассеяния морской поверхности колеблется в пределах 18,3 - 19,4 дБ, а среднее значение обратного рассеяния морской поверхности составляет 18,7 дБ. Таким образом, значение обратного рассеяния ниже 16,7 дБ интерпретируется как просачивание нефти, появившееся в районе исследований в эту дату.

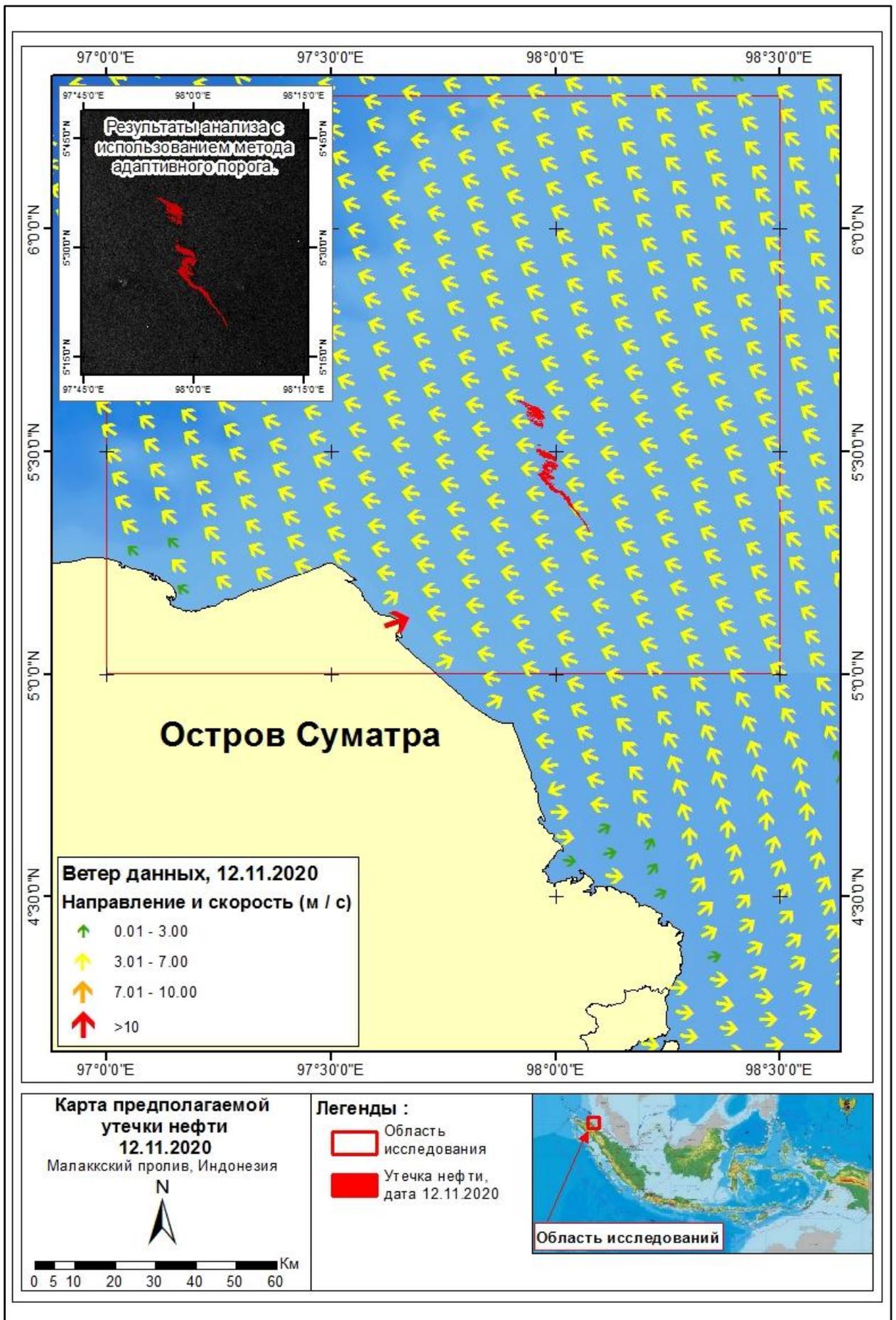


Рис. 24. Карта соотношения просачивания нефти с данными ветра на 12.11.2020 г

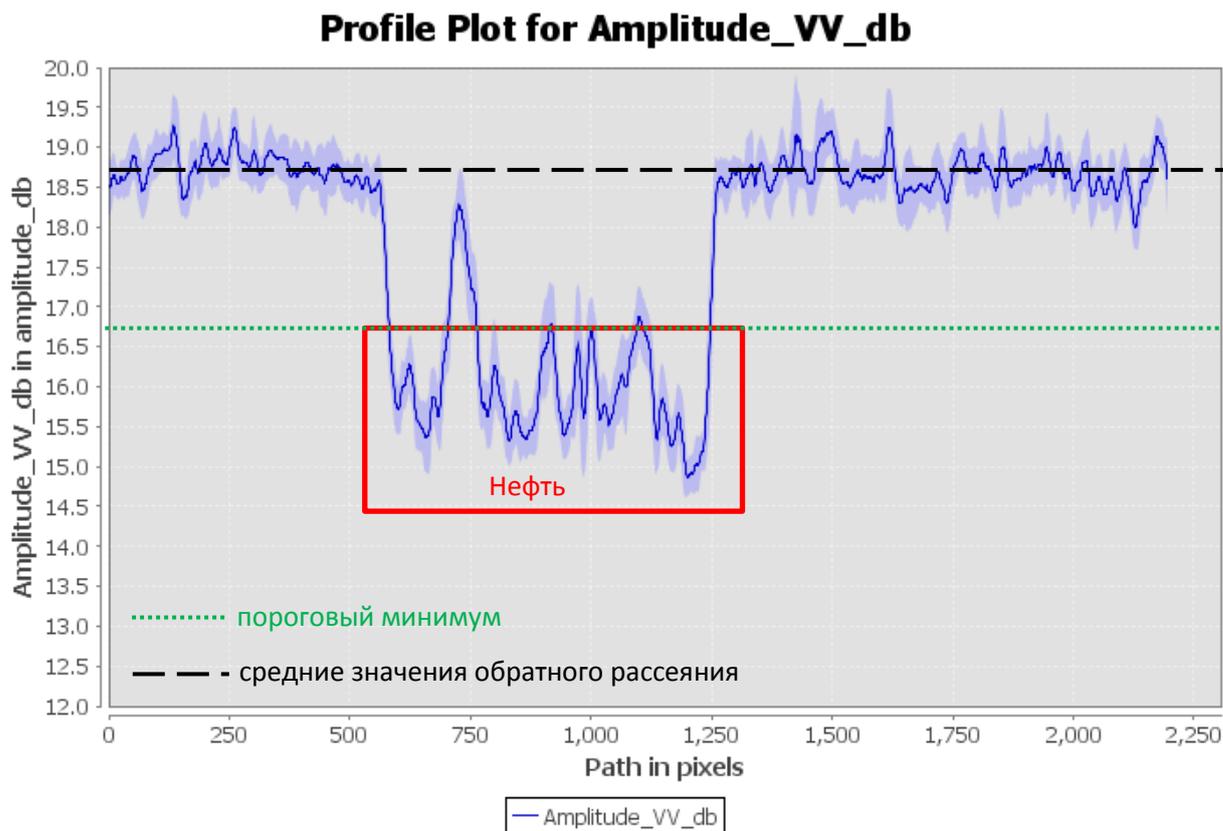


График 12. Гистограмма значения дБ для просачивания нефти, 12.11.2020

4. 2. Связь просачиваний нефти с морскими течениями

Данные океанического течения могут быть использованы для объяснения движения самого течения и его связи с нефтяными просачиваниями. Чтобы узнать связь между течениями и просачиваниями нефти, она проводилась по усредненным данным о направлении и скорости океанских течений в районе исследований на тот момент. Данные о направлении и скорости океанских течений были визуализированы и наложены на расчетные данные о разливах нефти, чтобы мы могли выяснить тенденцию в направлении движения нефти на тот момент. Некоторые из факторов, используемых для визуализации модели морских течений, - это волновые течения, приливные течения и океанские циркуляционные течения.

а) Данные от 28.05.2020 г.

Данные течений от 28 мая 2020 года показывают, что течение движется с юго-востока и северо-запада, а затем движется на север и северо-восток. Эти течения, вероятно, вызваны общим течением Малаккского пролива и течениями из Индийского океана, входящими с севера (Keller and Richards, 1967; Sangkoyo and Purwanta 2011). Скорость течений в районе исследований колеблется от 0-0,9 м/с. На рис. 25 показано, что

этот поток играет определенную роль в движении нефти в то время. На это указывает длина нефтяного слоя, который стремится быть в соответствии с океанскими течениями.

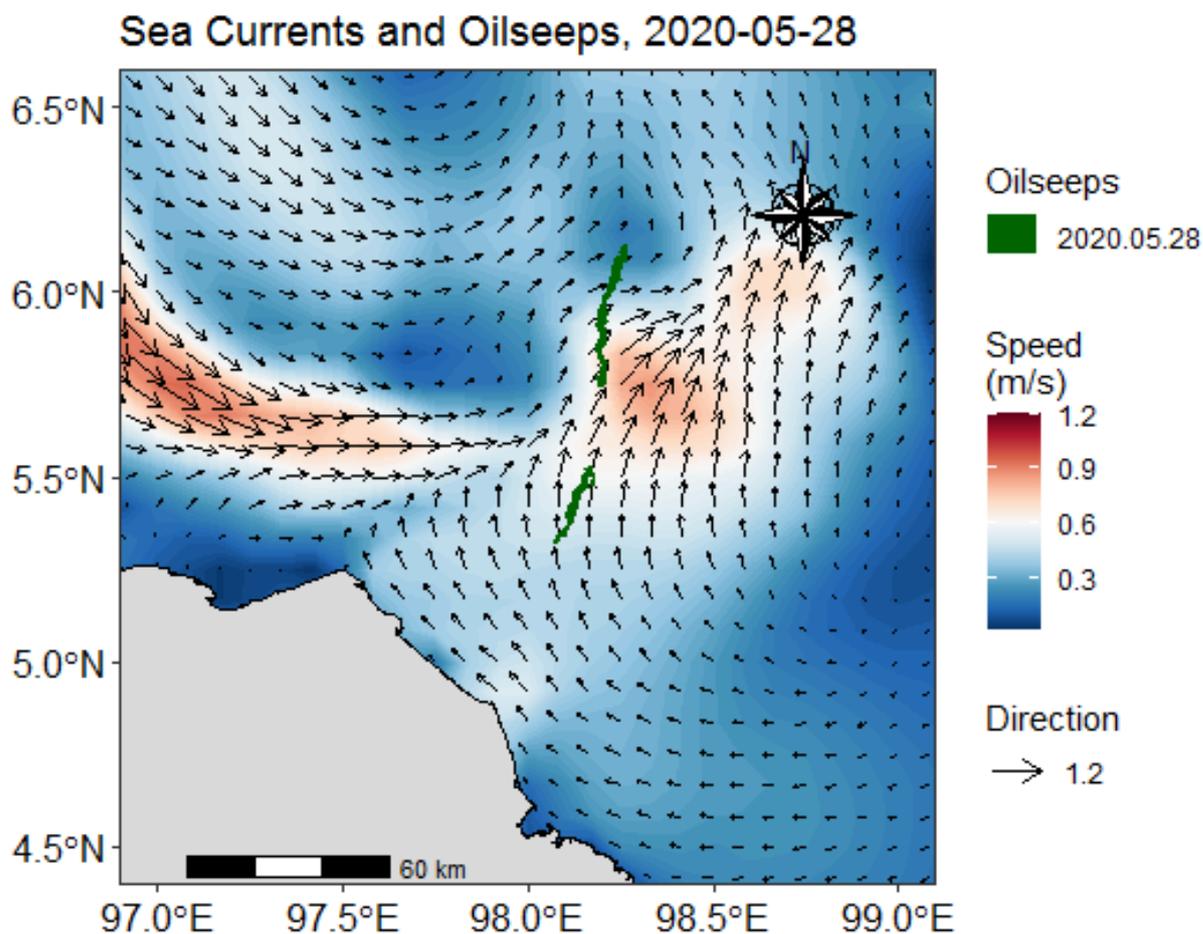


Рисунок 25. Океанские течения и просачивание нефти 28.05.2020

б) Данные от 21.06.2020 г.

Данные течений за 21 июня 2020 года (рис. 26) показывают, что течение движется с юго - востока на северо-запад. Это течение характерно для общего направления течения Малаккского пролива. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0-0,75 м / с. В эту дату произошла ошибка в анализе просачивания нефти автоматическим методом, так что автор не мог с уверенностью определить связь между потоком и просачиванием нефти.

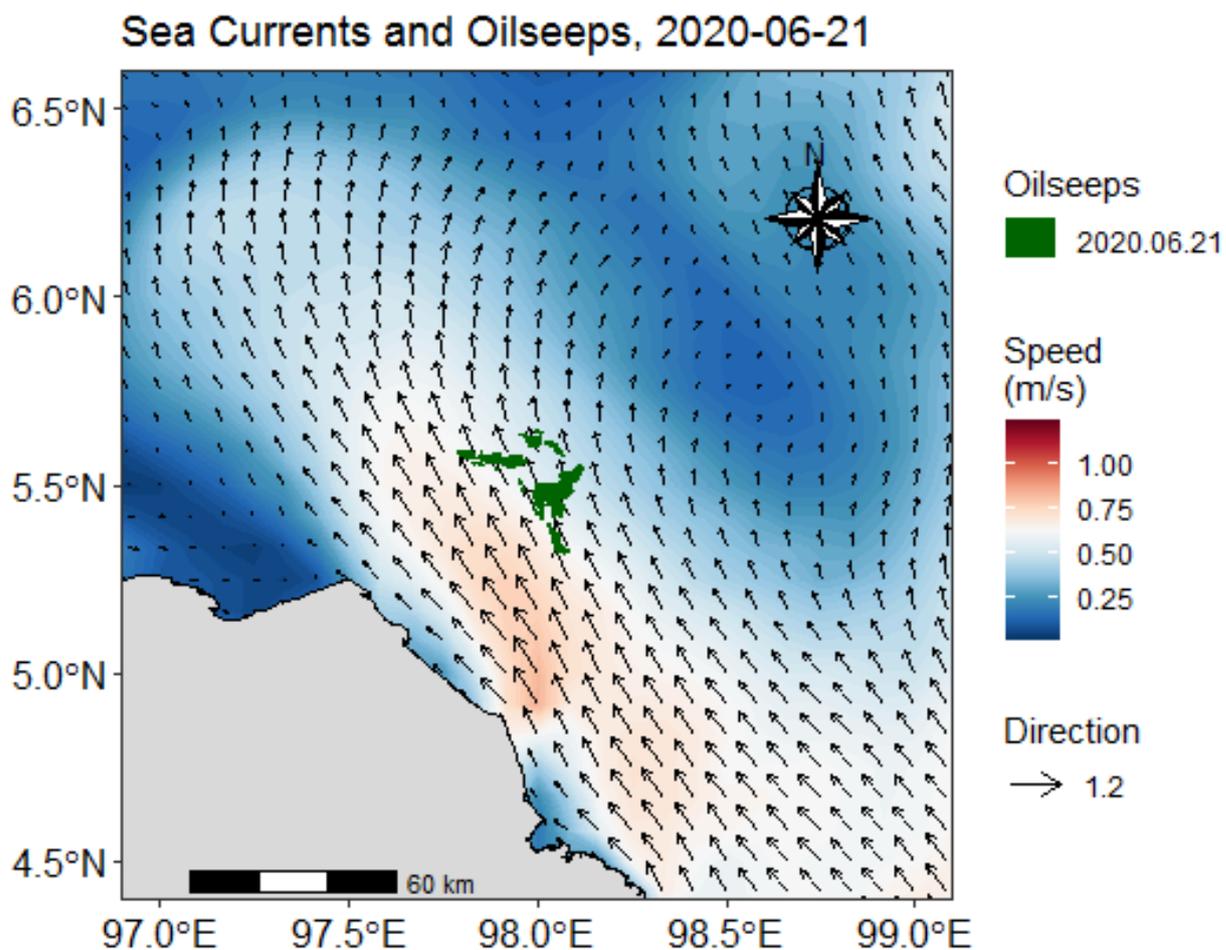


Рисунок 26. Океанские течения и просачивание нефти 21.06.2020

в) Данные от 03.07.2020 г.

Данные течений на 03 июля 2020 года (рис. 27) показывают, что течение преимущественно движется с юго-востока на северо-запад и север. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0-0,5 м / с, но в районе просачивания нефти течение имеет тенденцию быть более тихим. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию вести на юго-запад, а не в направлении течения. Это может быть связано с направлением и скоростью протекающего тока, которые отличаются от направления и скорости течения, когда впервые появились нефтяные просачивания. Однако в то же время, похоже, что эти течения толкают нефть на северо-запад.

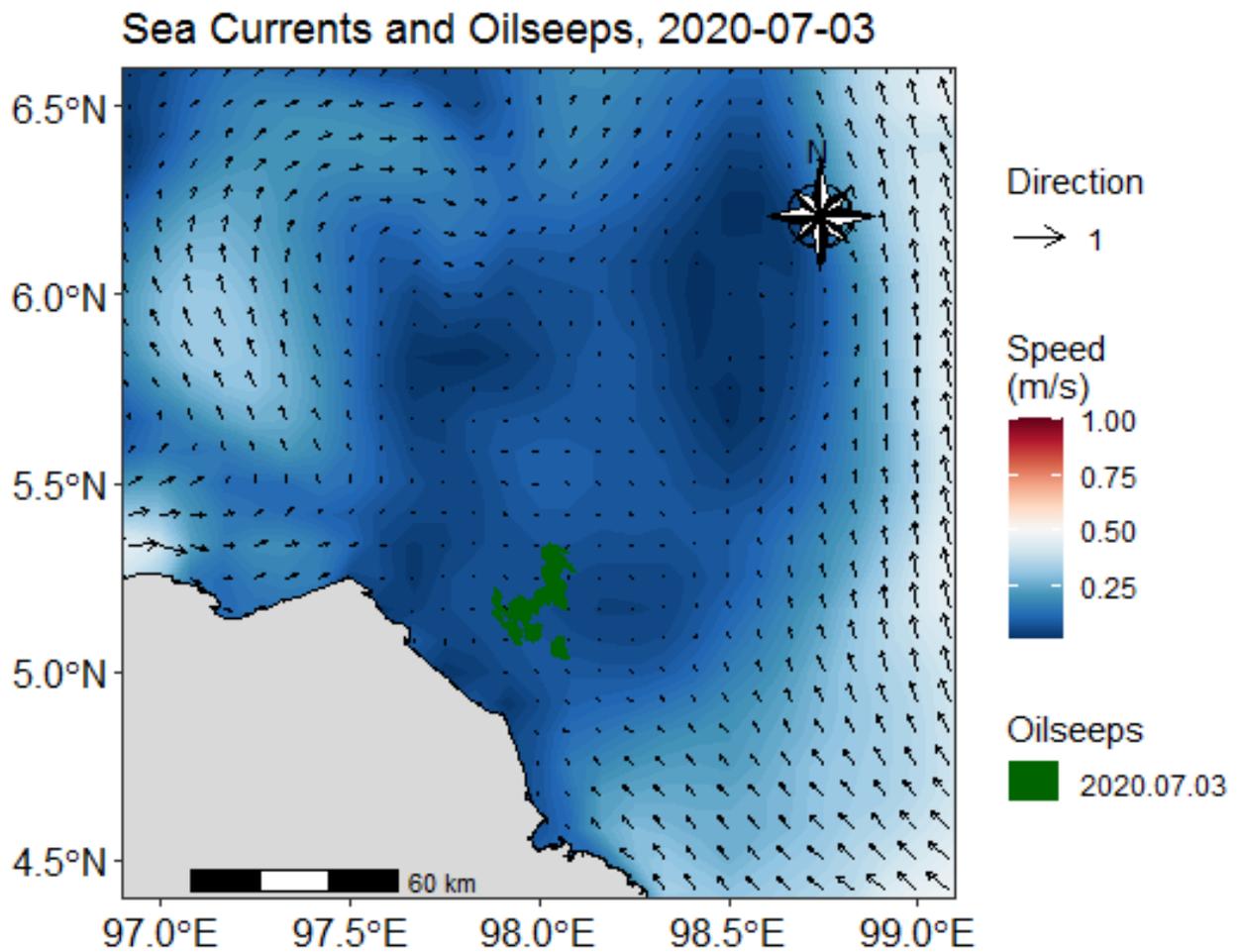


Рисунок 27. Океанские течения и просачивание нефти 03.07.2020

г) Данные от 15.07.2020 г.

Данные течений на 15 июля 2020 года (рис. 28) показывают, что направление течения преимущественно движется с юго-востока на северо-запад и север. Это направление течения характерно для общего направления течения в Малаккском проливе. Скорость течения в районе исследований колеблется в пределах 0-0,6 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию указывать на северо-запад и в направлении течения.

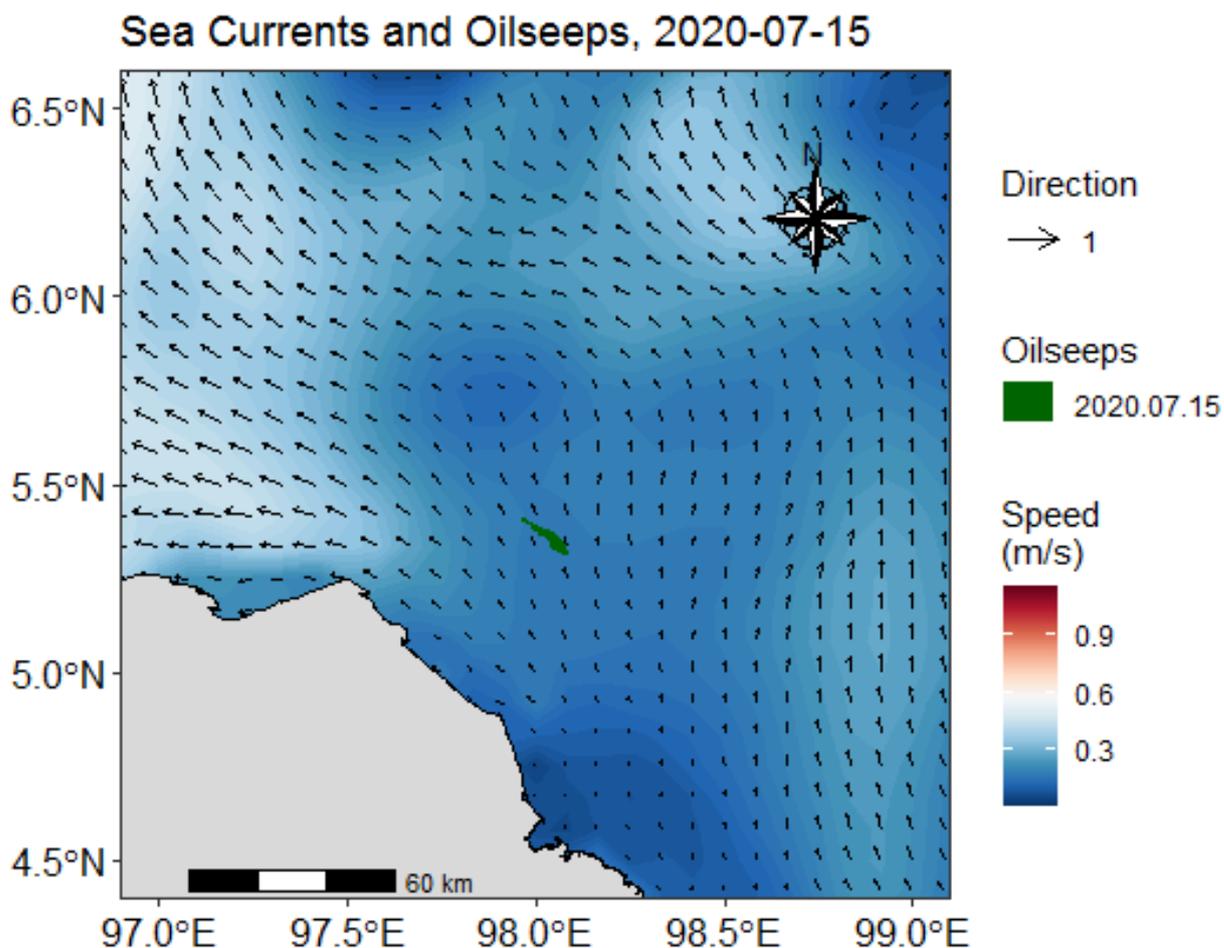


Рисунок 28. Океанские течения и просачивание нефти 15.07.2020

д) Данные от 08.08.2020 г.

Данные течений на 8 августа 2020 года (рис. 29) показывают, что течение преимущественно движется с юго-востока на северо-запад и запад вдоль побережья острова Суматра. Скорость течения в районе исследований колеблется в пределах 0-0,5 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию вести на юго-запад, а не в направлении течения. Это может быть связано с направлением и скоростью протекающего тока, которые отличаются от направления и скорости течения, когда впервые появилась утечка нефти. Однако это направление течения является направлением течения, которое влияет на геометрию просачивания нефти и поддерживается направлением ветра, который в то же время указывает на юго-восток.

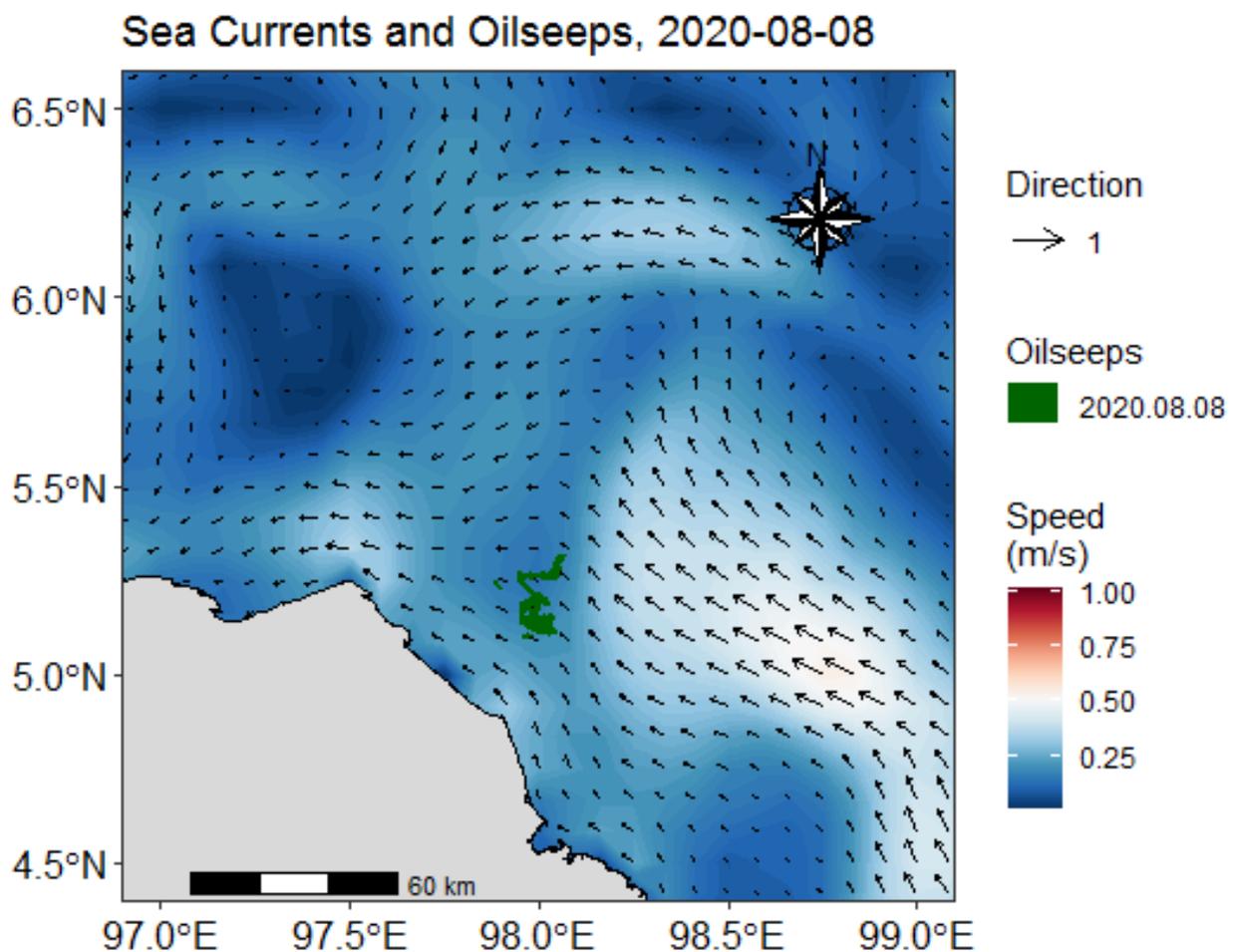


Рисунок 29. Океанские течения и просачивание нефти 08.08.2020

е) Данные от 20.08.2020 г.

Данные течений на 20 августа 2020 года (рис. 30) показывают, что течение преимущественно движется с юго-востока на запад и на север. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0 до 1 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию направляться с севера на юго-запад. Это может быть связано с направлением и скоростью протекающего тока, которые отличаются от направления и скорости течения, когда впервые появились нефтяные просачивания. Однако это направление течения является направлением течения, которое влияет на геометрическую форму просачивания нефти и поддерживается направлением ветра на северо-запад. Если направление течения не изменится, ожидается, что поток нефти будет вытеснен на северо-запад и вызовет дисперсию в нефтяном слое.

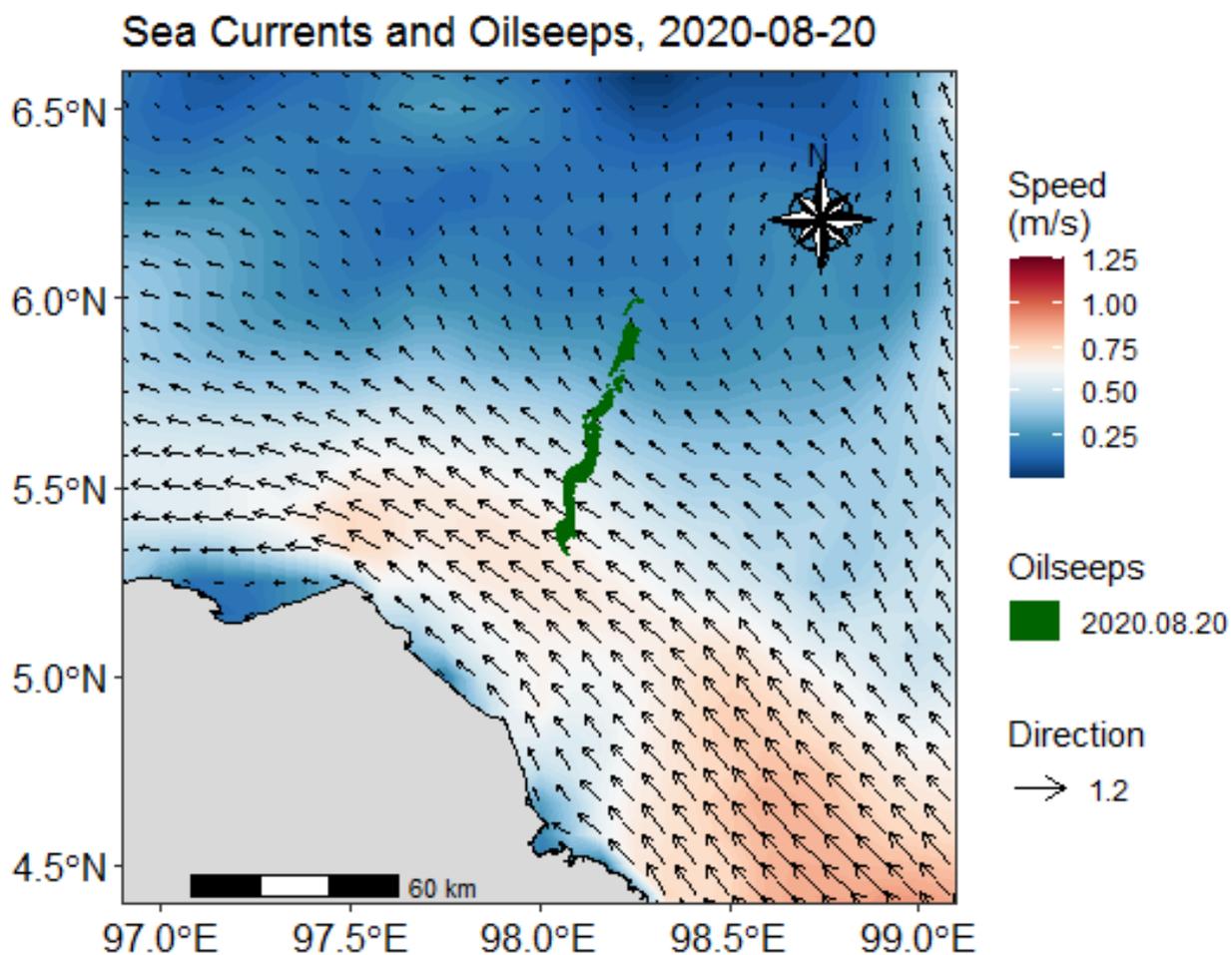


Рисунок 30. Океанские течения и просачивание нефти 20.08.2020

ж) Данные от 01.09.2020 г.

Данные течений на 01 сентября 2020 года (рис. 31) показывают, что течение движется с юго - востока на северо-запад. Это течение характерно для общего направления течения Малаккского пролива. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0-0,8 м / с. В эту дату произошла ошибка в анализе просачивания нефти автоматическим методом, так что автор не мог с уверенностью определить связь между потоком и просачиванием нефти.

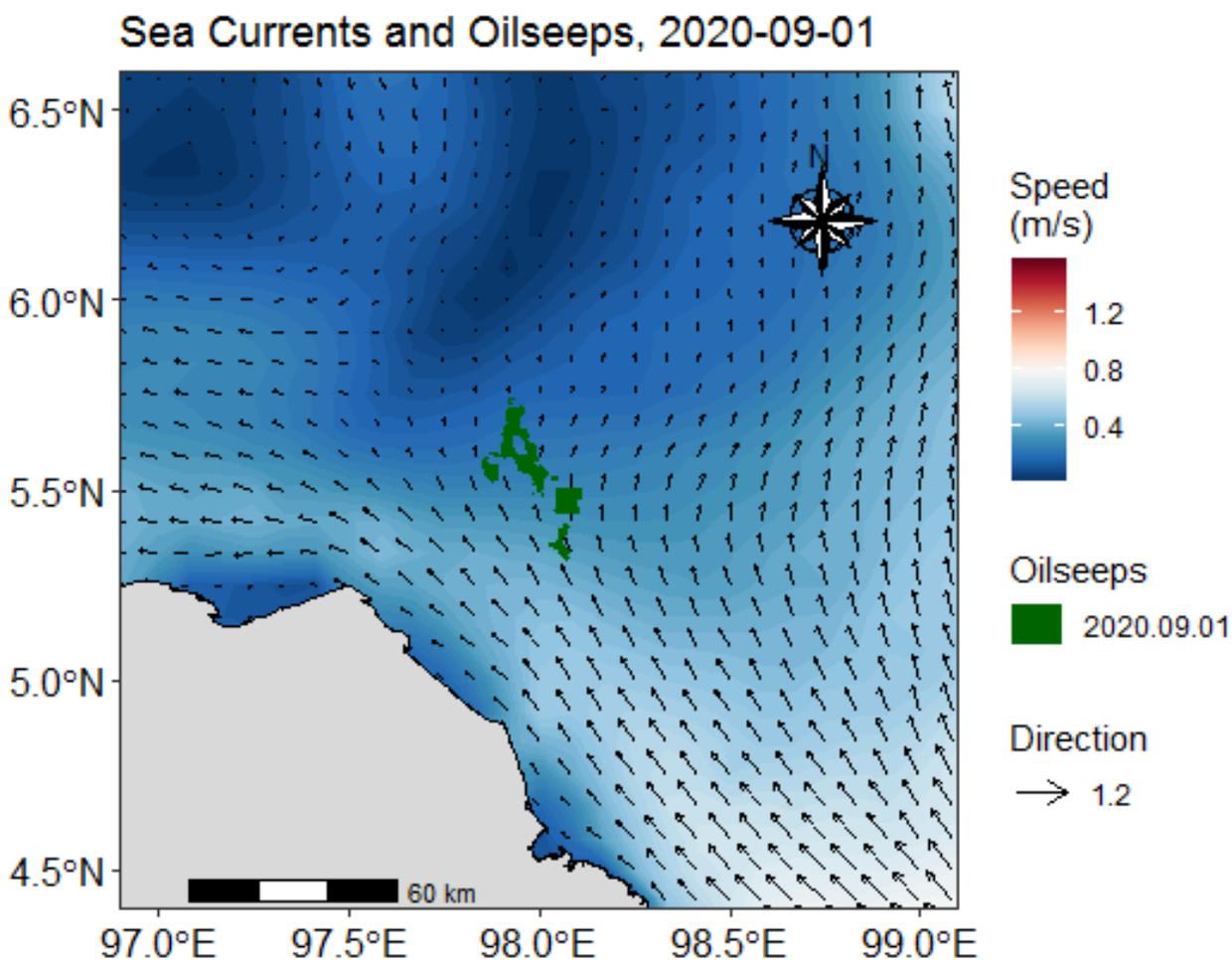


Рисунок 31. Океанские течения и просачивание нефти 01.09.2020

з) Данные от 13.09.2020 г.

Данные течений за 13 сентября 2020 года (рис. 32) показывают, что течения с севера и от побережья острова Суматра движутся на юго-восток и юг. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0 - 0,3 м/с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию к югу. Это направление тока является направлением тока, который влияет на геометрическую форму отклоненных нефтяных просачиваний. Кроме того, направление ветра также влияет на движение масла, что указывает на кривую форму.

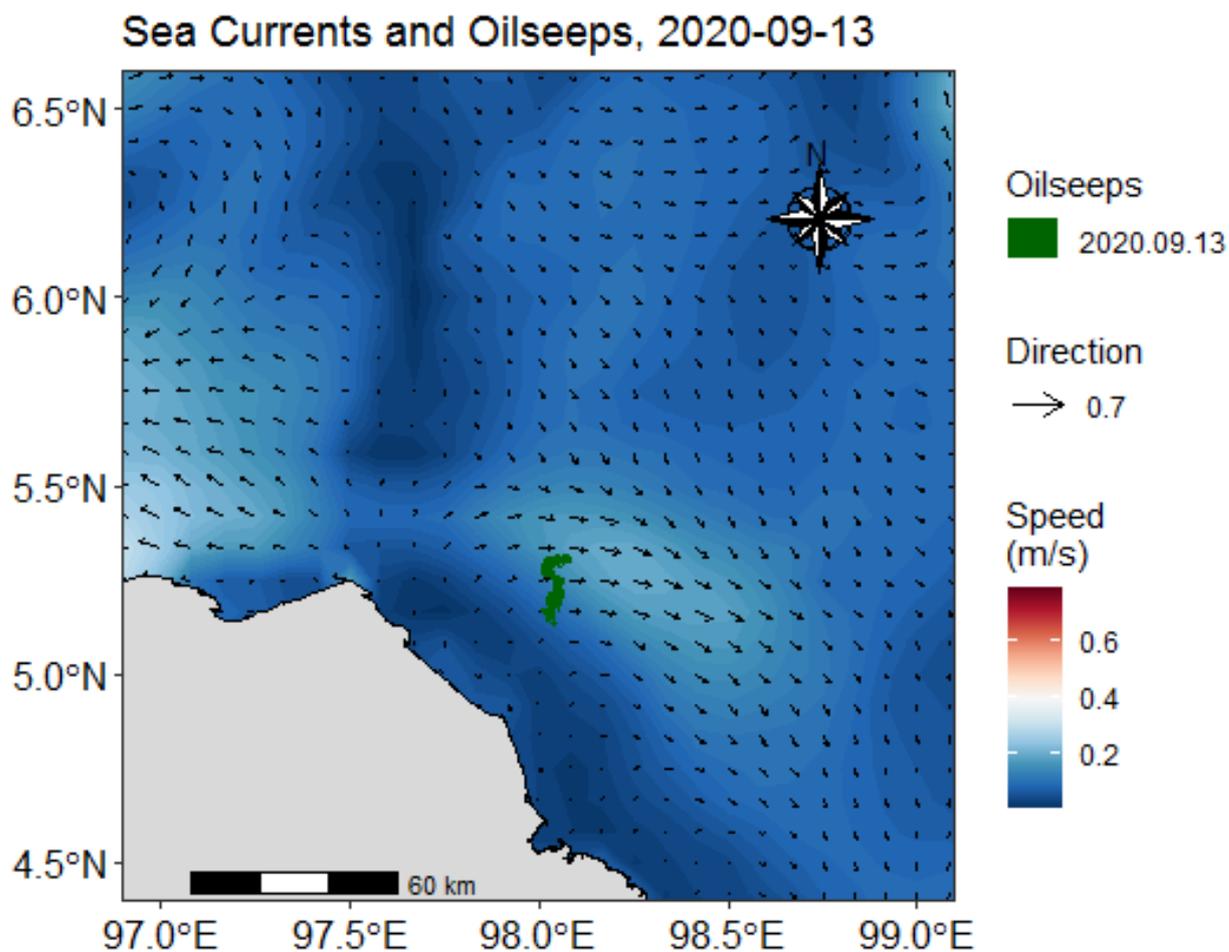


Рисунок 32. Океанские течения и просачивание нефти 13.09.2020

и) Данные от 25.09.2020 г.

Данные течений за 25 сентября 2020 года (рис. 33) показывают, что течение движется с северо-запада на юго-восток, но частично движется в сторону побережья острова Суматра. Скорость течения в районе исследований колеблется в пределах 0-0,6 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию вести на юго-запад, который является направлением к побережью острова Суматра и в направлении течения, происходящего в это время. Если рассматривать данные о ветре и течениях, ведущих к побережью острова Суматра, то этот нефтяной слой будет загрязнять прибрежную среду острова Суматра.

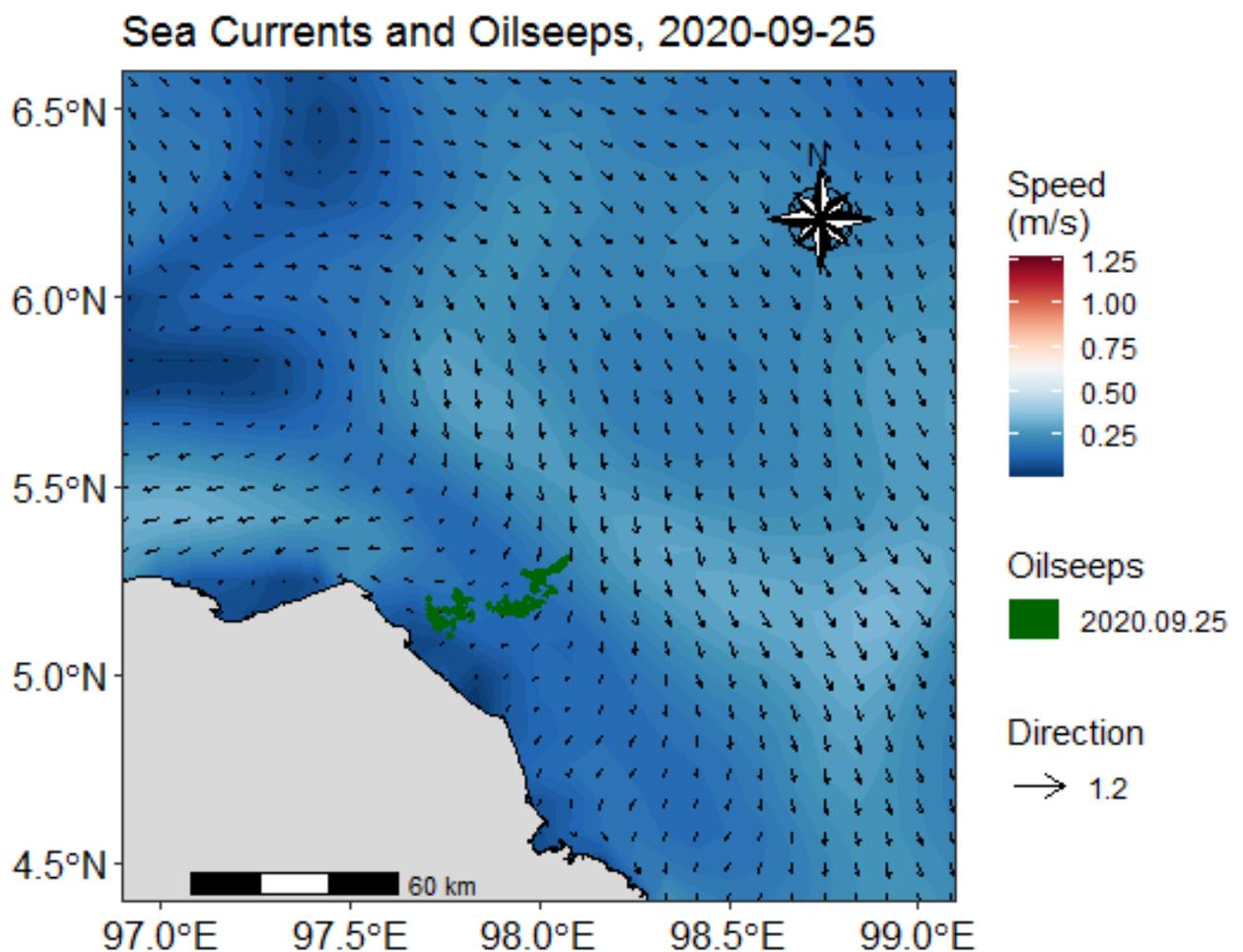


Рисунок 33. Океанские течения и просачивание нефти 25.09.2020

к) Данные от 19.10.2020 г.

Данные течений на 19 октября 2020 года (рис. 34) показывают, что направление течения преимущественно движется с юго-востока на северо-запад вдоль побережья острова Суматра. Это направление течения характерно для общего направления течения в Малаккском проливе. Скорость течения в районе исследований колеблется от 0 до 1 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию указывать на северо-запад и в направлении течения.

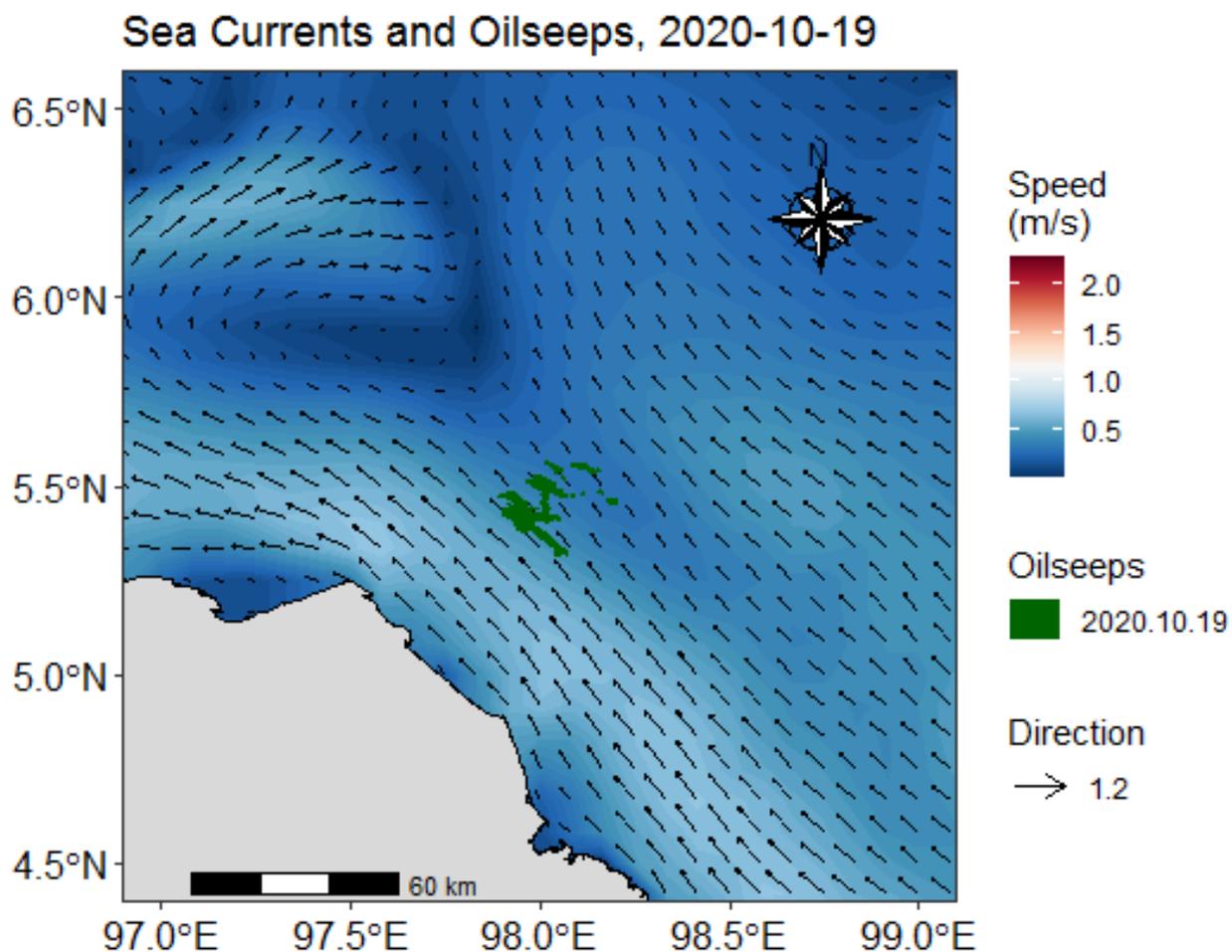


Рисунок 34. Океанские течения и просачивание нефти 19.10.2020

л) Данные от 31.10.2020 г.

Данные течений от 31 октября 2020 года (рис. 35) показывают, что течение движется с юго-востока и северо-запада, а затем движется на северо-восток. Эти течения, вероятно, вызваны общим течением Малаккского пролива и течениями из Индийского океана, входящими с севера (Keller and Richards, 1967; Sangkoyo and Purwanta 2011). Скорость течений в районе исследований колеблется от 0 до 1 м/с. На рис. 35 показано, что этот поток играет определенную роль в движении нефти в то время. На это указывает длина нефтяного слоя, который стремится быть в соответствии с океанскими течениями.

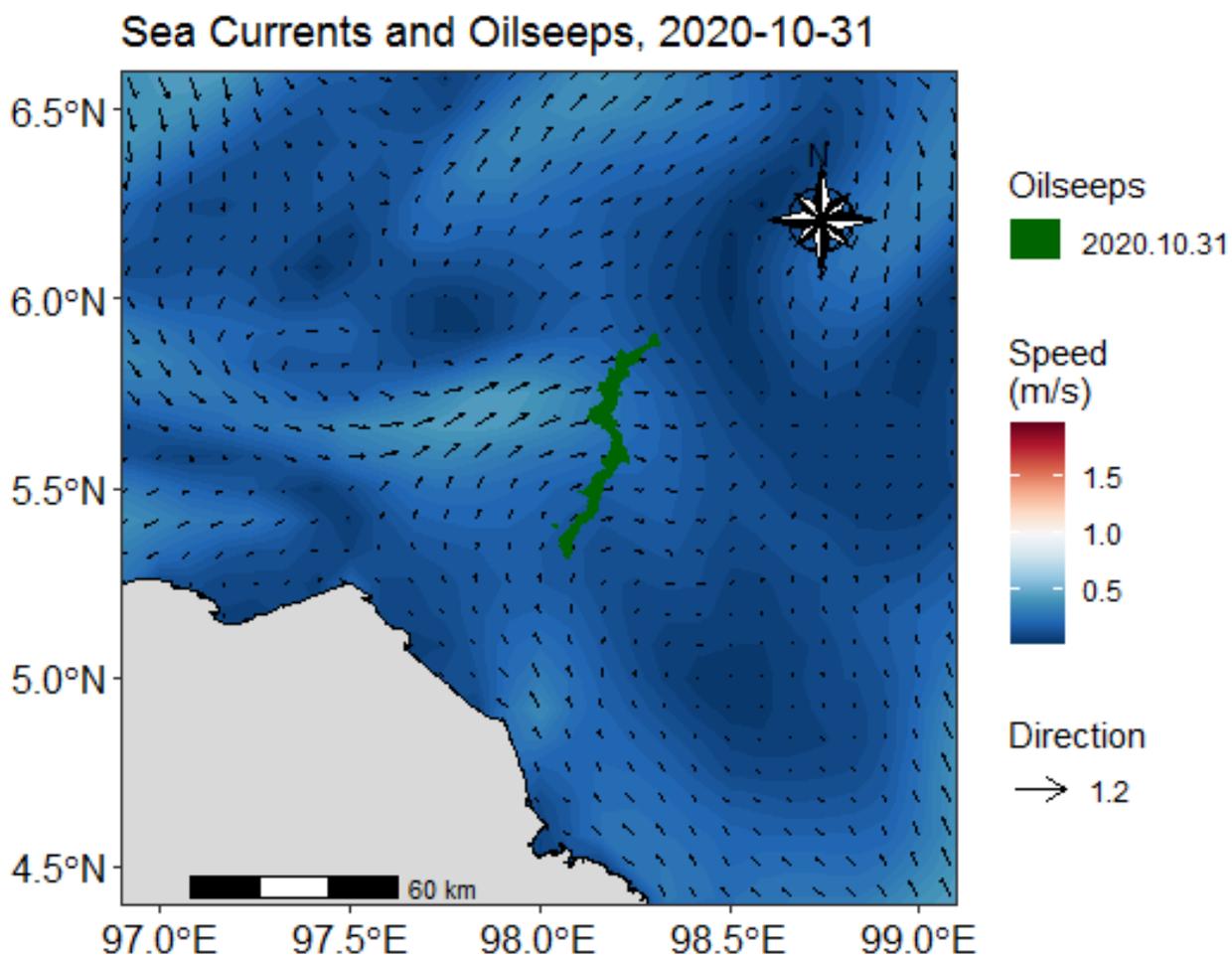


Рисунок 35. Океанские течения и просачивание нефти 31.10.2020

м) Данные от 12.11.2020 г.

Данные течений на 12 ноября 2020 года (рис. 36) показывают, что направление потока преимущественно движется с юго-востока на северо-запад, хотя просачивание нефти имеет тенденцию быть спокойным. В южной части района исследований также наблюдаются циклонические течения, но они не достигают зоны просачивания нефти. Это направление течения характерно для общего направления течения в Малаккском проливе. Скорость течения в районе исследований колеблется в пределах 0-0,6 м / с. Просачивание нефти в эту дату имеет тенденцию указывать на северо-запад и в направлении течения.

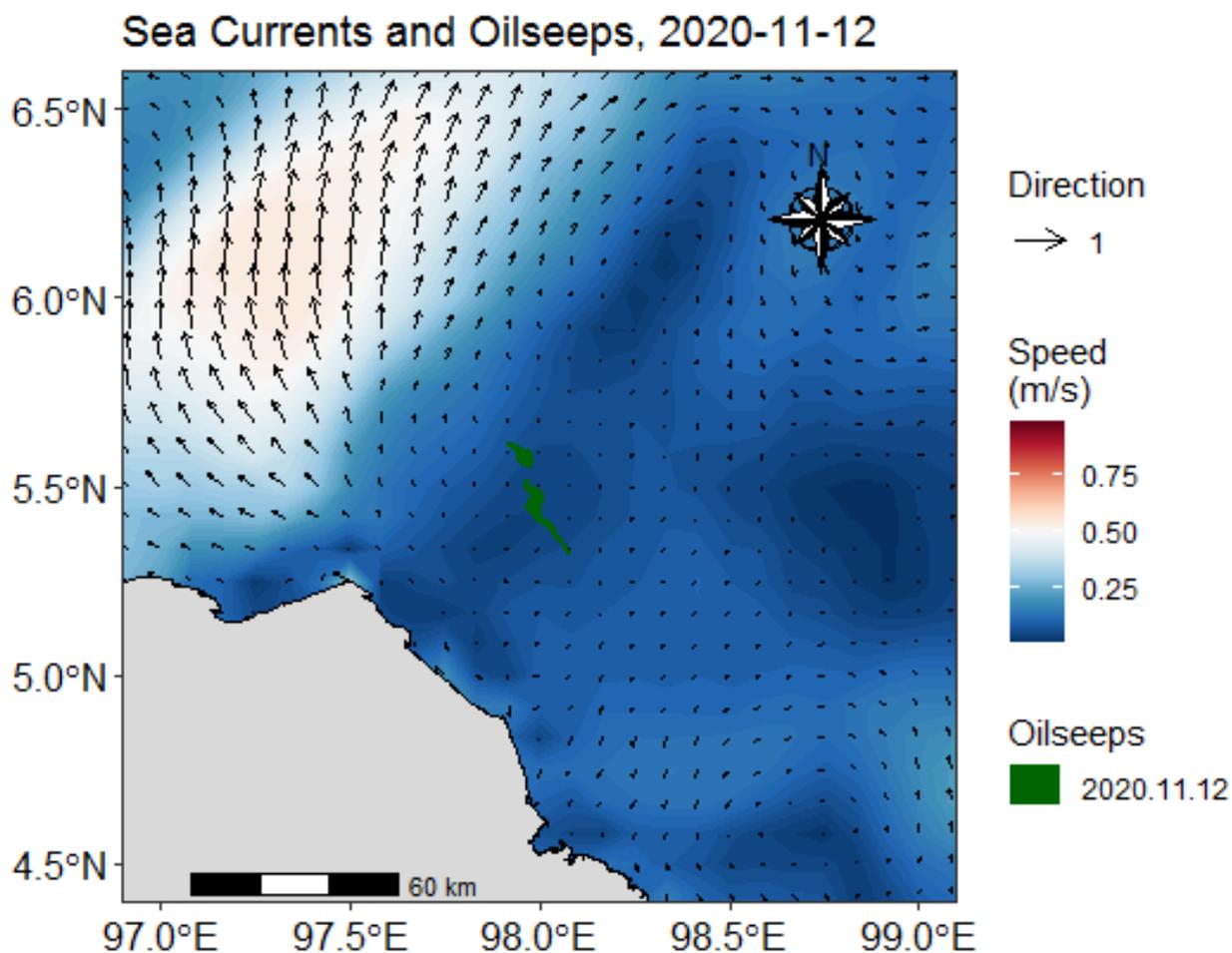


Рисунок 36. Океанские течения и просачивание нефти 12.11.2020

4. 3. Связь просачивания нефти с перспективным углеводородным районом

Помимо того, что просачивание нефти имеет линейную и криволинейную форму, оно также имеет свойство повторяться, что происходит в одном и том же месте в разное время (Ivanov et al., 2020, 2020; Williams and Lawrence, 2002). В месте исследования ясно, что просачивание нефти происходит в одной и той же точке. Эта точка, по оценкам, является местом расположения источников утечки нефти, расположенных на отметках 5.316764 N и 98.074691 E (рис. 37). Однако точное местоположение под поверхностью должно быть проанализировано дополнительно.

Просачивание углеводородов происходит там, где углеводороды выходят из пласта-коллектора, который закрыт относительно непроницаемым слоем горных пород, что позволяет накапливать углеводороды по путям миграции на поверхность через покрывающий слой и вышележащие отложения. Таким образом, просачивание на морское дно свидетельствует как о лежащем под ним резервуаре, так и о путях миграции. Накопление углеводородов часто происходит в антиклиналях и других ловушках и отражает восходящую миграцию через пластовую формацию (Ross, 1988). В этих

геологических условиях стратиграфо-структурные структуры играют важную роль в ловушке и миграции углеводородов (Meckel, 2012).

Согласно геологическим исследованиям (Pulunggono, 1992; Davies, 1984; Andersson, 1993), предполагается, что бассейн Северной Суматры-это бассейн, образовавшийся в раннем третичном периоде (около эоцена-олигоцена) в результате наклонного процесса субдукции между Индо-Австралийской плитой и Евразийской плитой, которая позже сформирует бассейн задней дуги. Серии Хорста и грабена, сформированные в районе исследований, становятся ловушками и путями миграции углеводородов. Это утверждение также подтверждается Meckel (2012) о том, что на Малаккском шельфе ловушки контролируются структурой и стратиграфией, а также карбонатная игра проявляется в шельфовой зоне. В районе исследований (Малаккский шельф) тюленем являются нижние Баонгские сланцы и верхние Тампурские сланцы. Баонгская формация как с преобладанием серого глинистого камня с тонким слоем известняка, так и с песчаниковыми вставками. с возрастным диапазоном от Среднего миоцена до позднего миоцена (Caughey and Wahyudi, 1993). Meckel (2012) также утверждает, что карбонаты в формации Пеуту являются наиболее плодородными резервуарами в бассейне Северной Суматры. Исходя из палеонтологических наблюдений, возраст карбоната в формации Пеуту-нижний миоцен. Между тем миграционный путь в районе исследований возможен по разломам, спускающимся из системы хорст-грабен в зону бассейна. Таким образом, совпадение нефтяных пятен, обнаруженных SAR, с углеводородными геологическими структурами, очерченными полуавтоматическими методами, может быть дополнительным свидетельством начальной разведки нефти и газа (рис. 37).

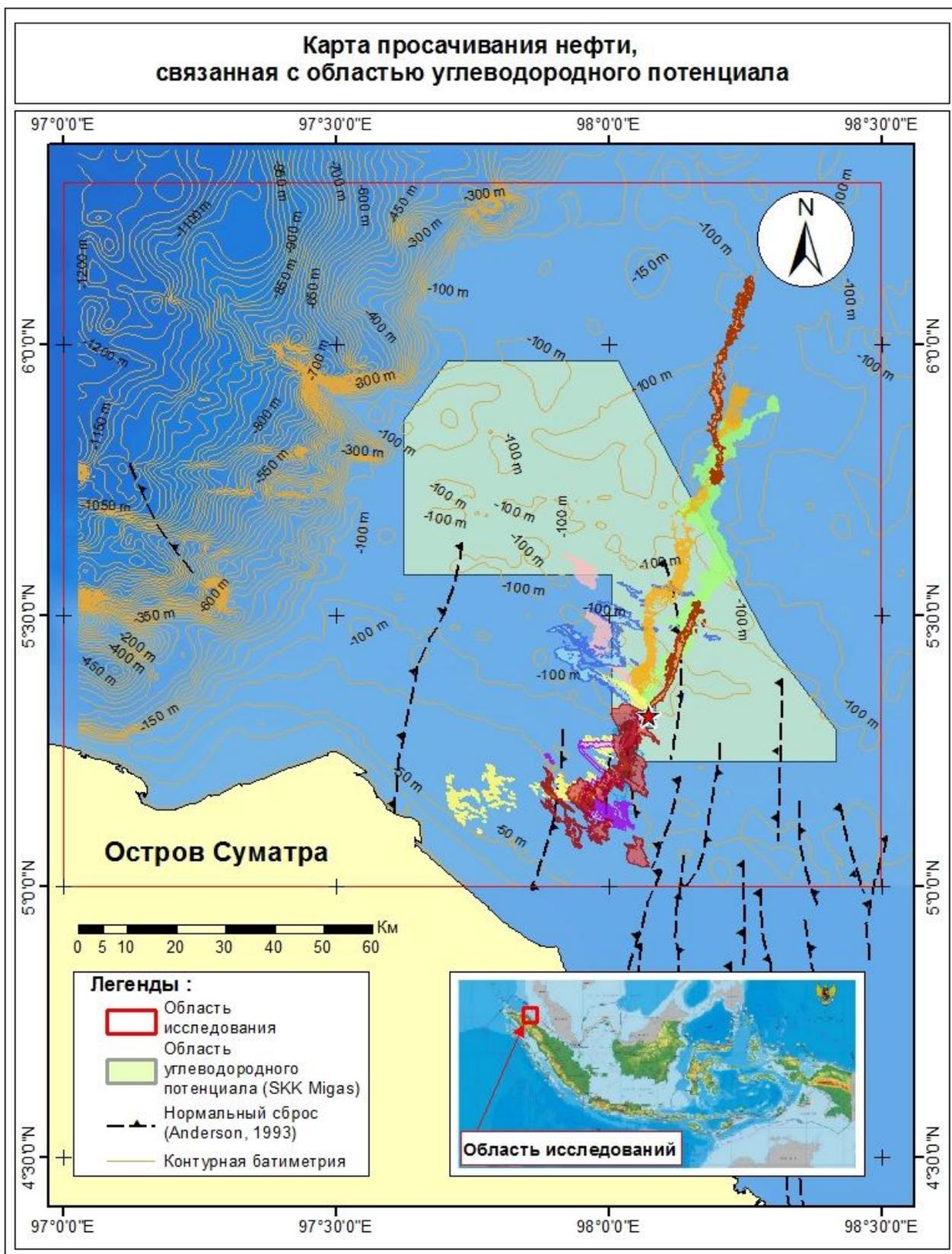


Рисунок 37. Карта просачиваний нефти, связанных с потенциальной углеводородной областью

Оценка :

★	Расположение источника утечки нефти
	Утечки нефти_2020.05.28
	Утечки нефти_2020.07.03
	Утечки нефти_2020.07.15
	Утечки нефти_2020.08.08
	Утечки нефти_2020.08.20
	Утечки нефти_2020.09.13
	Утечки нефти_2020.09.25
	Утечки нефти_2020.10.19
	Утечки нефти_2020.10.31
	Утечки нефти_2020.11.12

Рис. 38. Условные знаки к карте на рисунке 37

Заключение

Все задачи, поставленные в этом исследовании, были выполнены. Проведён аналитический обзор литературы по обнаружению нефтяных пятен на поверхности моря с помощью автоматических и полуавтоматических методов – всего рассмотрено более 70 англоязычных источников. Проанализированы характеристики нефтепроявлений. Найдена взаимосвязь между нефтяной плёнкой на поверхности моря и геологическими условиями в районе исследований. Определена потенциальная площадь залегания углеводородов в районе исследований.

В данном исследовании валидация обнаружения просачивания нефти осуществлялась путем отображения гистограмм по каждому используемому SAR-данным. Заданное пороговое значение составило 2 дБ. Разлив нефти или просачивание нефти оценивается на основе разницы среднего значения обратного рассеяния от размера фонового окна, используемого с этим порогом. Среднее значение обратного рассеяния колеблется по каждому SAR-данным от 17,5 дБ до 19 дБ, это значение принимается за морскую поверхность. Хотя величина обратного рассеяния на уровне моря варьируется, результаты обнаружения показывают удовлетворительные результаты при использовании порогового значения в 2 дБ. Любое нефтяное пятно, которое считается утечкой нефти, хорошо обнаруживается. 19 октября 2020 года значение пикселя значительно подскочило, и считается, что это корабль, плывущий в районе исследований. Корабли могут вмешиваться в результаты анализа с помощью этого метода, потому что существует внезапная разница в значении пикселя и превышает пороговое значение. Однако это можно определить по квадратной маскировке (Gancheva and Peneva, 2019), поэтому ее можно игнорировать.

Рекомендуемая скорость ветра для идентификации в этом районе колеблется от 3 до 5 м/с. Это наблюдаемое обнаружение соответствует нижним и верхним значениям, описанным в литературе (Ivanov et al., 2020; Singha et al., 2012). Направление тренда нефтяных пятен - на северо-восток и юго-запад. Нефтяные пятна 28-05-2020 (25,27 км и 42,53 км), 20-08-2020 (81,40 км) и 31-10-2020 (77,11 км) соответствуют направлению юго-западного муссона, дующего с юго-запада на северо-восток. Это также указывает на то, что эти нефтяные пятна почти не подвержены влиянию местных ветров и уже давно плавают на поверхности моря. В то время как направление тренда нефтяного пятна на 03-07-2020 (31,06 км), 08-08-2020 (43,44 км), 13-09-2020 (24,9 км) и 25-09-2020 (58,21 км) на юго-запад - это направление сухопутного ветра, который дует на закате и ночью. Это может произойти потому, что ветры в Малаккском проливе имеют тенденцию быть спокойными (Findlay, 1878), так что влияние местных ветров, таких как морские бризы и

сухопутные ветры, может быть доминирующим. Это время можно оценить по записи данных SAR в 11.43 UTC (в Индонезии ночь). Данные по 15-07-2020 (21,16 км), 19-10-2020 (44,62 км) и 12-11-2020 (27,17 км и 9,5 км) показывают относительно однородные направления с данными о направлении ветра на запад-северо-запад и северо-запад. Направление ветра на рис. 8 может объяснить влияние направления ветра на геометрическую форму нефтяных пятен за короткий промежуток времени, где одной из характеристик просачивания нефти является то, что она имеет линейную или криволинейную форму (Ivanov et al., 2020, 2020). Помимо влияния на геометрию, ветер также влияет на разделение между легкими и тяжелыми компонентами в нефтяных пятнах и распространяет нефть по поверхности моря (Alpers and Espedal, 2004) от Sentinel-1 Level 2 OCN Ocean Wind Field (OWI). Компонентные продукты могут быть использованы для оценки скорости ветра в момент записи тех же данных, а также могут быть использованы для описания влияния ветра на геометрию одновременно и в течение короткого промежутка времени.

Помимо фактора ветра необходимо учитывать фактор морских течений (MacDonald et al., 2002). На рис. 9 показано, что в районе исследований преобладают течения с северо-западным направлением, которое является направлением течений, доминирующих в Малаккском проливе в течение всего года (Keller and Richards, 1967). Существуют также разрывные токи, которые представляют собой слияние двух токов в разных направлениях. Это связано с тем, что с севера острова Суматра находится течение, которое входит на юг и следует за топографическим образованием острова Суматра. Как и ветер, течения, возникающие в районе исследования, могут влиять на геометрию / морфологию нефтяных пятен. Исследователи пришли к выводу, что влияние ветра является более доминирующим для объяснения движения нефтяных просачиваний в течение указанного времени. Для детального определения влияния ветра и течений необходимы данные о ветре и временном течении.

Согласно геологическим исследованиям (Pulunggono, 1992; Davies, 1984; Andersson, 1993), предполагается, что бассейн Северной Суматры - это бассейн, образовавшийся в раннем третичном периоде (около эоцена-олигоцена) в результате наклонного процесса субдукции между Индо-Австралийской плитой и Евразийской плитой, которая позже сформирует бассейн задней дуги. Серии Хорста и грабена, сформированные в районе исследований, становятся ловушками и путями миграции углеводородов. Это утверждение также подтверждается Meckel (2012) о том, что на Малаккском шельфе ловушки контролируются структурой и стратиграфией, а также карбонатная игра проявляется в шельфовой зоне. В районе исследований (Малаккский

шельф) такими являются нижние Баонгские сланцы и верхние Тампурские сланцы. Баонская формация как с преобладанием серого глинистого камня с тонким слоем известняка, так и с песчаниковыми вставками. с возрастным диапазоном от Среднего миоцена до позднего миоцена (Caughey and Wahyudi, 1993). Meckel (2012) также утверждает, что карбонаты в формации Пеуту являются наиболее плодородными резервуарами в бассейне Северной Суматры. Исходя из палеонтологических наблюдений, возраст карбоната в формации Пеуту - нижний миоцен. Между тем миграционный путь в районе исследований возможен по разломам, спускающимся из системы хорст-грабен в зону бассейна. Таким образом, совпадение нефтяных пятен, обнаруженных с помощью нашего метода, с углеводородными геологическими структурами, очерченными полуавтоматическими методами, может быть дополнительным свидетельством в пользу начала разведки нефти и газа в этом районе.

Список литературы

1. Alpers, W., and Ch. Melsheimer: Rainfall, In "Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual, National Oceanic and Atmospheric Administration, Center for Satellite Application and Research, NOAA/NESDIS, Washington, D.C., USA, ISBN 0-16-073214-X, 2004b, pp. 355-371.
2. Alpers W. and H. Espedal. Oils and surfactants. In "Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual", US Department of Commerce: Washington, DC, 2004a, pp. 263-275.
3. Alpers, W., and W. Huang. On the discrimination of radar signatures of atmospheric gravity waves and oceanic internal waves on synthetic aperture radar images of the sea surface, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, vol. 49, no. 3, 2011, pp. 1114-1126.
4. Al-Rabeh, A. H., H. M. Cekirge, and N. Gunay. "A stochastic simulation model of oil spill fate and transport." *Applied Mathematical Modelling* 13, no. 6, 1989, pp. 322-329.
5. Anderson, B.L., J. Bon, and H.E. Wahono, Reassessment of the Miocene Stratigraphy, Paleogeography and Petroleum Geochemistry of the Langsa Block in the Offshore North Sumatra Basin: *Proc. Indonesia Petroleum Association, 22nd Ann. Conv.*, vol.1, 1993, pp. 169-190.
6. Attema, E. Mission Requirements Document for the European Radar Observatory Sentinel-1: ES-RS-ESA-SY-0007, 2005, 31 p.
7. Attema, Evert PW. "The active microwave instrument on-board the ERS-1 satellite." *Proceedings of the IEEE* 79, no. 6, 1991, pp. 791-799.
8. A. S. Solberg, C. Brekke, and R. Solberg. Algorithms for oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images. *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Anchorage*, vol.7, 2004 pp. 4909-4912.
9. Barber, Andrew J., Michael J. Crow, and John Milsom, eds. "Sumatra: Geology, resources and tectonic evolution." *Geological Society of London*, 2005, 290 p.
10. Barrick, D. E., & Peake, W. H. A Review of Scattering from Surfaces with Different Roughness Scales. *Radio Sci.*, 3, 1968, pp. 865-868.
11. Beckmann, P., & Spizzichino, A. *The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces*. New York, N.Y., 503: Macmillan Co., 1963, 503 p.
12. Campbell, J. B. and Wynne, R. H. *Introduction to Remote Sensing*. Guilford, New York and London, 5th ed. Edition, 2011, 717 p.
13. Carrara, W., Goodman, R., & Majewski, R. *Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms*. Boston, MA: Artech House, 1995, 554 p.

14. Caughey, Charles A., dan Wahyudi, Turcahyo, "Gas Reservoirs in the Lower Miocene Peutu Formation, Aceh Timur, Sumatra", 22th Annual Convention Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Vol.1, 1993, pp. 191-218.
15. Chuan, Goh Kim, and Mark Cleary. Environment and Development in the Straits of Malacca. Vol. 10. Routledge, 2005, 224 p.
16. Daly, M.C., Hooper, B.G.D and Smith, D.G., Tertiary Plate Tectonics and Basin Evolution in Indonesia: Indonesian Petroleum Association 16th Annual Convention, v. 1, 1987, pp. 399-428
17. Darman, Herman and F. H. Sidi (eds.), An Outline of Geology of Indonesia. IAGI: Jakarta, 2000, 192 p.
18. Davies, Phillip R., "Tertiary structural evolution and related hydrocarbon occurrences, North Sumatra Basin.", 1984, pp. 19-49.
19. De Carolis, G., Parmiggiani, F., & Arabini, E. Observations of wind and ocean wave fields using ERS Synthetic Aperture Radar imagery. International Journal of Remote Sensing, 25(7–8), 2004, pp. 1283–1290.
20. ESA, Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services, 2012, 88 p.
21. ESA (2013). Sentinel-1 User Handbook. доступ [17.09.2020], свободный доступ : <https://sentinel.esa.int/>.
22. E. W. Behrens. Geology of a Continental Slope Oil Seep, Northern Gulf of Mexico, AAPG Bulletin, 72, 1998, pp. 105-114.
23. Findlay AG. A directory for the navigation of the Indian Archipelago, China, and Japan, from the straits of Malacca and Sunda, and the passages east of Java. To Canton, Shanghai, the Yellow Sea, and Japan, with descriptions of the winds, monsoons, and currents, and general instructions for the various channels, harbours, etc. 1878, 1202 p.
24. Fung, A. K., & Chart, H. Backscatteriuguf Waves by Composite Rough Surfaces. IEEE Truns. , 17, 1969, pp. 590-597.
25. Gancheva, Irina, and Elisaveta Peneva. "Verification of the SNAP ocean-tool for oil spill detection for the Bulgarian Black sea region." In *AIP Conference Proceedings*, vol. 2075, no. 1, AIP Publishing LLC, 2019, p. 1-6.
26. Girard-Arduin, F., Mercier, G., Collard, F., & Garello, R. Operational oil-slick characterization by SAR imagery and synergistic data. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 30(3), 2005, pp. 487–495.
27. Hersbach, H. CMOD5: An improved geophysical model function for ERS C-band scatterometry. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2003, pp 1-50.

28. Herterich, K., and K. Hasselmann. "The horizontal diffusion of tracers by surface waves." *Journal of Physical Oceanography* 12, no. 7, 1982, pp. 704-711.
29. Horstmann, Jochen, and Wolfgang Koch. "Evaluation of an operational SAR wind field retrieval algorithm for ENVISAT ASAR." In *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 1. IEEE, 2004, pp. 47
30. Hwang, P. A. Foam and roughness effects on passive microwave remote sensing of the ocean. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 50(8), 2012, pp. 2978-2985.
31. Ivanov, Andrei Yu, Hadi Gerivani, and Natalia V. Evtushenko. "Characterization of natural hydrocarbon seepage in the South Caspian Sea off Iran using satellite SAR and geological data." *Marine Georesources & Geotechnology* 38, no. 5, 2020, pp. 527-538.
32. Ivanov, Andrei Yu, and Mira Morović. "Oil seeps detection and mapping by SAR imagery in the Adriatic Sea." *Acta Adriatica: International journal of Marine Sciences* 61, no. 1, 2020, pp. 13-25.
33. I. R. MacDonald, J. F. Reilly, Jr., S. E. Best, R. Venkataramaiah, R. Sassen, N. L. Guinasso, Jr, and J. Amos. Remote Sensing Inventory of Active Oil Seeps and Chemosynthetic Communities in the Northern Gulf of Mexico, in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., *Hydrocarbon migration and its near surface expression: AAPG Memoir 66*, Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists, 1996, pp 27-37.
34. Jackson, C.R., J.R. Apel. *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual*. NOAA, Washington, DC, 2004, p. 464.
35. Judd, A., Hovland, M. *Seabed Fluid Flow: the Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*. Cambridge University Press, Cambridge, 2007, 475 p.
36. Kalmykov, A. I., and V. V. Pustovoytenko. "On polarization features of radio signals scattered from the sea surface at small grazing angles." *Journal of Geophysical Research* 81, no. 12, 1976, pp. 1960-1964.
37. Keller, G. H., and A. F. Richards. "Sediments of the Malacca Strait, southeast Asia: Jour. Sed." 1967, pp. 102-127.
38. Körber, Jan-Hendrik, Sahling, H., Pape, T., dos Santos Ferreira, C., MacDonald, I.R., Bohrmann, G. Natural oil seepage at Kobuleti ridge, eastern Black Sea. *Mar. Petrol. Geol.* 50 (February), 2014, pp. 68–82
39. K. Topouzelis, V. Karathanassi, P. Pavlakis, and D. Rokos. Oil spill detection: SAR multiscale segmentation and object features evaluation, *Proc. SPIE Vol. 4880, Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice 2002*, SPIE, 2003, pp. 77-87.

40. MacDonald, I. R., I. Leifer, R. Sassen, P. Stine, R. Mitchell, and N. Guinasso Jr. "Transfer of hydrocarbons from natural seeps to the water column and atmosphere." *Geofluids* 2, no. 2, 2002, pp. 95-107.
41. Macgregor, D.S. Relationships between seepage, tectonics and subsurface petroleum reserves. *Mar. Petrol. Geol.* 10 (6), 1993, pp. 606–619.
42. Marghany, M. RADARSAT automatic algorithms for detecting coastal oil spill pollution. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(2), 2001, pp. 191–196.
43. Marghany, M., & Genderen, J. Van. Entropy algorithm for automatic detection of oil spill from radarsat-2 SAR data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 18), 2014, pp 1-5.
44. McArthur, A. C. and R. B. Helm, "Miocene Carbonate Buildups, Offshore North Sumatra", 11th Annual Convention Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Vol.1, 1982, pp.127-146.
45. Meckel, Lawrence D., Michael Gidding, Michael Sompie, Mulyono Banukarso, Amalia Setoputri, Mayesta Gunarto, Novri Citajaya, Andre Abimanyu, and Donald Sim. "Hydrocarbon Systems of the Offshore North Sumatra Basin, Indonesia.", 2012, pp 1-11.
46. Misra, A.; Balaji, R. Simple Approaches to Oil Spill Detection Using Sentinel Application Platform (SNAP)-Ocean Application Tools and Texture Analysis: A Comparative Study. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 45, 2017, pp. 1065–1075.
47. Najoui, Z., S. Riazanoff, B. Deffontaines and J.-P. Xavier. Estimated location of the seafloor sources of marine natural oil seeps from sea surface outbreaks: A new "source path procedure" applied to the northern Gulf of Mexico, *Marine and Petroleum Geology*, vol. 91, 2018, pp. 190-201.
48. Pulunggono, A., Haryo, A., and Kosuma, C.G., "Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin : a study of SAR-maps", 21st Annual Convention Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol.1, 1992, pp. 338-360.
49. Qiao, FangLi, GuanSuo Wang, XinGang Lü, and DeJun Dai. "Drift characteristics of green macroalgae in the Yellow Sea in 2008 and 2010." *Chinese Science Bulletin* 56, no. 21, 2011, pp. 2236-2242.
50. Rizal, Syamsul, Peter Damm, Mulyadi A. Wahid, Jürgen Sündermann, Yopi Ilhamsyah, and Taufiq Iskandar. "General circulation in the Malacca strait and Andaman Sea: a numerical model study." *American Journal of Environmental Sciences* 8, no. 5, 2012, pp. 479-488.

51. Rollet, N., Logan, G.A., Kennard, J.M., O'Brien, P.E., Jones, A.T., Sexton, M. Characterization and correlation of active hydrocarbon seepage using geophysical data sets: an example from the tropical, carbonate Yampi Shelf, Northwest Australia. *Mar. Petrol. Geol.* 23, 2006, pp. 145–164.
52. Ross, D.A. *Introduction to Oceanography*, fourth ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988, 478 p.
53. Ross Ihaka & Robert Gentleman, "R: A Language for Data Analysis and Graphics," *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5, no. 3, 1996, pp. 299-314.
54. Sangkoyo, Hendro. & Purwanta, Wahyu. & Indonesia. Dewan Riset Nasional. Pengembangan pusat keunggulan maritim Selat Malaka menuju masyarakat berbasis pengetahuan. Jakarta : Dewan Riset Nasional, 2011, 111 p.
55. Satyana, Awang Harun, "Petroleum Geology of Indonesia: Current Knowledge", Regular HAGI Course, Bali, December, , 2009, pp. 1-17.
56. Shmelev, A. B. Wave Scattering by Statistically Uneven Surfaces. *Usp. Fiz. Nauk* , 106, 1972, pp. 459-480.
57. Singha, S.; Bellerby, T.J.; Trieschmann, O. Detection and classification of oil spill and look-alike spots from SAR imagery using an artificial neural network. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Munich, Germany, 22–27 July 2012; 2012, pp. 5630–5633.
58. Solberg, A. H., Brekke, C., & Husoy, P. O. Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(3), 2007, pp. 746–755.
59. Sosromihardjo, S.P.C., Structural analysis of the North Sumatra Basin with emphasis on synthetic aperture radar data: *Proc. Indonesia Petroleum Association 17th Ann. Conv.*, vol. 1, 1988, pp.187-210.
60. Spaulding, M.L., A state-of-the-art review of oil spill trajectory and fate modelling, *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 4, 1988, pp. 39-55.
61. Stalvies, C., Talukder, A., Ross, A., Grosjean, E., Carr, A., Williams, A., et al., Establishing hydrocarbon charge to the Ashmore Platform, Bonaparte Basin, Australia: a natural seeps study. *Mar. Petrol. Geol.* 82, 2017, pp. 56–68.
62. Tedesco, Steven A. "Radiometrics." In *Surface Geochemistry in Petroleum Exploration*, Springer, Boston, MA, 1995, pp. 73-97.
63. Tang, C. L., T. Yao, W. Perrie, B. M. Detracey, B. Toulany, E. Dunlap, and Y. Wu. "BIO ice-ocean and wave forecasting models and systems for Eastern Canadian waters." *Can Tech Rep Hydrogr Ocean Sci* 261, 2008, 1-61.

64. Ulaby, F., & Lang, D. B. A strategy for active remote sensing amid increased demand for spectrum. In Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium), USNC-URSI, IEEE, 2015, pp. 263-263.
65. Valenzuela, G. R. Theories for the interaction of electromagnetic and oceanic waves - A review. *Boundary Layer Meteorology*, 13, 1978, pp. 61–85.
66. Wang, Guansuo, Chang Zhao, Jiangling Xu, Fangli Qiao, and Changshui Xia. "Verification of an operational ocean circulation-surface wave coupled forecasting system for the China's seas." *Acta Oceanologica Sinica* 35, no. 2, 2016, pp. 19-28.
67. Waryono, dkk., Pengantar Meteorologi dan Klimatologi. Surabaya Penerbit: Bina Ilmu. 1987, 168 p.
68. Williams, Alan, and Adrian Huntley. "Oil from space: detecting the sleeping giants of the deep-water Caspian by satellite." In *Petroleum Exploration Society Conference*, 1998, pp. 1-3.
69. Woodhouse, I. H. Introduction to Microwave Remote Sensing. Taylor & Francis, 2006, 400 p.
70. Wyrтки, Klaus. Physical oceanography of the Southeast Asian waters. Vol. 2. University of California, Scripps Institution of Oceanography, 1961, 195p.
71. W. Alpers, H. Huhnerfuss. Radar Signatures of Oil Films Floating on the Sea Surface and Marangoni Effect, *Journal of Geophysical Research*, 93(C4), 1988, pp. 3642-3648.
72. Yin, Liping, Min Zhang, Yuanling Zhang, and Fangli Qiao. "The long-term prediction of the oil-contaminated water from the Sanchi collision in the East China Sea." *Acta Oceanologica Sinica* 37, no. 3, 2018, pp. 69-72.

Отчет о проверке на заимствования №1



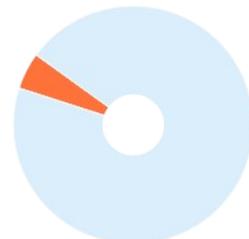
Автор: Ганторо Гурат
Проверяющий: Хромых Вадим Валерьевич (khromykh_vadim@mail.ru / ID: 252)
Организация: Томский Государственный Университет
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://tsu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 9
 Начало загрузки: 25.05.2021 21:39:00
 Длительность загрузки: 00:00:38
 Имя исходного файла:
 Диссертация_Гурат.docx
 Название документа:
 Диссертация_Гурат.docx
 Размер текста: 1 кБ
 Тип документа: Магистерская диссертация
 Символов в тексте: 137733
 Слов в тексте: 17276
 Число предложений: 1268

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
 Начало проверки: 26.05.2021 05:41:13
 Длительность проверки: 00:01:02
 Комментарии: не указано
 Поиск с учетом редактирования: да
 Модули поиска: Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс, Сводная коллекция РГБ, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), eLIBRARY.RU, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по Интернету, Модуль поиска "ТГУ", Кольцо вузов



ЗАИМСТВОВАНИЯ

4,51%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

95,49%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
 Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
 Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	0,49%	1,05%	Optimal preprocessing of radar images and modeling of oil slick drifts for the assistance of photointerpretation in oil exploration and environmental monitoring;Prétraitement optimal des images radar et modélisation des dérives de nappes d'hydrocarbures... https://tel.archives-ouvertes.fr	26 Мая 2021	Интернет Плюс	9	18	
[02]	0,29%	0,59%	Чекина	06 Июнь 2019	Модуль поиска "ТГУ"	2	5	
[03]	0,13%	0,54%	Approved by (7/8) http://rapporteur.ffi.no	26 Мая 2021	Интернет Плюс	3	11	
[04]	0,13%	0,54%	Затягалова, Виктория Владимировна диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.35 Москва 2012 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	1	5	
[05]	0,47%	0,53%	[IEEE IGARSS 2010 - 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - Honolulu, HI, USA (2010.07.25-2010.07.30)] 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - Remote sensing applications for petroleum resource explor... https://doi.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	3	4	
[06]	0,31%	0,47%	Semi-automatic Oil Spill Detection in Sentinel-1 SAR Images at Brazil's Coast http://thinkmind.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	3	5	
[07]	0%	0,45%	ВКР Безгодова О.В..pdf	22 Мая 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	4	
[08]	0%	0,45%	Организация образовательного процесса по географии обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в общеобразовательных учреждениях	02 Июнь 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	4	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ								

[09]	0%	0,45%	ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ «ВВЕДЕНИЕ В ГЕОГРАФИЮ» (5 КЛАСС)	03 Июн 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	4
[10]	0%	0,44%	Диссертация_Локтионова_02810	15 Июн 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	4
[11]	0,01%	0,41%	ГОТОВ.docx	10 Июн 2019	Модуль поиска "ТГУ"	1	4
[12]	0,23%	0,4%	Detection and object-based classification of offshore oil slicks using ENVISAT-ASAR images https://doi.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	2	5
[13]	0,26%	0,33%	http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:6264/SOURCE01 http://vital.lib.tsu.ru	01 Дек 2020	Интернет Плюс	2	3
[14]	0,03%	0,3%	On the Discrimination of Radar Signatures of Atmospheric Gravity Waves and Oceanic Internal Waves on Synthetic Aperture Radar Images of the Sea Surface https://doi.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	2	6
[15]	0%	0,28%	Диссертация на тему «Разработка методики и технологии геоинформационного анализа спутниковых радиолокационных изображений для экологического мониторинга морской поверхности», скачать бесплатно автореферат по специальности ВАК РФ 25.00.35 - Геоинформатика https://dissercat.com	18 Ноя 2020	Интернет Плюс	0	5
[16]	0%	0,28%	Диссертация на тему «Разработка методики и технологии геоинформационного анализа спутниковых радиолокационных изображений для экологического мониторинга морской поверхности», скачать бесплатно автореферат по специальности ВАК РФ 25.00.35 - Геоинформатика https://dissercat.com	18 Ноя 2020	Интернет Плюс	0	5
[17]	0,25%	0,27%	Early Tertiary basin formation and the development of Lacustrine and quasi-lacustrine/marine source rocks on the Sunda Shelf of SE Asia https://doi.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	5	5
[18]	0,06%	0,25%	Алюнина Курсовая 2019.docx	13 Мая 2019	Модуль поиска "ТГУ"	1	2
[19]	0,24%	0,24%	Анализ застройки на основе данных дистанционного зондирования Земли оптического и радиоволнового диапазонов. http://elibrary.ru	11 Фев 2020	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	1
[20]	0%	0,22%	Белоглазов А.В. (Курсовая работа).	29 Мая 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	2
[21]	0%	0,22%	Алюнина Курсовая 2020	31 Мая 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	2
[22]	0%	0,22%	Белоглазов А.В. (Курсовая работа) новая	31 Мая 2020	Модуль поиска "ТГУ"	0	2
[23]	0%	0,21%	Е. А. Чернецова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Российский гос. гидрометеорологический ун-т Дистанционный мониторинг нефтяных загрязнений в во... http://dlib.rsl.ru	08 Июл 2020	Сводная коллекция РГБ	0	2
[24]	0,21%	0,21%	'A MYSTERIOUS SYSTEM': TOPOGRAPHICAL FIDELITY AND THE CHARTING OF IMPERIALISM IN JOSEPH CONRAD'S SIAMESE WATERS. http://elibrary.ru	25 Авг 2000	eLIBRARY.RU	3	3
[25]	0,01%	0,2%	Влияние поляризации зондирующего радиосигнала на эффективность выделения отклика надводной цели. http://elibrary.ru	10 Июн 2015	eLIBRARY.RU	1	4
[26]	0,13%	0,19%	Прогноз нефтегазоносности и поиск нефтяных месторождений в море по данным космической радиолокации. http://elibrary.ru	30 Авг 2014	eLIBRARY.RU	5	6
[27]	0,02%	0,19%	Geochemical evidence of rapid hydrocarbon venting from a seafloor-piercing mud diapir, Gulf of Mexico continental shelf. http://elibrary.ru	24 Авг 2014	eLIBRARY.RU	1	6
[28]	0,19%	0,19%	1 2 3 4 5 6 7 8 http://oar.marine.ie Диссертация на тему «Диагностика	26 Мая 2021	Интернет Плюс	3	3

[29]	0,11%	0,19%	приповерхностных процессов в океане на основе радиолокационного зондирования под скользящими углами», скачать бесплатно автореферат по специальности ВАК РФ 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы https://dissercat.com	26 Мая 2021	Интернет Плюс	2	2
[30]	0,11%	0,19%	Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 03. С. 140–152. DOI: 10.7463/0315.0760670 Представлена в редакцию: 25.01.2015 Исправлена: http://doc.knigi-x.ru	26 Мая 2021	Интернет Плюс	1	3
[31]	0%	0,19%	Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 03. С. 140–152. DOI: 10.7463/0315.0760670 Представлена в редакцию: 25.01.2015 Исправлена: http://doc.knigi-x.ru	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	3
[32]	0%	0,19%	Thermogenic gas hydrates and hydrocarbon gases in complex chemosynthetic communities, Gulf of Mexico continental slope. http://elibrary.ru	28 Авг 2014	eLIBRARY.RU	0	4
[33]	0%	0,18%	Океанология. 2017. Т. 57, № 5 http://biblioclub.ru	21 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	2
[34]	0%	0,18%	Ермошкин, Алексей Валерьевич Диагностика приповерхностных процессов в океане на основе радиолокационного зондирования под скользящими углами : автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук : 25.00.29 Нижний Новгород 2017 http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2017	Сводная коллекция РГБ	0	2
[35]	0,09%	0,17%	ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ И ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРЯ. http://elibrary.ru	01 Янв 2017	eLIBRARY.RU	2	5
[36]	0,16%	0,16%	О. М. Йоханнесен [и др.] ; гл. ред. И. Е. Фролов ; отв. ред. Е. Г. Никифоров Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение = Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route. Studies and Applications http://dlib.rsl.ru	28 Фев 2015	Сводная коллекция РГБ	2	2
[37]	0,14%	0,15%	АТМОСФЕРНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ НАД СЕВЕРНОЙ ЧАСТЬЮ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. http://elibrary.ru	06 Авг 2016	eLIBRARY.RU	1	2
[38]	0,09%	0,15%	Дубина, Вячеслав Анатольевич диссертация ... кандидата географических наук : 25.00.28 Владивосток 2008 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	1	2
[39]	0,08%	0,15%	Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIII. http://elibrary.ru	28 Авг 2014	eLIBRARY.RU	1	3
[40]	0,06%	0,13%	Copernicus - Satellite Missions - eoPortal Directory https://earth.esa.int	11 Мая 2021	Интернет Плюс	1	2
[41]	0,11%	0,12%	Пленки ПАВ и нефтяные загрязнения http://oceanfromspace.scanex.ru	26 Мая 2021	Интернет Плюс	2	2
[42]	0,11%	0,11%	3 Active Earth Remote Sensing for Ocean Applications A Strategy for Active Remote Sensing Amid Increased Demand for Radio Spectrum The National Academies Press https://nap.edu	26 Мая 2021	Интернет Плюс	2	2
[43]	0%	0,11%	On the scattering and reflection mechanisms contributing to clear air radar echoes from the troposphere, stratosphere, and mesosphere - Gage - 1980 - Radio Science - Wiley Online Library https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	2
[44]	0%	0,11%	Диссертация на тему «Оценка динамики аридных экосистем на основе материалов дистанционного зондирования», скачать бесплатно автореферат по специальности ВАК РФ 25.00.34 - Аэрокосмические исследования земли, фотограмметрия	02 Дек 2020	Интернет Плюс	0	2

Источник исключен.
Причина: Маленький процент пересечения.

<https://dissercat.com>

[45]	<input type="text" value="0%"/>	0,1%	ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ - PDF Free Download http://docplayer.ru	29 Дек 2020	Интернет Плюс	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[46]	<input type="text" value="0%"/>	0,1%	Гуманитарные науки курсовые и рефераты: 9271 - 9300 https://ru.essays.club	02 Апр 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[47]	<input type="text" value="0%"/>	0,1%	http://www.ijitee.org/wp-content/uploads/Souvenir_Volume_9%20Issue-4_February_2020.pdf http://ijitee.org	26 Мар 2020	Интернет Плюс	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[48]	<input type="text" value="0%"/>	0,1%	Крупнов, Олег Рэмович диссертация ... кандидата физико-математических наук : 25.00.28 Санкт-Петербург 2004 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[49]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Белоруцкий, Роман Юрьевич диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.14 Томск 2014 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[50]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	http://lex.tsu.ru/wp-content/uploads/2020/01/%D0%9F%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%A0%D0%90%D0%9C%D0%9C%D0%90-%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf http://lex.tsu.ru	29 Апр 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[51]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	https://ido.tsu.ru/science/pub/2019/Krasnova_Mozhaeva_Monografija.pdf https://ido.tsu.ru	02 Окт 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[52]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Машиностроительные технологии http://gpntb.ru	12 Окт 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[53]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Вагнер, Дмитрий Викторович Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов : диссертация ... кандидата технических наук : 01.04.03 Томск 2019 http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[54]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых http://evgengusev.narod.ru	25 Мар 2021	Интернет Плюс	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[55]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Шакиров, Ренат Белалович Газогеохимические поля окраинных морей Дальневосточного региона: распределение, генезис, связь с геологическими структурами, газогидратами и сейсмостектоникой : диссертация ... доктора геолого-минералогических наук : 25.00.28 Вла... http://dlib.rsl.ru	14 Янв 2020	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[56]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/30602/1/dis00080.pdf http://earchive.tpu.ru	19 Ноя 2020	Интернет Плюс	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[57]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	Титченко, Юрий Андреевич Диагностика поверхностного волнения с использованием ультразвуковых и микроволновых локаторов с диаграммами направленности специальной формы : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 25.00.29 Нижний Новгород 2016 http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[58]	<input type="text" value="0%"/>	0,09%	РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ SENTINEL-1 И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ФОРМ РЕЛЬЕФА ОСТРОВА КОТЕЛЬНЫЙ. http://elibrary.ru	05 Авг 2016	Перефразирования по eLIBRARY.RU	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[59]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	sarkisyan_o_v_funkcionirovanie-armyanskih-dialektov-v-uyjnoy-chastisyunika-armeniya.pdf	31 Мая 2019	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[60]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	Перспективы и проблемы освоения месторождений нефти и газа шельфа Арктики - Бурение и Нефть - журнал про газ и нефть https://burneft.ru	09 Янв 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[61]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	ОТ ИСТОКОВ К СОВРЕМЕННОСТИ: 130 лет организации психологического общества при Московском университете: Сборник материалов юбилейной конференции: В 5 томах: Том 3 http://ibooks.ru	09 Дек 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

Catabolism and interactions of

[62]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	uncultured organisms shaped by ecothermodynamics in methanogenic bioprocesses Microbiome Full Text https://microbiomejournal.biomedcentral.com	02 Апр 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[63]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	Тоукач, Филипп Владимирович Информационные технологии в структурной гликохимии и гликобиологии : диссертация ... доктора химических наук : 02.00.10 Москва 2019 http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[64]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	astafeva_i_yu_proekt-issledovanie-konsonantnyh-izmeneniy-s-nabitym-tom.docx	22 Мар 2019	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[65]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	Давыденко, Юрий Александрович диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.10 Иркутск 2005 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[66]	<input type="text" value="0%"/>	0,08%	Моделирование, диагностика и прогнозирование характеристик КВ сигналов на основе метода нормальных волн - скачать бесплатно автореферат на тему Радиопизика. Заказать доставку диссертации по физике, 01.04.03 ВАК РФ http://fizmathim.com	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[67]	<input type="text" value="0%"/>	0,07%	Диссертация на тему «Изучение газонасыщенности морских осадков при помощи сейсмоакустического профилирования» автореферат по специальности ВАК 04.00.12 - Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых disserCat — электронная... http://dissercat.com	07 Фев 2019	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[68]	<input type="text" value="0%"/>	0,07%	Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации http://biblioclub.ru	20 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[69]	<input type="text" value="0%"/>	0,07%	Items where Division is "Geoinformation and Real Estate" and Year is 2014 - Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository http://eprints.utm.my	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[70]	<input type="text" value="0%"/>	0,07%	Миронов, Михаил Владимирович Оценка разности времени прихода сигналов в космических многопозиционных разностно-дальномерных системах радиомониторинга при многолучевом распространении радиоволн : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.14 Томск... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[71]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	Bastuev Bato Chimitovich вкр.docx	18 Июн 2018	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[72]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	Список вулканов Индонезии — Википедия https://ru.wikipedia.org	20 Янв 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[73]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ - PDF Free Download https://docplayer.ru	16 Дек 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[74]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	Список вулканов Индонезии — Википедия https://ru.wikipedia.org	20 Янв 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[75]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	Последние файлы - Геологические науки и горное дело - Все для студента https://twirpx.com	15 Дек 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[76]	<input type="text" value="0%"/>	0,06%	Куркин, Владимир Иванович диссертация ... доктора физико-математических наук : 01.04.03 Иркутск 1999 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[77]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2017t4/193-203.pdf http://d33.infospace.ru	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[78]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2017t4/193-203.pdf http://d33.infospace.ru	04 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[79]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ - PDF Free Download https://docplayer.ru	15 Апр 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
	<input type="text" value="0%"/>		Мясоедов, Александр Германович диссертация ... кандидата физико-					Источник исключен.

[80]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	математических наук : 25.00.28 Санкт-Петербург 2014 http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	1	Причина: Маленький процент пересечения.
[81]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	http://www.cepl.rssi.ru/confs/ASGIS2019/files/ASGIS2019_Abstract_book.pdf	23 Июн 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[82]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	Copernicus https://marine.copernicus.eu	10 Ноя 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[83]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A13966/FULLTEXT01.pdf http://diva-portal.org	24 Фев 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[84]	<input type="text" value="0%"/>	0,05%	Диссертация на тему «Спутниковый радиолокационный мониторинг морского ледяного покрова», скачать бесплатно автореферат по специальности ВАК РФ 25.00.28 - Океанология https://dissercat.com	15 Апр 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[85]	<input type="text" value="0%"/>	0,04%	Динамика гравитационно-капиллярных волн в океане в присутствии пленок поверхностно-активных веществ Контент-платформа Pandia.ru https://pandia.ru	18 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[86]	<input type="text" value="0%"/>	0,04%	Hydraulic mining - Wikipedia https://en.wikipedia.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[87]	<input type="text" value="0%"/>	0,04%	Hydraulic mining - Wikipedia https://ru.qaz.wiki	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[88]	<input type="text" value="0%"/>	0,04%	Deepwater Horizon oil spill - Wikipedia https://en.wikipedia.org	10 Мар 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[89]	<input type="text" value="0%"/>	0,04%	Deepwater Horizon oil spill - Wikipedia https://en.wikipedia.org	15 Дек 2020	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[90]	<input type="text" value="0%"/>	0,03%	Prof. Pietro Alessandro Brivio Profile https://spiedigitallibrary.org	26 Мая 2021	Интернет Плюс	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.