

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Создание автоматизированного программного ГИС-модуля
мониторинга морского льда арктического региона на основе открытых
данных пассивного микроволнового зондирования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 05.03.03 Картография и геоинформатика

географического факультета

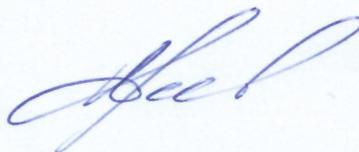
Александрова Владислава Олеговича

Научный руководитель
доцент, к.г.н.



В.А. Данилов

Зав. кафедрой
доцент, к.с-х.н., доцент



В.А. Гусев

Саратов 2021

Введение. Проблема таяния ледников и льдов является глобальной, над ней уже несколько лет ведутся споры и выдвигаются различные гипотезы, но факт того, что изменения природных условий оказывает влияние на сокращение и уменьшение мощности ледового покрова в полярных областях неоспорим.

Важно понимать, что изменения природных условия напрямую влияют на развитие Арктического региона, реализацию различных экономических проектов. На данной территории важно учитывать современные изменения не только при проектировании сооружений или прокладке морских путей, но и их последствия, влияющие на адаптацию и связанные с этими рисками.

Наиболее ярким индикатором изменения природных условий является ледовая обстановка, которая играет одну из важнейших ролей в дальнейшем развитии Арктического региона. Поэтому оперативный мониторинг ледовой обстановки и влияющих на нее доминантных климатических факторов служит своевременным сигнализатором об возможных рисках и позволяет принять решения по их минимизации и вовсе предотвращению.

Цель данного исследования – создание автоматизированного программного модуля мониторинга ледовой обстановки Арктического региона с использованием открытых оперативных данных дистанционного зондирования (ДЗЗ).

Чтобы достигнуть поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Осуществить поиск и анализ наиболее подходящих открытых пространственных данных ДЗЗ Арктического региона.
2. Провести обзор существующих систем мониторинга ледовой обстановки и проанализировать алгоритмы их работы.
3. Разработать алгоритмы автоматизации процессов обработки, составления и оформления открытых данных ДЗЗ для ГИС.
4. Создать автоматизированный программный модуль мониторинга ледовой обстановки для ГИС.

В ходе исследования будет применяться описательный, картографический, научно-литературный и аналитические методы. Материалы, по которым проводилось данное исследование, представляют собой совокупность отечественных и зарубежных научных статей, печатных и электронных изданий, а также оперативных открытых иностранных радиометрических данных дистанционного зондирования.

Работа написана на основе 30 литературных источников, в том числе 3 электронных, и состоит из введения, трёх логических разделов, заключения и 8 приложений, в том числе 6 картографических предложенных автором.

Основное содержание работы.

1 Актуальность мониторинга Арктического региона

В первом разделе поднимается вопрос экономического потенциала Арктики региона, современных проблемах арктического региона и актуальности мониторинга ее ледовой обстановки. Отмечается, что изменение климата умножает существующие и формирует новые риски для природных и антропогенных систем.

За XX век температура воздуха в Арктике повышается, в отдельных точках отмечается повышение почти на 6 градусов по Цельсию, это в свою очередь повлияло на сокращение льдов или даже исчезновение определённых их видов. Теплые течения, проникающие в Арктику, так называемая «термальная бомба», заметно влияет на изменение ледовых условий особенно в западной части региона. Современные изменения ледовых условий, усиливают влияние других факторов, а именно изменение отражающих характеристик подстилающей поверхности, которые, в свою очередь, будут еще больше ускорять изменения в ближайшем будущем.

Под влиянием изменчивости микроклимата экосистемы Арктики, происходит изменения ее природных условий. Ледовый покров в некоторых областях переходит, из свойственного ему на протяжении последних 10 лет состояния и формы, в другое. Реки вскрываются раньше обычных сроков и

позже замерзают, а некоторые притоки могут так и не покрыться льдом полностью. Все это в целом меняет Арктический регион и оказывает большое влияние на объекты и инфраструктуру. [1]

Освоение ресурсов Арктики будет во многом влиять на экономическое развитие нашей страны в XXI веке, и есть ряд причин почему так считают. Плановая полноценная разработка ресурсов арктического региона нашей страны дает исключительную возможность устойчивого экономического развития. По словам исследователей, данная стратегия развития Арктики, в частности освоение ресурсов, позволит нашей стране сбалансировать рост экономики на протяжении века и еще на достаточно долгое время.

Журнал Science в 2010 году опубликовал проведенное учеными по оценке залегающих ресурсов в Арктическом регионе [2]. По мнению данной группы ученых, под ледовым покровом может находиться почти 86 млрд. баррелей нефти, примерно 10 млрд. т, это составляет почти 15% от общих неразработанных запасов мира.

Одной из главных причин, препятствующих развитию региона, являются тяжёлые природные условия, а последнее время и их нестабильность и непредсказуемость, вследствие постоянно меняющихся на данный момент природных условий. Данная изменчивость влияет на развития всех планируемых экономических проектов, разведанность ресурсов и инвестиционные оценки территорий.

Изменение климата умножает существующие и формирует новые риски для природных и антропогенных систем (повышение уровня моря, уменьшение массы ледников, ускорение таяния льда в Арктике, перераспределение осадков, экстремальные погодные явления, изменения в цветении растений и в ареалах видов их распространения). По оценкам Всемирной метеорологической организации, риски распределяются неравномерно и можно говорить о них, если на определённой территории наблюдаются опасные или неблагоприятные явления и существует некий

реципиент риска, который находится под их вероятным воздействием и уязвимый для них.

Для того, чтобы предупредить данные опасные явления в Арктической зоне, повысить безопасность и усовершенствовать навигационные условия на Северном морском пути необходимо увеличить надёжность гидрометеорологических прогнозов.

2 Ледовая обстановка Арктического региона

Во втором разделе рассматривается вопрос влияния климатических изменений на природные условия Арктики, которые впервые были отмечены в начале XX века и были связаны с изменением уровня мирового океана. Современные изменения определяются гидрометеорологическими процессами, которые вызывают объёмные изменения уровня океана, а влиянием космогеофизических сил и геолого-геодинамических процессов можно пренебречь вследствие их малости.

Наблюдаемые изменения в температурном режиме Арктики, такие как среднее повышение температуры, уменьшение ледяного покрова, накопление стока рек и трансформация многолетней мерзлоты, показательны для самых значительных изменений по сравнению с другими районами Земли. Этому способствует ряд особенностей формирования климата Арктики.

Во-первых, климат арктической зоны образуется при меньшем притоке тепла от Солнца, нежели климат других регионов.

Во-вторых, это район, который является наиболее чувствительным к изменениям парниковых газов в атмосфере.

В-третьих, геомагнитный полюс формирует хорошие условия для вторжения в атмосферу заряженных солнечных и космических частиц.

В 2019 году в море Бофорта у Чукотки летом началось раннее таяние ледового покрова и наблюдались высокие температуры поверхности моря. Минимальная протяженность Арктического морского льда в сентябре 2020 года показывала те же значения, что и в 2007 и 2016 годах.

В декабре Чукотское море полностью покрылось льдом, Гудзонов залив также обледенел, а морской лед простирался на юг в Берингово море. К 2019 году Берингово море было полностью покрыто льдом. При изучении становится ясно что, определяющей чертой десятилетия 2010-х годов была неизменно низкая площадь арктического морского льда по сравнению с долгосрочными средними значениями.

Важнейшим индикатором глобального потепления является изменение уровня Мирового океана, связанного с многими гидродинамическими процессами как в самом океане, так и при его взаимодействии с атмосферой.

Первые изменения уровня мирового океана были отмечены еще в начале XX века, определённое тогда повышение уровня составлял порядка 1,8 мм/год. По современным альтиметрическим данным установлено, что среднегодовой прирост заметно увеличился и составляет почти 3,5 мм/год. По некоторым прогнозам, к концу XXI века оно может составить уже 40-100 см и будет зависеть от интенсивности таянья ледников особенно в полярных областях. Поэтому проблему изучения долговременных колебаний уровня Мирового океана и особенно построения методов его долгосрочного прогноза следует отнести к числу важнейших проблем современности.

В общем случае на уровенную поверхность океана действует большое число различных по своей природе факторов, которые можно объединить в три большие группы: космогеофизические силы, геолого-геодинамические процессы, гидрометеорологические процессы.

При глобальном осреднении в межгодовом масштабе времени в современных условиях влиянием космогеофизических сил и геолого-геодинамических процессов (вертикальных движений земной коры и донным осадконакоплением) на уровень мирового океана можно пренебречь вследствие их малости.

Определяющим фактором, вызывающим объемные изменения уровня океана, являются гидрометеорологические процессы. Это эвстатические колебания, возникающие за счет составляющих пресноводного баланса

(испарение, осадки, речной и айсберговый сток) и стерические колебания, обусловленные изменениями плотности морской воды.

Основываясь на сокращении объемов льдов полярных регионов, тот факт, что именно таяние ледников оказывает свое влияние на повышение уровня мирового океана, является очевидным.

Российская Арктика включает в себя берега с мерзлыми грунтами и высоким содержанием льда до 20-50%. Летний сезон для береговой зоны характеризует быстрые процессы и явления оттаивания мерзлоты, где основным процессом является термоабразия. Последний процесс влечет за собой тепловое влияние воздушных и водных масс, а также механического действия морских волн.

Хозяйственное освоение Арктики началось и продолжается на берегах: строительство портов, нефтенакопительных терминалов, перерабатывающих заводов, вследствие этого изучение процессов термоабразии является главным вопросом для формирования деятельности полярных областей и функционирования инфраструктуры. Основная часть береговой линии, а это примерно 56% представляет собой вечномерзлые ледовые комплексы, основанные из термокарстовых процессов. В связи с этим фактом темпы отступления арктической зоны очень велики в сравнении с площадью береговой линии (около 50 тыс. км). [4]

Отрицательное воздействие повышения уровня мирового океана, проявляется не только на самой береговой линии, но также и на хозяйственную деятельность населения прибрежных зон. Если при всех учитываемых факторах верны результаты статистической обработки моделей данных и будет наблюдаться дальнейшее повышение уровня воды, то потребуются переселение людей и значительные финансовые ресурсы на строительство защитных береговых сооружений. В частности, уже сейчас на Чукотском полуострове береговая абразия и эрозия, а также подтопление приносит много проблем и сложностей. [5]

3 Создание программного ГИС модуля мониторинга морского льда

В третьем разделе рассматриваются существующие системы мониторинга ледовой обстановки, анализируются данные на которых они основываются, и оценивается возможность применения отдельных составляющих этих систем в разрабатываемой программном модуле. Приводится описание процесса создания и программирования автоматизированного программного модуля мониторинга ледового покрова с применением ГИС-технологией, его алгоритмов работы и области его применения.

В настоящий момент существует ограниченное количество систем мониторинга ледовой обстановки. Как правило в литературе представлены описания множество прототипов или разработки неких алгоритмов функционирования подобных систем. Успешно реализованных проектов мало, что может быть связано с недостатком финансирования или определенной закрытостью. Одним из немногих ярких и успешно реализуемых проектов является экспериментальный программно-аппаратный комплекс (ЭАПК) спутникового мониторинга и прогнозирования ледовой обстановки «Лед», разработанный Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом [6].

Также существуют другие прототипы системы мониторинга. Например, мониторинг основанный на статистической обработке данных построенный методом гармонических весов. Этот алгоритм мониторинга, позволяет рассчитать климатическую модель и построить тренды ледовитости Арктических морей, или же составить точечные или интервальные прогнозы. Результаты этой системы просты, но не информативны касательно ледовой обстановки, и заключаются только в графиках и наборов показателей, без возможности отображения на карте. [7]

Следующие типы прототипов относятся к алгоритму автоматизированной обработки массивов радиолокационных ДДЗ. Данные системы в будущем вероятно станут самым наилучшим решением для

мониторинга, с условием того что будет действовать большое количество радиолокационных спутников, на полярных широтах чтобы обеспечить регулярность, что является достаточно трудоемкой и затратной космической миссией [8, 9].

Рассмотренные системы мониторинга используют не в полной мере возможности ГИС-технологий, при желании можно полностью адаптировать данные системы под распространённые ГИС-пакеты, что позволит реализовать данные системы для значительного круга пользователей.

Разрабатываемый программный ГИС модуль, который будет основываться на технологии краткосрочных (1-3 суток) ледовых прогнозах может автоматически генерировать набор данных о ледовой обстановке и публиковать результаты в виде автоматизированных картосхем или анимацией движения.

Для решения поставленной задачи и создания программного модуля в первую очередь важно найти данные которые будут отвечать следующим обязательным требованиям:

- эти данные должны быть открытого пользования;
- они должны корректно отображать интересующую нас область;
- быть регулярными и постоянно обновляемыми.

Для решения данной проблемы нами предлагается использование современных типов радиолокационной съемки Земли, а именно спутниковое пассивное микроволновое зондирование. Её преимущества заключается в глобальности по охвату, регулярности обновления, почти полной независимости от времени суток и различных погодных условий. Это в полной мере может обеспечить выполнение наших требований.

Кроме того, ее особенность в фиксировании температуры отражённых яркостей позволяет нам регистрировать изменения поверхности, или же если съёмка проводится в плотных слоях атмосферы, фиксировать определенные климатические явления, такие как сила и направления ветра.

Одним из важных наборов данных для исследования Арктики является данные SSMR и SSM/I-SSMIS. Этот массив данных является весомым, и содержит в себе дневные данные пассивного микроволнового зондирования полярных областей. Для обработки этих данных используется вышеупомянутый алгоритм NASA TEAM. Эти данные охватывают период с 26 октября 1978 года по настоящий момент времени, и публикуются в режиме «near-realtime», так называемом «почти реальном времени», когда на следующий день есть данные вчерашнего дня. Данная информация представляет собой матрицы оценки общей сплоченности морского льда в процентах по ячейкам сетки полярной стереографической проекции размерностью 25 на 25 км.

Имея доступ к таким открытым данным, которые обновляются в так называемом режиме «почти реального времени», мы можем наложить их друг на друга и отследить динамику изменений с течением времени. Но этого недостаточно для организации постоянного оперативного мониторинга.

Задачи обработки, оформления и вывода данных, достаточно затратны по времени и рутинные по своему исполнению. Если этот процесс должен выполняться постоянно, важно оптимизировать данные задачи, хотя бы частично. И сделать его для пользователя автоматизированным или даже автоматическим, при наличии достаточных физических ресурсов.

Поэтому в рамках разработки программного модуля, в первую очередь требуется создания алгоритма, который позволит оптимизировать данные задачи и сделать их незаметными, легко и быстро выполнимыми для пользователя, а именно решить проблему автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования.

Предлагаемый алгоритм, основывается на простой логике, а именно на том что, если пользователю понадобилось выполнить оценку ледовой обстановки территории и отразить произошедшие изменения за определённый отрезок времени ему потребуется только подгрузить данные и запустить программный модуль обработки. Реализация данной простой логики в ГИС

приложении требует выполнения ряда картографических операций и аналитических функций.

Заключение

Природные условия и риски в Арктике становятся все более непредсказуемыми в связи с глобальным потеплением. В связи с этим становится все более актуальным изучение влияния природных условий на ледовую обстановку. Проанализированные нами данные дистанционного зондирования подтвердили возможность их применения для целей проведения более точной оценки природных рисков инвестиционных проектов, проведения прикладных НИР, мониторинга и прогноза ледовой обстановки в Арктическом регионе с учетом доминирующих метеорологических факторов, связанных с изменениями природных условий.

Обзор существующих систем мониторинга ледовой обстановки и анализа алгоритмов их работы показал, что на практике реализованы считанные единицы проектов, большинство из которых остаются закрытыми для массового пользователя. Одним из примеров подобных проектов является экспериментальный программно-аппаратный комплекс (ЭАПК) спутникового мониторинга и прогнозирования ледовой обстановки «Лед», разрабатываемый Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом.

На его примере были проанализированы алгоритмы функционирования и устройство реализуемого автоматизированного ГИС модуля. Анализ доступных и подходящих пространственных данных дистанционного зондирования показала, что оптимальным вариантом для арктического региона является массив данных сканирующего многоканального микроволнового радиометра (датчики SSMR и SSM/I-SSMIS), установленным на спутнике Nimbus-7.

Был разработан алгоритм автоматизации процессов обработки, составления и оформления, открытых данных дистанционного зондирования ледовой обстановки для ГИС приложения ArcMap. Сама разработка осуществлялась посредством написания инструмента скрипта, выполняющего

определённый набор операций и функций среды ArcMap в оболочке Python. В следствие чего непосредственно был создан программный модуль.

Предложенный алгоритм и реализованной скрипт программного ГИС модуля автоматизирует выполнение рутинных задача пользователем и позволяет реализовать полноценную оперативную систему мониторинга ледовой обстановки Арктического региона по открытым данным ДЗЗ и загрузке дополнительных доминантных климатических факторов напрямую на нее влияющую.

Список использованных источников

1 Алексеев, Г. В., Радионов, В.Ф., Смоляницкий, В.М., Фильчук К.В., Итоги и перспективы изучения климата и климатического обслуживания в Арктике/ Г. В. Алексеев, В.Ф. Радионов, В.М. Смоляницкий, К.В. Фильчук, // Проблемы Арктики и Антарктики. Арктические и антарктические исследования – 2018. - № 64. - С. 262–269.

2 Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic / Donald L. Gautier [et al.] // Science. 2009, vol. 324, no 5931, pp. 1175-1179.

3 Катцов, В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики/ В. М. Катцов, Б. Н. Порфирьев // Арктик: экология и экономика. – 2012. - № 2(6). – С. 66–79.

4 Коннова, Л. А., Львова, Ю. В. Возможные источники экологической опасности на территории субъектов Арктической зоны Российской Федерации (Мурманской и Архангельской областей) // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России» - 2018. - №2. – С. 50 - 55.

5 Григорьев, М. Н. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции / М.Н. Григорьев, С.О. Разумов, В.В. Куницкий, В.Б. Спектор // Криосфера Земли. – 2016. - Ч. 10 - №4 – С. 74-94.

6 Экспериментальный аппаратно-программный комплекс спутникового мониторинга и прогноза ледовой обстановки / Миронов Е.У [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. - № 2(112). – С. 15-25.

7 Зеленина, Л. И., Антипин, А. Л., Льды Арктики: мониторинг и меры адаптации / Л.И. Зеленина, А.Л. Антипин // Арктика и Север. – 2015. - № 18. – С. 122-130.

8 Прогнозирование ледовой обстановки и оптимального маршрута прохождения судов в арктических широтах для безопасного судовождения / Чириков А. В. [и др.] // Проблемы Северного морского пути. – 2015. - № 3(19). – С. 96-103.

9 Казаков, Э. Э. Система оперативного мониторинга морского льда в Арктике основанная на открытых спутниковых радиолокационных данных / Э.Э. Казаков, В.А. Волков, Д.М. Демчев // Науки о Земле – 2012 - №4 – С. 12-22

10 Cavalieri, D. J., P. Gloersen, and W. J. Campbell, Determination of sea ice parameters with the Nimbus 7 SMMR. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1984, vol. 89, no D4, pp. 5355-5369.

11 Свейгарт, Эл, Автоматизация рутинных задач с помощью Python: практическое руководство для начинающих / Эл Свейгарт – пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. – 592 с.