

Санкт-Петербургский государственный университет

Плющикова Вера Сергеевна

Выпускная квалификационная работа

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ЮЖНОГО
ОКЕАНА С 2009 г. ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ**

Основная образовательная программа бакалавриата
«Гидрометеорология»
Профиль «Океанология»

Научный руководитель:
доцент каф. океанологии
РУБЧЕНЯ Андрей Валерьевич

Рецензент: ВОЛКОВ Владимир Александрович

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

Введение	3
Глава I. Номенклатура и классификация морских льдов	4
1.1. Образование льда и его основные свойства	4
1.2. Классификация морского льда	7
Глава II. Морской ледяной покров Южного океана	11
2.1. Физико-географическое описание	11
2.2. Ледяной покров	16
Глава III. Состояние ледяного покрова Южного океана за 2009-2018 г.	19
3.1. Методика обработки данных по площади и сплоченности морского ледяного покрова Южного океана с 2009 г.	22
3.2. Анализ полученных данных	29
Заключение	33
Используемые материалы	35
Приложение	36

Введение

Ледяной покров – совокупность площади льдов, которые образуются на поверхности океанов, морей, озер, рек и других водоемов. Морской лед образуется из соленой воды, что определяет его сложную структуру и специфические свойства.

Наблюдения за состоянием морского ледяного покрова начались еще в конце XIX, но только в первой половине XX в. начались измерения толщины дрейфующего льда в процессе полярных экспедиций. В 1979 году начали использовать спутники за наблюдениями изменения площадей ледяного покрова Земли и его сплоченности.

Целью данной работы является обзор состояния ледяного покрова Южного океана с определением тенденций изменений в 2009-2018 гг. Для ее достижения были поставлены следующие **задачи**:

- Освоение методики обработки спутниковых данных (2009-2018гг. SSMR-SSM/I, NSIDC)
- Изучение алгоритмов обработки начальных спутниковых данных – NASA Team и Bootstrap
- Выявление особенностей обработки спутниковых снимков в пакете ArcGIS
- Расчет площади и сплоченности морских льдов в 2009-2018гг. в Южном океане

Актуальность темы дипломной работы определяется большим влиянием морского ледяного покрова на климат в целом, а также на развитие живых организмов, т.к. создает для них среду обитания и условия для жизнедеятельности.

Следует заметить, что ледяной покров также оказывает влияние на выполнение практических работ, в частности, навигационных и синоптических задач, судоходства, рыболовства и других видов хозяйственной деятельности.

При написании работы была использована учебная литература, данные интернет-источников, а также статьи в периодических изданиях.

Глава I. Номенклатура и классификация морских льдов

1.1. Образование льда и его основные свойства

Морской лёд – сложное тело, оно образуется из морской воды и включает в себя кристаллы пресного льда, рассол, пузырьки воздуха и примеси.

Лёд формируется в результате переохлаждения воды. У пресного льда температура замерзания составляет 0°C , однако у морского льда она зависит от множества факторов. Среднее значение температуры перехода морской воды в твердое состояние составляет $-1,8^{\circ}\text{C}$.

Лёд начинает образовываться в так называемых центрах кристаллизации. Образование элементарного кристаллика льда (зародыша) происходит не только в процессе флуктуации, а также при воздействии посторонних тел в воде – затравок. Чем более схоже строение их кристаллических решеток к решетке льда, тем быстрее происходит процесс льдообразования. [1]

Морской лед обладает следующими характеристиками:

- *Соленостью*, т.е. количеством солей в граммах, которое содержится в одном килограмме морского льда (‰)

Между кристалликами льда оказываются капли соленой воды – рассол, в его состав могут входить: калий (K), кальций (Ca), натрий (Na), магний (Mg), сульфаты (SO_4) и пр. Быстрее всего морской лед образуется там, где больше рассолов. С течением времени капли рассола стекают вниз, благодаря чему уровень солености понижается. Основная масса рассола уходит при образовании льда, а также в теплое время года, когда температура сравнительно высокая, т.е. соленость льда сильно зависит от температуры воздуха над акваторией и скоростью перемещения воздушных масс. Считается, что соленость у льдов ниже, чем у морской воды примерно в 4 раза. Средняя соленость морского льда составляет 3-8‰.

- *Плотностью* – массой морского льда в единице объема ($\text{г}\cdot\text{см}^3$)

Уменьшение солености приводит к снижению плотности льда. Однако пористость оказывает на него большее воздействие. Плотность пузырьков воздуха примерно в 1000 раз меньше плотности льда, поэтому пористость выражается в процентах. Плотность сплошного льда при 0°C оценивается в $0.918 \text{ г}\cdot\text{см}^3$. [2]

При понижении температуры от 0 до -23°C плотность морского льда уменьшается, вследствие увеличения объема в процессе льдообразования. С возрастом плотность льда понижается, так как после снижения содержания рассола поры заполняются воздухом.

- *Теплотой плавления* (кДж/кг)

У морского льда отсутствует не только фиксированная температура замерзания, но также и температура плавления. Таяние льда происходит постепенно, сначала в жидкое состояние переходит область вокруг рассола, что позволяет ледяной массе легко разрушаться под механическим воздействием.

Теплота плавления зависит от температуры и солёности. С понижением этих характеристик теплота плавления льда увеличивается, что можно заметить из формулы:

$$L_s = c_n(\theta - T) + L_n \left(1 - \frac{s}{s_p}\right)$$

Где L_e - эффективное тепло

L_n - теплота плавления пресного льда

T - температура морского льда

s_p - солёность рассола

c_n - уд. теплоемкость пресного льда

θ - температура полного плавления морского льда

В среднем, теплота плавления изменяется в пределах от 150 до 397 кДж/кг, когда теплота плавления пресного льда составляет 334 кДж/кг.

- *Теплопроводностью* – способностью льда передавать сквозь себя тепло от более нагретых частей к менее нагретым. ($\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$)

Теплопроводность морского льда примерно в 5 раз выше, чем воды. Так как морской лед – сложное тело, то его элементы имеют различные степени теплопроводности. В практике используют термин «удельная теплопроводность» (Λ), который характеризует количество тепла, проходящее через единицу плоскости за промежуток времени.

$$\Lambda_n \approx \Lambda_k \frac{1 - v_B}{1 + 0,5v_B}$$

$$\Lambda = \Lambda_n - (\Lambda_n - \Lambda_p) \frac{s}{s_p}$$

Где $\Lambda_{п}$ - уд. теплопроводность пористого льда

$\Lambda_{к}$ - уд. теплопроводность кристаллов льда

$\Lambda_{р}$ - уд. теплопроводность рассола

$V_{в}$ - объем пузырьков газа

Наибольшей теплопроводностью обладают кристаллы пресного льда – $2,22 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, а средняя теплопроводность морского льда оценивается в $2,10 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, но этот показатель может снижаться при приближении к верхним и нижним слоям морского льда, потому что способность передавать тепло уменьшается при увеличении содержания пузырьков воздуха и рассола.

- *Теплоемкостью*, т.е. отношением количества тепла к температуре. ($\text{Дж/г}^{\circ}\text{C}$)

Океанологи часто употребляют такое понятие как «удельная (эффективная) теплоемкость», чтобы оценить количество тепла, необходимое для изменения температуры 1 г морского льда на 1°C .

Для пресного льда удельная теплоемкость приблизительно равна $2,12 \text{ Дж/г}^{\circ}\text{C}$, и немного увеличивается с ростом температуры, удельная теплоемкость морского льда – величина непостоянная. Она меняет свое значение при сдвиге температуры, а также солёности. С увеличением солёности теплоемкость повышается. Она достигает при -20°C и солёности 15‰ $70,8 \text{ Дж/г}^{\circ}\text{C}$ и резко падает с понижением температуры, вследствие смены жидкой и твердой фаз рассола, что сопровождается изменением количества теплоты.

Удельная теплоемкость вычисляется по формуле:

$$c = c_{п} \left(1 - \frac{s}{S_{п}} \right) + c_{р} \frac{s}{S_{п}} - L_{п} \frac{s}{S_{п}^2} \frac{\partial S_{п}}{\partial T}$$

Где $C_{п}$ - уд. теплоемкость пресного льда

$C_{р}$ - уд. теплоемкость рассола

Наравне с физическими свойствами морской лед обладает также и механическими, на них оказывают влияние температура, солёность, пористость и структура льдов. Механические свойства проявляются при внешнем воздействии, вызванном *напряжением* или силой, приходящейся на единицу площади. Под действием напряжения происходит деформация тела, которая выражается растяжением (удлинением), сжатием, сдвигом слоев, а также изгибом. Любая деформация происходит во всех направлениях. Для ее оценки используют коэффициент Пуассона, показывающего отношение поперечной деформации к продольной.

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_{поп}}{\varepsilon_{пр}} \right|$$

Различают три стадии деформации:

1. Упругая

Это стадия характеризуется возвращением льда в начальную форму после воздействия кратковременной быстрой нагрузки с напряжением 10^{-1} МПа. Предел упругости может меняться в течение года, его максимальное значение приходится на зиму, а минимальное - на лето.

2. Упруго-пластическая

На этой стадии связь между напряжением и деформацией нелинейная, а лед не возвращается в прежнее состояние после воздействия на него силы. Величина напряжения превышает значение при упругой деформации.

3. Разрушения

На данной стадии нагрузки достаточно велики, чтобы пластические деформации увеличились и привели к разрушению льда. Предельное сопротивление льда зависит от солености, температуры, пористости, вида кристаллов и расположения льда.

Морской лед обладает *прочностью*, т.е. способностью к сопротивлению. Обычно, для оценки прочности используют численные показатели напряжения. [3]

1.2. Классификация морского льда

Как уже было замечено ранее, морской лед обладает различными свойствами, которые меняются под воздействием внешних сил, а также при смене сезонов.

Лед классифицируют по нескольким признакам - по генетическому отношению, по морфологии, по динамике и по возрасту.

1. По происхождению (т.е. в генетическом отношении) лед подразделяется на:

- Морской лед, образованный из морской воды. Он может быть поверхностным и внутриводным.
- Материковый лед, который формируется из снега, выпавшего на сушу, или вследствие откалывания с ледника глыбы льда (айсберга), а также его обломков. Большинство материковых льдов поступают в океан из Антарктиды. В их составе мало примесей, и они имеют светло-голубой оттенок.

- Речной лед, который выносится в море с помощью течений.

Его концентрация повышается при весеннем ледоходе. Речной лед пресный, в нем нет солей, но он содержит достаточно много примесей. Основная масса речных льдов приходится на Северный ледовитый океан, так как его береговая линия сильно изрезана реками и их притоками.

2. По подвижности (в динамическом отношении) льды бывают:

- Подвижными или дрейфующими (Drift ice)

Такой тип льда меняет свое положение в пространстве под влиянием ветров и течений. При ветровом дрейфе перемещаются также верхние слои воды, поэтому даже после прекращения действия ветров льды продолжают перемещение. Направление дрейфа чаще всего не совпадает с направлением ветра. Линия движения дрейфующих льдов отклоняется под действием силы Кориолиса. Также на направление дрейфа влияют препятствия на пути в виде островов, отмелей, а также рельеф дна и близость к береговой линии.

Дрейфующие льды делят на подгруппы по их сплоченности на отдельные, редкие, сплоченные и сплошные льды. Последние перемещаются в результате деформации сдвига льдов относительно друг друга.

- К неподвижным льдам относят припай и стамухи.

Припай (Fast ice) прикреплен к берегу или отмели, он образуется при промерзании дрейфующего льда или при достижении температуры замерзания морской воды. Обычно он испытывает вертикальные колебания, но может отламываться и переходить в дрейфующий лед.

Стамуха (Grounded hummock) - торосистое, севшее на мель ледяное образование. Она может существовать отдельно или образовывать систему цепочек валов льда, что помогает образованию припая.

3. По морфологии лед подразделяется на:

- *Ледяные поля (Floe)* – относительно плоские участки морского льда или льдины размером более 20 м в поперечнике. Среди них выделяют несколько видов, отличающихся по площади: крупнобитый лед (до 100 м в поперечнике), обломки ледяных полей (100-500 м), большие ледяные поля (500-2 000 м), обширные поля (2 – 10 км) и гигантские ледяные поля (более 10 км).

- *Битый лёд (Ice cake)* - совокупность льдин размером менее 20 м в поперечнике. Третьим (*Small ice cake*) лёд называется, если его размер менее 2 м.

4. По возрасту:

- *Начальные виды льда*

Ледяные иглы (Frazil ice) - начальный вид льда, представляющий собой отдельные кристаллики, взвешенные в поверхностном слое воды. При большой концентрации ледяные иглы образуют сплошной слой *ледяного сала (Grease ice)*, который придает поверхности матовый оттенок и тем самым имеет небольшое альбедо. При выпадении твердых осадков на свободную ото льда морскую поверхность, образуется *снежура (Slush)* или кашеобразная масса, сформированная в результате намкания снега.

Шуга (Shuga) образуется при воздействии ветра и волн и представляет собой совокупность ледяного сала и снежуры в виде пористых кусков белого льда.

- *Ниласовые льды (Nilash)* – тонкая корка льда мощностью 10 см, способная повторять форму волны. Их принято разделять на темный (до 5 см) и светлый, с более толстым слоем и большим альбедо. Ниласовые льды образуются из сала и снежуры при отсутствии ветрового воздействия. Такой вид льдов является хрупким и ломается при внешнем воздействии, образуя зубчатые наслоения.

Склянкой (Ice rind) называют нилас, толщиной до 5 см, ломающийся на прямоугольные пластины. Пластинами льда круглой формы и до 10 см мощностью являются *блинчатые льды (Pancake ice)*, в диаметре они достигают 3 м. Могут образовываться в процессе разрушения некоторых видов ниласовых льдов при большой зыби, поэтому края пластин немного приподняты.

- *Молодые льды (Young ice)*, которые являются переходной стадией между ниласовыми льдами и однолетними. Они делятся на *серые льды (Grey ice)*, толщиной 10-15 см, и *серо-белые (Grey/white ice)* льды – 15-30 см. Молодые льды менее эластичны, чем ниласовые, при разрушении серо-белый лёд образует *торосы (Hummock)*, или холмообразные ледяные нагромождения, а серый лёд при сжатии наслаивается, его поверхность влажная от рассола.

- *Однолетние льды (First-year ice)* – льды, существование которых продолжается не более одной зимы, их толщина колеблется от 30 см до 2 м. Поверхность обычно покрывает снег, который при наличии торосов формирует сугробы. В теплый период года в понижениях накапливается талая вода, конструируя *снежницы* или

небольшие водоемы. Если же поверхность льда разрушена, то талая вода не задерживается.

Однолетние льды принято делить на *тонкий или белый лед (Thin first-years/white ice)*, мощностью до 70 см, *однолетний лед средней толщины (Medium first year ice)* от 70 до 120 см и *толстый однолетний лед (Thick first year ice)*, с толщиной более 120 см.

- *Старые льды (Old ice)* – льды, не успевшие растаять в течение хотя бы одного лета. Толщина старых льдов зависит от климатических условий, его рельеф более ровный, чем у однолетних льдов.

Старые льды бывают *остаточными однолетними*, толщиной до 180 см, *двухлетними (Second-year ice)* до 2.5 м и *многолетними (Multi-year ice)* с мощностью более 3 м. К последним относятся льды, не тающие более двух лет, они почти не имеют в своем составе солей. Голубой цвет наиболее характерен для них. Двухлетние и многолетние льды часто образуют снежницы, которые способны формировать собой узор на двухлетнем льду.

Существует множество классификаций морского льда, в том числе по степени торосистости, которая оценивается по пятибалльной шкале, ведь совершенно ровной поверхности льдов не бывает. Существует также деление льдов по степени разрушенности и заснеженности.

Глава II. Морской ледяной покров Южного океана

2.1. Физико-географическое описание

Южный океан (рис.1) - водное пространство, омывающее берега Антарктического материка. Как самостоятельный водный объект он был выделен СССР во второй половине XX века, что стало причиной выпуска отдельного «Атласа Антарктики» в 1966г. Международное признание термин «Южный океан» получило лишь в 2000 году. [4]

Его северной границей принято считать зону южной субполярной конвергенции, что проходит примерно по параллели 60° ю.ш и в течение года меняет область своего распространения ввиду сезонной изменчивости. Площадь Южного океана равна 20,3 млн км², что составляет 5,6% от общей площади Мирового океана. Объем его вод приравнивают к 60 млн км³. [5]

В акваторию Южного океана входят 13 морей: море Уэдделла, Скоша, Беллинсгаузена, Моусона, Росса, Амундсена, Рисер-Ларсена, Дейвиса, Лазарева, Космонавтов, Содружества, Дюрвиля и Сомова.

Рассматриваемый океан имеет сложный рельеф дна. Он состоит из подводной окраины Антарктиды, которую можно поделить на восточную (досреднепроторозойская платформа) и западную (складчатая платформа герцинского и альпийского возраста), малой части подводной окраины Южной Америки, ложа океана, и принадлежащих к нему котловинами и срединно-океаническими хребтами. Средняя глубина Южного океана составляет 3270 м, а максимальная - 8325 м (Южно-Сандвичевый желоб). [6]

Распространение донных отложений Южного океана имеет явную зональность. Подводная окраина материка представлена айсберговыми отложениями, при удалении от

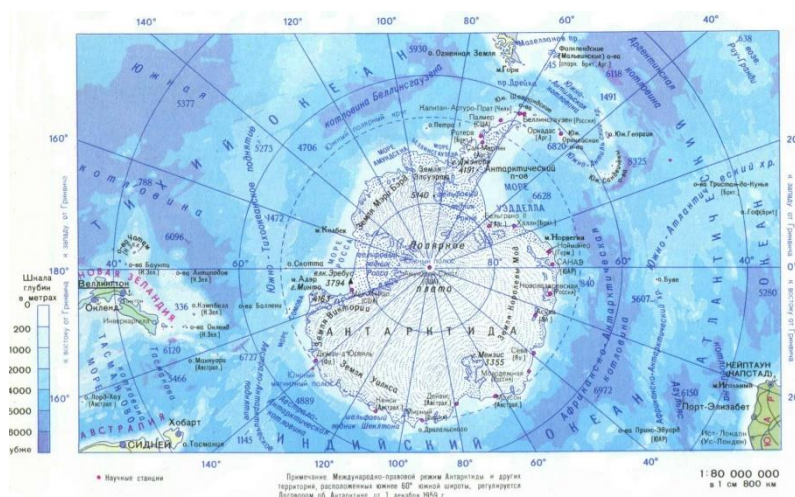


Рисунок 1. Карта Южного океана (<http://gturs.com>)

берега они сменяются на кремнистые диатомовые илы, а на срединных хребтах преобладают фораминиферовые донные отложения.

В район Южного океана попадает множество мелких островов всех основных типов: материковые (о.Петра I, о.Скотта и о.Баллени), океанические (о.Маккуори), острова переходной зоны (о. Южная Георгия) и островные дуги (Южно-Сандвичевские о-ва). Большинство образовались за счет вулканической деятельности, такой тип островов широко распространен в пределах срединно-океанических хребтов. Значительная часть островов Южного океана охвачена оледенением и характеризуется безлесьем.

Формирование климата Южного океана обусловлено его географическим положением - на севере он граничит с теплыми водными массами Атлантического, Индийского и Тихого океанов, а на юге соприкасается с берегами холодного материка и его ежегодным стоком. В прибрежной части климат антарктический, а в открытом океане является субантарктическим.

Количество поступающей солнечной радиации невелико, оно составляет 1 ккал/см²*мес. По 60° ю.ш. проходит изолиния отрицательного радиационного баланса в июле. Июль является самым холодным месяцем в году и его средняя температура воздуха равна -24° С в прибрежной зоне и близка к 0 °С в открытом океане, а в январе, в самом теплом месяце, средняя температура составляет +3 °С на 60 параллели, у берегов Антарктиды это значение сменяется на +9 °С. Влажность над данной акваторией довольно высока (87%).

В течение всего года Южный океан находится под влиянием циклонической деятельности, что ведет к быстросменяющейся скорости ветра и к штормам. На широту 60° приходится пояс наиболее повторяющихся циклонов, фронтов и вихрей, что является причиной максимального количества облачности (8-9 баллов). Повторяемость солнечных дней в году составляет всего 20%. Осадки выпадают в течение всего года, и их сумма может достигать 1000 мм, максимальное количество выпадает за июль-август.

Температура поверхности океана подчиняется географической зональности, ее амплитуда остается незначительной в течение года. Зимой температура у побережья Антарктиды равна -1.8- -1.9 °С, при удалении от материка температура повышается до 0 °С. В летний сезон она колеблется от 0.5 до 1 °С.

Для поверхностных вод Южного океана характерно увеличение солености с юга на север, однако ее градиенты невелики. В среднем соленость здесь меньше, чем ее среднее значение в Мировом океане. Величина солености приантарктической зоны близка к 33.0 – 34.2‰ из-за процессов ледообразования, а на северной границе океана колеблется 33.9-34.0 ‰. В летний сезон соленость уменьшается из-за стока с Антарктиды, поэтому возникает поверхностный тонкий слой распресненных и прогретых вод. [7]

При росте солености и температуры происходит понижение содержания растворенного кислорода в Южном океане. Максимальные значения приходятся на прибрежную зону и составляют 7.5 мл/л. С глубиной концентрация понижается до 4.5 мл/л на горизонте 700 м, после чего его снова возрастает до 5 мл/л у дна.

Для Южного океана также характерно большое содержание кремния в поверхностных водах, в отдельные годы у берегов Антарктиды его концентрация может превышать 50 мкг/л.

По вертикали толщи воды Южного океана с наиболее схожими физическими и химическими свойствами делят на следующие водные массы:

- *Антарктическая поверхностная водная масса*, образующаяся между материком и зоной конвергенции с глубинами до 300 м. Для нее характерны воды с температурой $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ у материка и $+4$ на северной границе со средней соленостью 33.8 ‰. В зимний сезон водная масса вследствие перемешивания остается однородной, а в летний период в результате прогревания формируется слой глубиной 50 м с температурой $0.6-2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соленостью 34.79 -34.06 ‰.
- *Антарктическая шельфовая водная масса* формируется вследствие вертикальной зимней конвекции, и выделяется отдельно от поверхностной из-за более низкой температуры ($-0.5 - -1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокой солености (34.40-34.37‰). Она покрывает всю прибрежную часть Южного океана.
- *Циркумполярная водная масса* по своему объему преобладает над остальными. Она залегает между горизонтов от 200 до 5000 м, однако в Южном океане нижняя граница – 2000 м. Ее отличительная особенность – сравнительно высокая температура от 0 до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соленость выше, чем в поверхностных слоях – 34.6‰.

- *Антарктическая донная водная масса* располагается между циркумполярной водной массой и дном океана. Температура таких вод достаточно низкая – от -0.2°C , а соленость высокая, что и определяет ее высокую плотность, и как следствие глубинное расположение. Считается, что ее образование связано со стекающей с материкового склона смешанной циркумполярной воды различной природы.

Между зонами преобладания Восточных и Западных ветров находится область пониженного давления, где часто встречаются шторма, сменяющиеся зыбью. В зоне Восточных ветров в свободных ото льда районах высота волн является небольшой - 1.5 м. При сильных штормах волны могут достигать 8-9 м.

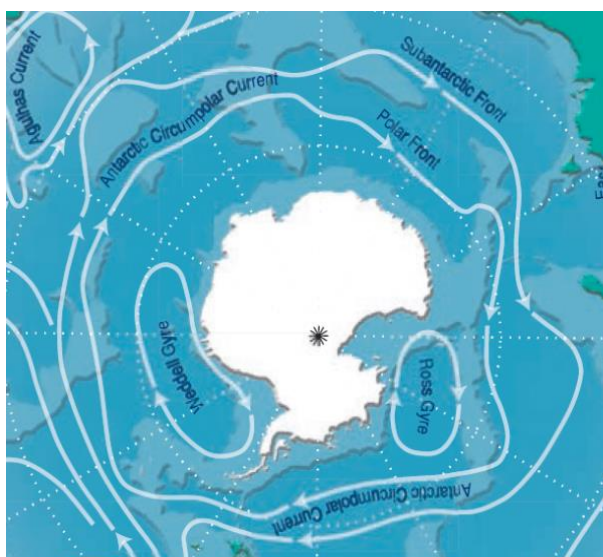


Рисунок 2. Система течений Южного океана (<http://www.antarctica.gov.au>)

Поток течений в Южном океане является сложным. Главным источником образования течений служит ветровое воздействие, поэтому морские течения имеют преимущественно циклонический характер, т.е. переносят воды по часовой стрелке в Южном полушарии.

Основным течением является *Антарктическое Циркумполярное течение* (АЦТ), протекающее с запада на восток вокруг всего континента. АЦТ соединяет Атлантический, Тихий и Индийский океаны, создавая глобальную сеть океанических течений (конвейер), которая распределяет тепло и влияет на климат планеты в целом. [8] Атлантическое Циркумполярное течение переносит до 150 млрд литров воды в секунду и охватывает всю толщу воды до горизонта 3000м. В поверхностном слое течение вызвано деятельностью *Западных ветров*. Скорость переноса убывает с глубиной от 25-30 см/с до 5 см/с у дна. Течение считается холодным, однако его температура выше средней температуры Южного океана и составляет $+1-2^{\circ}\text{C}$. АЦТ переходит в Фолклендское и Бенгальское течения в Атлантическом океане, Западно-Австралийское в Индийском и в Пуруанское в Тихом. Изменчивость течений в системе АЦТ определяется наличием приливных, инерционных и синоптических колебаний уровня.

Антарктическое прибрежное течение также оказывает влияние на Южный океан. Оно переносит теплые воды с небольшим содержанием кислорода параллельно с береговой линией Антарктиды под действием восточных ветров и является противотечением АЦТ. Продвигаясь на юг, водные массы поднимаются к поверхности. Средняя скорость течения оценивается в 5-10 см/с. [9]

В Южном океане существует два круговорота – Росса и Уэдделла. Они протекают по часовой стрелке. Их особенностью является наличие льдов в центральных частях круговоротов, также за счет апвеллинга данные районы обладают высокой биопродуктивностью.

Приливные течения Южного океана до сих пор слабо изучены. Они имеют неправильный полусуточный характер, за исключением моря Росса, где преобладают неправильные суточные приливы. В открытом океане приливы не превышают 1.2 м, наибольшие высоты приходятся на северную часть Южного океана: у Берегов Аргентины прилив может достигать 8 м. У берегов Антарктиды максимальная величина прилива наблюдается в море Уэдделла под шельфовым ледником Ронне, где амплитуда прилива достигает 30 см. [10]

По видовому составу и численности живых организмов Южный океан опережает Северный Ледовитый и способен соперничать с водами тропических широт. Флора представлена преимущественно водорослями-макрофитами, число их видов увеличивается при удалении от берега от 40 до 90. Большую массу фитопланктона составляют диатомовые водоросли, а зоопланктона - веслоногие ракообразные.

Многие нектонные организмы способны преодолевать большие расстояния, потому что посещают материк только в летний сезон для откорма. К нектону относят китов (синий кит, финвал, сейвал, горбач), антарктических рыб, например, около 50 видов окунеобразных, а также нототениевых (мраморная нототения, антарктический широколобик, антарктический клыкач). К животному миру можно также отнести тюленей (тюлень Уэдделла, тюлень-крабоед, морской котик) и таких птиц как буревестники, поморы и пингвины.

2.2. Ледяной покров

Ледяной покров образуется при достижении воды температуры замерзания. В пресных водоемах ледяной покров образуется раньше, а тает позже, чем в соленых. Толщина льда может нарастать с верхних, а также с нижних слоев поверхности: сверху лед может образовываться вследствие примерзания мокрого снега, а снизу - за счет теплоотдачи в атмосферу. Толщина ледяного покрова зависит также от нагрева поверхности, распределения скоростей течений, глубины водоема и других факторов.

Формирование ледяного покрова происходит под воздействием следующих процессов: образование морского льда при достижении температуры замерзания, его перенос под воздействие ветров и течений, а также торошение и сплочение, и в конечном итоге – разрушение, уменьшение его толщины и сплоченности.

Ледяной покров Южного океана обладает большой сезонной изменчивостью. Максимальное развитие ледообразования приходится на сентябрь-октябрь, где средняя площадь ледяного покрова составляет 13-14 млн км² (по данным NOAA), однако в самые ледовитые года это значение может достигать 18 млн км². Минимальную площадь льды занимают в январе-феврале (2-3 млн км²). Следует отметить, что вследствие климатических особенностей Южного океана условия для ледообразования сохраняются и в летний сезон, однако воздействие циклонических ветров и морская зыбь препятствуют развитию первичных форм льда у берегов материка.

Припай у берегов Антарктиды развит достаточно слабо из-за больших глубин, слабой изрезанности берегов, небольшим числом островов и отмелей в прибрежной зоне. Становление припая происходит осенью, в западной части материка промежуток между началом устойчивого ледообразования и становлением припая может составлять лишь несколько суток, в то время как в восточной части в отдельных случаях он составляет до 6 месяцев, это объясняется ассиметричным положением Антарктиды по отношению к полюсу. Формирование припая заканчивается в апреле-мае, после чего его ширина и мощность начинают увеличиваться в среднем от 25 до 50 млн км², его разрушение начинается с середины ноября и в декабре-январе составляет лишь 0.3 млн км². По толщине в течении года припай неоднороден. Пятая часть площади припайных льдов сохраняется в течение всего года, наиболее благоприятные условия для образования многолетнего припая наблюдаются в Атлантическом и Тихоокеанском секторе. В некоторых областях подо льдом весной и зимой образуется внутриводный лед в виде игл.

В Южном океане часто встречаются *полыньи* больших размеров. «Полынья - устойчивое, обширное пространство чистой воды, начальных видов льда, ниласа любой сплоченности или зона редкого льда других возрастных градаций среди ледяного покрова сплоченностью свыше 3 баллов либо между этим ледяным покровом и побережьем». [11] Полыньи наблюдаются вдоль всего побережья Антарктиды, их размер зависит от времени года и изменении синоптической ситуации. В зимний сезон тоже встречаются области открытой воды, что связано с глубинной конвекцией, например, полынья Уэдделла.

Севернее припая располагаются *дрейфующие льды*. Скорость и направление их движения определяются ветрами и циркуляцией поверхностных вод. Выделяют несколько систем закономерностей их перемещения. Вдоль берегов преобладает северный и северо-восточный дрейф, а в прикромочной зоне льды перемещаются в восточном направлении. Отсутствие северной материковой границы приводит к большой скорости дрейфа льдов, вследствие чего они перемещаются на север в более теплые воды, которые являются катализатором их таяния. Однако большая часть дрейфующих льдов не выходит за пределы Южного океана.

Широкое распространение получили *айсберги*, которые представляют собой обломки внешних краев шельфовых и водных ледников из-за воздействия волн зыби и цунами. Чаще всего откол айсбергов от шельфа происходит летом при вскрытии припая, но в некоторых случаях айсберг откалывается в зимний период, при этом он остается неподвижным до оттепели. Ученые насчитывают чуть менее 200 тыс. айсбергов, их средняя длина - 500 м, а высота - 50 м. Наибольшая концентрация айсбергов характерна для прибрежной зоны, это связано с мелководными дельтами. Скорость их дрейфа изменяется от 5 до 30 км/сут. На продолжительность их существования влияет множество факторов, которые связаны с погодными условиями их местонахождения. Разрушение айсбергов происходит неравномерно, поэтому они довольно неустойчивы и могут переворачиваться. В среднем айсберги существуют 6 лет, в отдельных случаях это число может достигать 13 лет.

В Южном океане существует три крупных *ледяных массива* – Атлантический, Тихоокеанский и Балленский. Они являются ледяными полями, обладающими наибольшей сплоченностью. В Южном океане ледяные поля имеют диаметр в несколько сотен метров, что намного меньше, чем на северном полюсе, связано это явление с прохождением циклонов и сильными ветрами, что образуют волны, зыбь от которых способна разламывать льдины. Ледяные поля могут сближаться и ударяться друг в друга,

тем самым образуя торосы, благодаря чему замедляется процесс таяния ледяного покрова даже в летний период.

Несмотря на это, доля многолетнего льда очень мала, в отличие от Арктики, где значительная часть ледяного покрова сосредоточена в районе Северного полюса. Вследствие этого в Южном океане средняя толщина морского льда составляет от 1 до 2 метров.

Глава III. Состояние ледяного покрова Южного океана за 2009-2018 г.

В последние годы проблема изменения климата находится в центре внимания научного сообщества. Смена климатических условий приводит к изменению температуры верхних слоев океана, толщины и площади льда, а также к изменению уровня моря.

Эпоха глобального потепления берет свое начало примерно 150 лет назад после окончания малого ледникового периода. За последние 100 лет средняя температура воздуха увеличилась на 0,7 °С. Однако, вопреки всеобщему мнению, площади ледяного покрова Южного океана за последние десятилетия не сокращаются.

До 1970-ых годов данные о морском льде в южном полушарии были довольно скудны – для предположения о величине площади льдов ученые использовали собранную информацию с научных судов, а также данные о китобойном промысле в середине XX века. [12] В настоящее время для расчета площадей и протяженности морского льда широко используются методы дистанционного зондирования. Они включают в себя измерения со спутников преимущественно в микроволновом диапазоне для расчета толщины и сплоченности, как активным способом, так и пассивным. Дистанционное зондирование также включает в себя сбор данных с летальных аппаратов в нижних слоях атмосферы, однако таким методом невозможно проводить постоянный мониторинг за ледяной обстановкой, в том числе и вследствие высоких экономических затрат.

Протяженность морского льда Южного океана характеризуются довольно большими колебаниями из года в год. По данным NSIDC площадь ледяного покрова за последнее десятилетие увеличилась на 1.8% или примерно на 219 000 км². [13] Однако, не смотря на увеличение объемов морского льда, материковый лед Антарктиды тает, в большей степени в ее западной части. Процесс таяния материкового льда не столь стремителен как в северном полушарии, и ученые предполагают, что уменьшение объемов ледяного покрова связано со стоком более нагретых талых вод.

За период с 2009 максимальная протяженность морского ледяного покрова наблюдалась в сентябре 2013 года и составляла 18.39 тыс. км², следует заметить, что в этот момент на северном полюсе были замечены рекордно низкие показатели концентрации морского льда. Минимальная протяженность ледяного покрова в Южном океане была зарегистрирована в феврале 2018 - 2.29 тыс. км². [14] В период с 2016 года

происходило заметное снижение морского льда вокруг Антарктиды. Толщина ледяного покрова на настоящий момент составляет в среднем 1 м, за счет того, что он не успевает нарасти за зимний период.

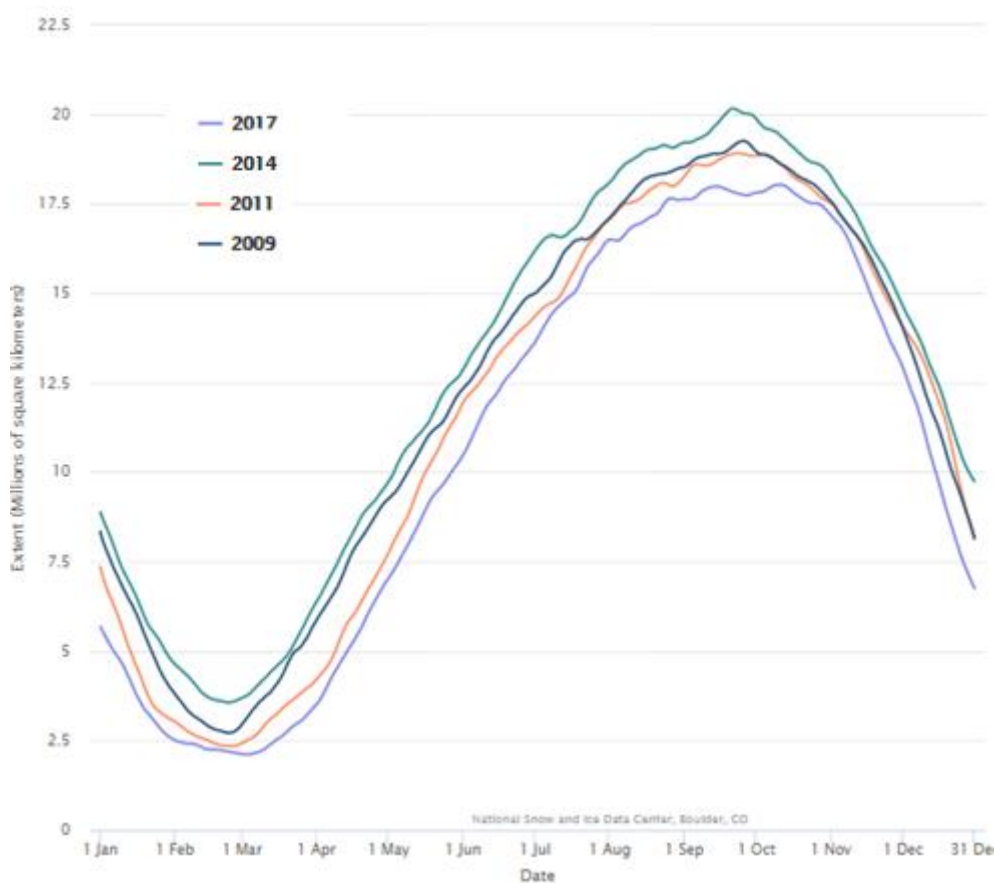


Рисунок 3. Площадь ледяного покрова Южного океана
(<http://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>)

На графике (рис. 3) показана изменчивость площади морского ледяного покрова Южного океана за 2009, 2011, 2014 и 2017 года. Можно заметить, что наименьшая площадь льдов наблюдалась в 2017 году, а наибольшая – в 2014 году. Максимальные значения приходятся в сентябре-октябре, а минимальные за летний период в феврале-марте.

Распределение морского льда вокруг Антарктиды в течение всего года не симметрично. В восточной части Антарктиды объем льда увеличивается, а на западе его концентрация понижается. Наибольшее содержание морского льда даже в летний период приходится на море Уэдделла в Атлантическом секторе, благодаря сравнительно небольшой глубине и широтному расположению данной акватории. Моря Беллинсгаузена, Содружества и центральная зона моря Росса являются практически свободными ото льда в летний период.

Ученые выделяют несколько возможных причин увеличения ледяного покрова Южного океана, вопреки росту температуры:

1. *Наличие озоновой дыры.* Как известно, озоновый слой не позволяет ультрафиолетовым лучам проникать ниже слоя стратосферы, оберегая живые организмы от его вредоносного воздействия. Однако вследствие антропогенного влияния, а так же отсутствию солнечного света в период полярных ночей содержания озона уменьшается. Этот процесс ведет к повышению температуры тропосферы и усиливает действие циклонов, в том числе оказывая влияние на силу и направление ветров.

Ветра, дующие с суши, переносят лед, образуя области открытой воды – полыньи, которые за короткий промежуток времени снова замерзают, увеличивая общую площадь морского ледяного покрова. Переносимые льды накладываются верхним слоем на однолетние тонкие льды, тем самым увеличивая их мощность, защищая их от воздействия волн и ветра и замедляя процесс таяния. [15]

2. *Выпадение осадков.* Действие циклонов также выражается выпадением осадков, которые могут достигать 1000 мм в год, как уже было замечено ранее. Осадки над Южным океаном и Антарктидой представлены в основном в виде снега. Снег может примерзать к верхней части льдов, увеличивая их толщину при уплотнении, а также образовывать снежуру при намокании. Однако доля снега в общем росте ледяного покрова слишком мала, чтобы считать его одной из причин данного процесса.

3. *Изменение вертикальной циркуляции вод.* Поверхностная Антарктическая водная масса имеет низкую температуру. При ледообразовании подо льдом скапливается рассол, вследствие чего плотность поверхностного слоя становится еще больше и начинает опускаться ниже. Ей на смену должна приходиться более теплая водная масса, способствующая таянию льдов снизу. Однако, благодаря увеличению выпадению осадков поверхностный слой распреснен. Поэтому поверхностный слой имеет намного меньшую плотность, чем нижележащий, и вертикальное перемешивание не происходит в полной мере из-за большого градиента. Теплообмен между данными слоями замедлен, поэтому процессы таяния морского льда протекают не так стремительно.

3.1. Методика обработки данных по площади и сплоченности морского ледяного покрова Южного океана с 2009 г.

Для анализа сплоченности морского ледяного покрова Южного Океана были обработанные данные по концентрации морского льда с января 2009 г по май 2018 г. Данные были получены микроволновым пассивным радиометром SMMR на спутнике Nimbus-7 и датчиков SSM/I-SSMIS на DMSP. Данные представлены на сайте NSIDC с временной дискретностью 1 месяц и пространственным разрешением 25x25 км.

Сырые данные, полученные со спутников, были преобразованы в формат «BIN» с использованием двух алгоритмов – NASA Team и Bootstrap.

	NASA Team	Bootstrap
Channels	19V, 19H, 37V	Frequency mode: 19V, 37V (seasonal ice) Polarization mode: 37V, 37H (perennial ice)
Methodology	Ratios of brightness temperatures	Interpolation between clusters of pure ice types
Tiepoints	Summer and winter only	Multi-seasonal
Strengths	Not sensitive to changes in surface temperature	Less sensitive to thin ice and layering within snow and ice
Weaknesses	Sensitive to thin ice and layering within snow and ice	Sensitive to changes in temperature (thin ice); tiepoints switch by date.
Regions of highest errors	Regions where melt or refreeze occurs; algorithm underestimates thin ice	Regions with very cold surface temperatures, such as the Antarctic coast in winter and central Arctic in winter

Таблица 1 Различия алгоритмов NASA Team и Bootstrap
(<https://nsidc.org/support/faq/what-difference-between-nasa-team-algorithm-and-bootstrap-algorithm>)

- *NASA Team* использует для расчета концентраций горизонтально- и вертикально-поляризованные каналы с частотой 19,4 ГГц и вертикально- поляризованный канал с частотой 37 ГГц. Сигналы отображаются на полярную стереографическую сетку, после чего происходит вычисление отношения поляризации (PR) и спектрального градиента (GR) по формулам: $PR = [TB(19V) - TB(19H)] / [TB(19V) + TB(19H)]$
 $GR = [TB(37V) - TB(19V)] / [TB(37V) + TB(19V)]$,
где TB- яркостная температура

По этим двум параметрам возможно рассчитать начальную (CF) и многолетнюю (CM) концентрацию льда:

$$CF = (a_0 + a_1PR + a_2GR + a_3PR * GR) / D$$

$$CM = (b_0 + b_1PR + b_2GR + b_3PR * GR) / D,$$

$$\text{Где } D = c_0 + c_1PR + c_2GR + c_3PR * GR$$

a,b,c - коэффициенты

Алгоритм NASA Team считает концентрацию ледяного покрова от 0 до 100 процентов. Однако, в некоторых случаях значения могут быть выше из-за превышения спектрального градиента. Это является следствием того, что за морской ледяной покров алгоритм также принимает наличие водяных паров над открытым океаном. Поэтому был введен *фильтр погоды*. Он основывается на допущении, что при значениях GR больше 0,07, концентрация в данной ячейке будет равна нулю. В результате значения общей концентрации льда менее 12% и 8% в открытом океане не учитываются в полученных спутниковых снимках.

Также ошибки при расчете концентраций могут возникать вследствие неспособности алгоритма различать более двух разных типов морского льда (недооценка нового льда) и чувствительности к сезонным и несезонным колебаниям коэффициента излучения морского льда - в теплое время года молодой лед становится неотличим от однолетнего льда, а полыньи принимаются за открытую ото льда акваторию.

К преимуществам алгоритма относят нечувствительность к изменению температуры из-за использования коэффициентов излучения – PR и GR. [16]

- *Bootstrap* использует только два микроволновых канала. Для районов, где большую площадь занимает однолетний лед, каналы 37H и 37V не позволяют в полной мере определить точки с наибольшей концентрацией льда. В некоторых случаях лед с высокой сплоченностью трудно отличить от смешанных типов льда и воды из-за наличия снежного покрова, затопления и шероховатости. Именно поэтому для расчета концентраций молодого однолетнего льда используются каналы с частотами 19V и 37V.

При вычислении концентраций алгоритм рассматривает не только одиночные типы льда, а также их комбинации. В общем виде формула расчета выглядит следующим образом:

$$C_i = (T_b - T_o) / T_i - T_o,$$

Где T_b – наблюдаемое значение яркостной температуры,

T_o и T_i - эталонные яркостные температуры для открытой воды и морского льда

Концентрация может быть рассчитана также для отдельной точки по формуле:

$$C = \{[(T_{1B} - T_{1o})^2 + (T_{2B} - T_{2o})^2] / [(T_{2i} - T_{2o})^2 + (T_{1i} - T_{1o})^2]\}^{1/2}$$

Наилучшие результаты алгоритм Bootstrap показывает в идеальных зимних условиях, когда присутствует только толстый лед и открытая вода.

К минусам данного метода обработки спутниковой информации относят чувствительность к увеличению температуры и к наличию пены – в этих случаях растут значения яркостных температур в некоторых районах. Фактические значения градиента льда около кромки могут быть выше, чем показывают расчеты вследствие изменения излучательной способности. Однако изменения температуры можно спрогнозировать, после чего отделить открытое водное пространство от районов, покрытых льдом. Изменения температуры имеют сезонный характер – в зимний период во время переходов от ледяного сала (отдельных кристаллов льда) до однолетнего льда излучательная способность поверхности меняется, такой же сдвиг наблюдается весной и летом. Несмотря на то, что вводится корректировка, ошибка все равно может достигать до 20%.

Следующая сложность заключается в нахождении угловых точек из-за снежного покрова, влажности, температуры и полыней. Угловые точки – вершины геометрической фигуры на двумерном участке рассеяния при разных типах поверхности. Предполагая, что каждая точка - чистый тип поверхности, можно интерполировать остальные ячейки внутри выделенной области. Если типов поверхности больше трех, включая открытую воду, то классификация будет не столь точна, поэтому данный алгоритм используют зачастую на региональной основе. [17]

Для обработки данных в формате «BIN» была использована программа *ArcGIS*, разработанная в Америке компанией ESRI (Environmental Systems Research Institute) в 1999 году. *ArcGIS* позволяет создавать базы данных, управлять ими, производить расчеты географической информации, строить карты и делиться полученной информацией. В структуре программы присутствует множество функций и инструментов, которые позволяют решать задачи с помощью пространственной и табличной визуализации.

Расчет площади и сплоченности морского ледяного покрова Южного океана по спутниковым данным производился в несколько этапов:

1. Подготовка данных к работе в ArcGIS

Чтобы открыть спутниковый снимок в ArcGIS необходимо перевести файл с бинарным форматом в растровое изображение. Перед этим создается файл-заголовок с аналогичным названием и с расширением «.hdr», внутри которого находятся следующие метаданные:

nrows 332 – количество строк матрицы растового изображения
ncols 316 – количество столбцов матрицы растового изображения
nbands 1 – спектральное разрешение (число каналов)
nbits 8 (NASA Team)/16 (Bootstrap) – радиометрическое разрешение
layout bil – организация каналов в файле изображения (bil -каналы разделены по строкам)
byteorder I – порядок байтов (I-прямой порядок)
skipbytes 300 – размер заголовка
ulxmap -3937500 – координата центра верхнего левого пикселя
ulymap 4337500
xdim 25000 – пространственное разрешение (м)
ydim 25000

Для перевода файла в растровый формат TIF необходимо воспользоваться конвертацией в разделе - Conversion Tools > To Raster > Raster to Other Format (multiple). В результате этой операции будет создан новый файл, готовый к работе.

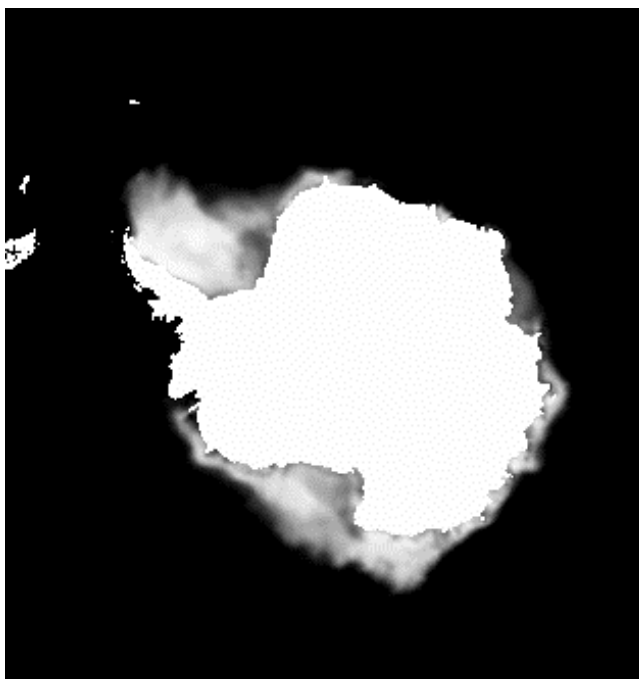


Рисунок 4. Пример полученного растрового изображения

2. Создание маски

Для того, чтобы исключить из расчетов материковый лед, требуется создать маску суши. Значение в области Антарктиды должны быть равным нулю, а области морского ледяного покрова и открытой воды – единице.

Процесс создания маски заключается в переклассификации значений пикселей. Чтобы узнать значение пикселя можно использовать инструмент Identify, и, наводя курсор на изображение, определить различия между материковым и морским ледяным покровом.

Для того, чтобы запустить процесс переклассификации необходимо перейти в Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify, затем открыть исходное изображение и ввести в поле новые значения пикселей для выбранных диапазонов (рис.5). Важно отметить, что в результате маска должна иметь такое же расширение, что и спутниковый снимок.

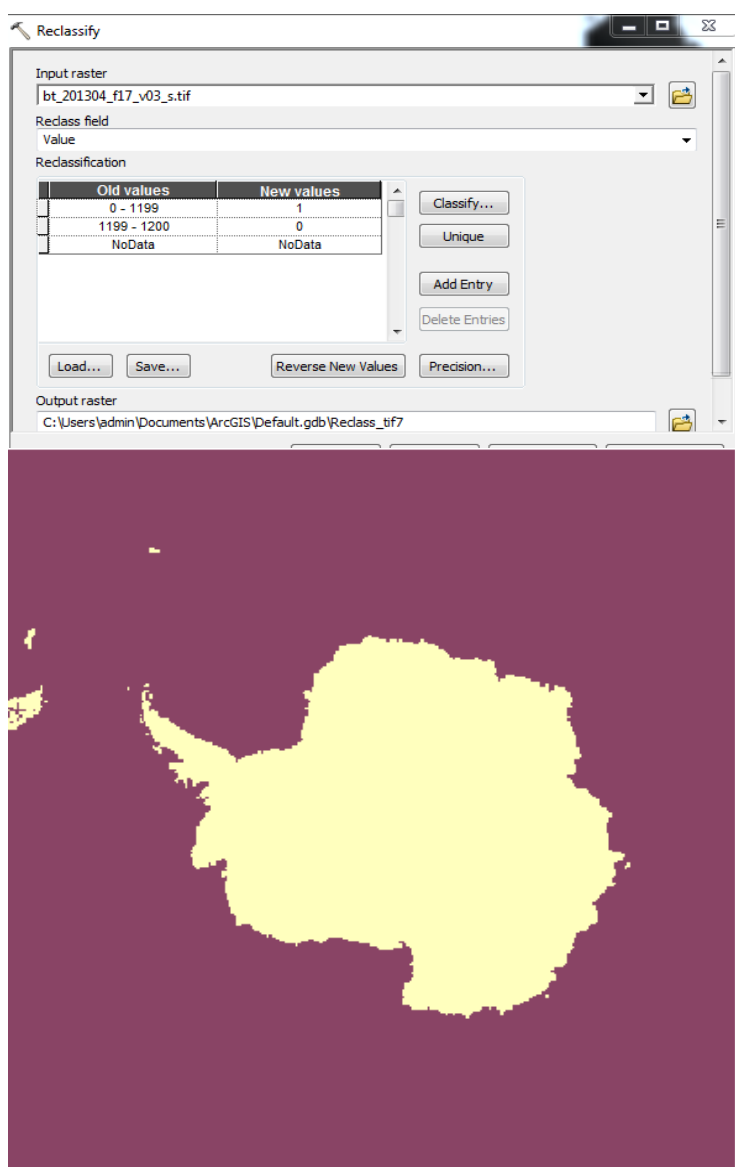


Рисунок 5 Переклассификация значений пикселей

(при условии, что 1200 - материковый лед)

Рисунок 6. Полученная с помощью переклассификации маска суши (суша=0, открытая вода и морской ледяной покров=1)

3. Умножение растра на маску

Чтобы произвести математические операции с растровым изображением можно воспользоваться калькулятором растра (Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator). В результате умножения растра на маску будет получено изображение только со значениями морского ледяного покрова:

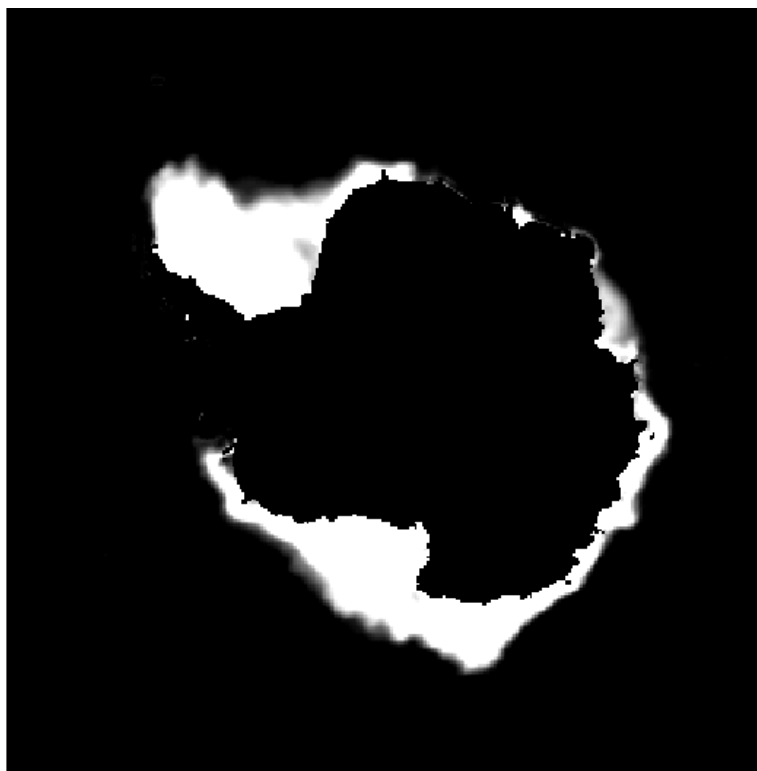


Рисунок 7. Результат умножения растра на маску

4. Преобразование растрового изображения в полигоны

Для расчета площади и сплоченности морского ледяного покрова необходимо преобразовать растровое изображение в полигоны с одинаковыми значениями пикселей (Conversion Tools > From Raster > Raster To Polygon). При этом для более точного разделения не следует упрощать полигоны. В результате будет получен shape-файл (рис.8), в таблице атрибутов которого можно производить расчеты площадей.

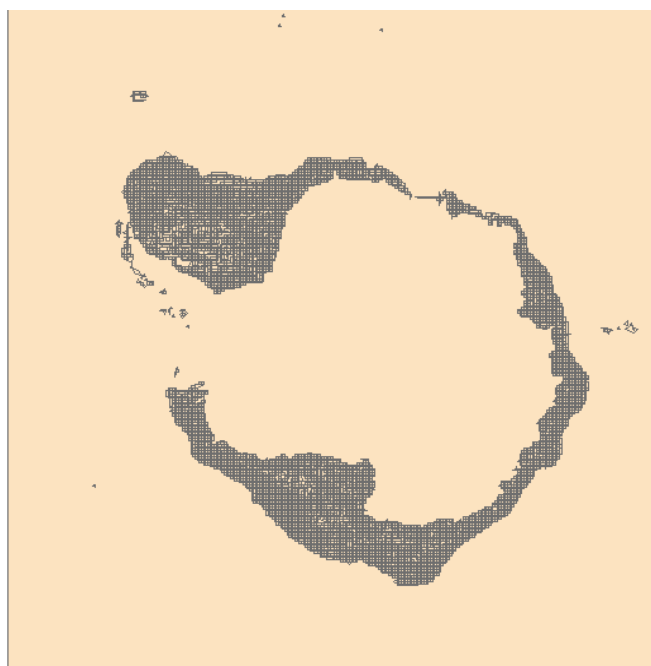


Рисунок 8. Результат конвертации растра в Shape-файл

5. Работа с таблицей атрибутов

Таблица атрибутов (табл.2) содержит в себе информацию по каждому объекту shape-файла:

- Id - порядковый номер объекта
- Shape – тип объекта (полигон, точка или линия)
- gridcode – концентрация льда (значение пикселя)
- Shape Length – протяженность полигона
- Shape Area – площадь полигона

OBJECTID *	Shape *	Id	gridcode	Shape Length	Shape Area	b	f
977	Polygon	977	124	100000	624999999,999814	0	0
978	Polygon	978	168	100000	624999999,999907	1	6,25
979	Polygon	979	202	100000	625000000	1	6,25
980	Polygon	980	232	100000	624999999,999907	1	6,25
981	Polygon	981	261	100000	624999999,999814	1	6,25
982	Polygon	982	272	100000	625000000	1	6,25
983	Polygon	983	275	100000	624999999,999907	1	6,25
984	Polygon	984	261	100000	624999999,999814	1	6,25
985	Polygon	985	238	100000	624999999,999907	1	6,25
986	Polygon	986	220	100000	625000000	1	6,25
987	Polygon	987	200	100000	624999999,999814	1	6,25
988	Polygon	988	185	100000	624999999,999907	1	6,25
989	Polygon	989	160	100000	625000000	1	6,25
990	Polygon	990	124	100000	624999999,999907	0	0
991	Polygon	991	89	100000	624999999,999814	0	0
992	Polygon	992	44	100000	625000000	0	0
993	Polygon	993	8	100000	624999999,999907	0	0
994	Polygon	994	3	100000	625000000	0	0
995	Polygon	995	15	100000	624999999,999814	0	0

Таблица 2. Таблица атрибутов ArcGIS

Необходимо создать два столбца и выбрать их типы на основе gridcode и Shape Area. С помощью Field Calculator в столбце b можно рассчитать сплоченность льда по 10-балльной шкале, используя формулу $b_i = \text{gridcode}_i * 10 / \text{gridcode}_{\text{max}}$. На основе полученных значений вычисляется площадь каждого полигона в км²: $f_i = \text{Shape_Area}_i * b_i / 10000000$.

Полученную таблицу необходимо экспортировать в формате «.dbf».

б. Суммирование площадей полигонов с одинаковой сплоченностью

Для того, чтобы рассчитать площадь морского ледяного покрова по его сплоченности была использована программа MS Excel. Суммирование производилось с помощью функции «СУММЕСЛИ».

На основе полученных данных были построены графики и выполнен их анализ.

3.2. Анализ полученных данных

После обработки данных были построены графики в программе STATISTICA 10 на основе алгоритмов NASA Team (рис. 9) и Bootstrap (рис. 10). По оси y отложена площадь ледяного покрова в км², а ось x отображает месяц измерения.

На обоих графиках хорошо прослеживается закономерность сезонных изменений – количество пиков соответствует числу представленных лет. Сезонная изменчивость площади морского ледяного покрова имеет большую амплитуду, вследствие интенсивного таяния в летний период начиная с октября по март.

За рассматриваемый период, максимальные значения площадей совпадают во времени и приходятся на август-октябрь, а минимальные отмечаются с февраля по март. Можно заметить, что наименьшая общая площадь льдов наблюдалась в феврале 2018 года -1,64 млн км² (NASA Team (NT)), а наибольшая – в сентябре 2014 -16.31 (NT)/ 18,45 млн км² (Bootstrap).

Несмотря на то, что площадь морского ледяного покрова на рис. 10 выше, на обоих графиках хорошо прослеживается одинаковая тенденция – наиболее ледовитым годом являлся 2014, после которого по настоящее время площадь ледяного покрова несколько снижается. Многие ученые связывают этот процесс с остаточным действием Эль-Ниньо 2015 года, которое повлияло на циркуляцию ветра и океанические течения. [18]



Рисунок 9. Общая площадь ледяного покрова Южного океана (NT)



Рисунок 10. Общая площадь ледяного покрова Южного океана (Bootstrap)

На следующих графиках (рис.11-12) видно, что в течение года доминирует ледяной покров с высокой сплоченностью (8-10 баллов).

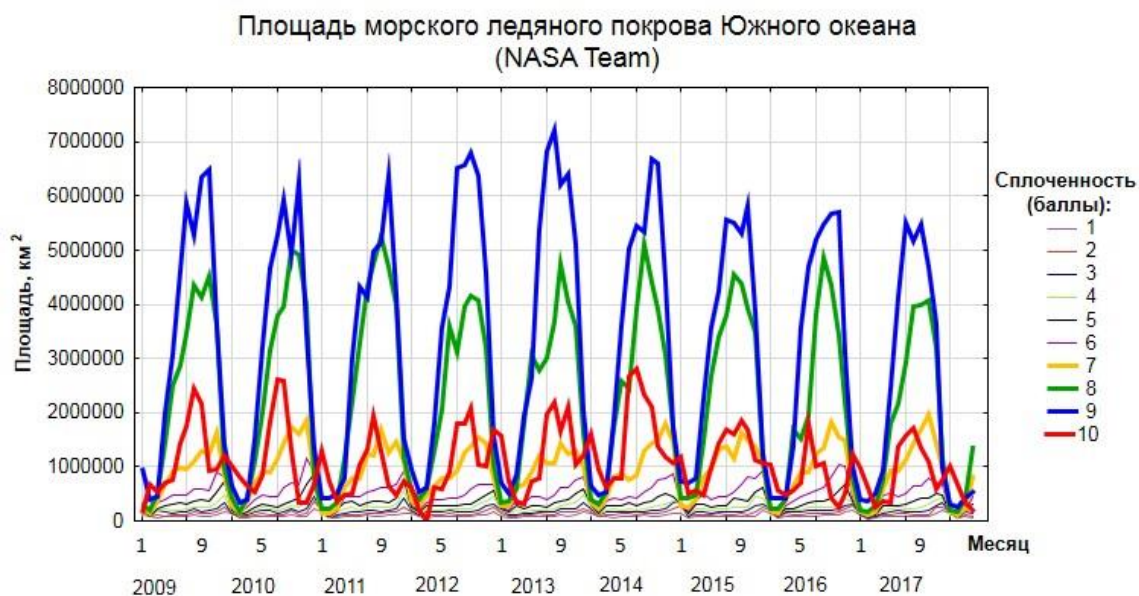


Рисунок 11. Площадь морского ледяного покрова (NASA Team)



Рисунок 62. Площадь морского ледяного покрова (Bootstrap)

На рисунке 11 можно заметить, что вследствие занижения концентрации льда алгоритмом NT из-за содержания водяного пара преобладают площади со сплоченностью 9 баллов. Однако, с января по март бóльшие площади занимает лед с максимальной концентрацией. В то время как на рисунке 12 в течение всего года преобладает ледяной покров со сплоченностью 10 баллов.

При анализе данных NASA Team, можно заметить, что в июле 2014 года наблюдалась наивысшая концентрация льда – 2.8 млн км². Максимальные площади со сплоченностью 9 баллов отмечались в августе 2013 года, они составили 7.2 млн км². Акватории, на которых преобладает лед со сплоченностью 1-6 баллов составляют около 12 % от общей площади льда.

По данным, отображенным на графике 11, максимальная концентрация льда в Южном океане приходилась на сентябрь 2013 года – 11,9 млн. Лед со сплоченностью 1-6 баллов занимает лишь 3% от общей площади, в то время как ледяной покров с максимальной сплоченностью 10 баллов покрывает более 70%.

Анализируя оба графика, можно обнаружить, что различия между ними существенны, и наиболее правдоподобные результаты по сплоченности получены при обработке спутниковых данных алгоритма Bootstrap вследствие преобладания более высокой концентрации в течение всего года и отсутствия аномалий. Тем не менее, для расчета общей площади принято пользоваться данными NASA Team, так как они менее чувствительны к изменениям температуры и наличию морской пены, тем самым не завышают значение площадей.

Заключение

Целью данной работы являлся обзор состояния ледяного покрова Южного океана с определением тенденций изменений в 2009-2018. На пути к этой цели были рассмотрены основные свойства морского льда, его виды и также различные методы сбора информации о состоянии морского ледяного покрова и методики ее обработки. При написании данной работы была использована как научная литература, так и материалы, опубликованные на Интернет-ресурсах.

В первой главе были рассмотрены основные свойства морского льда, а также его классификация по ряду признаков. Было выявлено, что морской лед, в отличие от пресноводного, имеет в своем составе также пузырьки воздуха и рассол, что определяет его физические и механические свойства – соленость, плотность, теплоту плавления, теплопроводность и теплоемкость, а также деформацию. По возрасту морской лед делят на 8 групп, от ледяных игл (отдельных кристаллов в воде) до старого многолетнего льда, который сохраняет свои площади более одного года. Еще одной немаловажной характеристикой морского льда является его сплоченность, которая измеряется по десятибалльной шкале.

Следующая глава посвящена Южному океану – его физико-географическому описанию и описанию особенностей его морского ледяного покрова. Южный океан обладает высокой сезонной изменчивостью, вследствие чего преобладают однолетние льды. Географическое положение океана и его метеорологические условия способствуют быстрому нарастанию морского ледяного покрова.

В третьей главе рассмотрено современное состояние морского льда, увеличение занимаемой им площади, а также возможные причины, вызывающие этот процесс – уменьшение концентрации озона в атмосфере, выпадение осадков и замедление вертикальной циркуляции. Были обработаны данные по спутниковым снимкам для вычисления площади морского ледяного покрова и его сплоченности. Было выявлено, что для расчета концентраций морского ледяного покрова предпочтительнее использовать данные, полученные алгоритмом Bootstrap, нежели NASA Team, который занижает показатели сплоченности. Практическая ценность обработки полученных материалов видится в возможности выделения закономерностей и их дальнейшего использования для прогнозирования изменений морского ледяного покрова в будущем.

На данный момент существует множество моделей, использующие данные спутниковых измерений, как входную информацию, для определения тенденций дальнейших изменений площадей ледяного покрова Антарктиды и морского льда Южного океана, а также для выявления причин и взаимосвязей с другими географическими процессами.

Большинство моделей до настоящего момента прогнозировали небольшое снижение морского ледяного покрова в течение следующего десятилетия в большей степени вследствие увеличения парниковых газов в атмосфере, однако это расходится с фактическими значениями. Но, тем не менее, климатические модели допускают, что наблюдаемое увеличение антарктического морского льда не выходит за пределы естественной изменчивости.

По результатам изученных в работе вопросов, можно сделать вывод, что на изменение ледяного покрова оказывают влияние множество факторов. Полученные знания могут быть полезны при выполнении практических работ, в частности, навигационных и синоптических задач, судоходства и проведения научных экспедиций.

Используемые материалы

- [1] Доронин Ю.П. Физика океана. СПб.: РГГМУ, 2000, 305 с
- [2] Жуков Л.А. Общая океанология. Л.: Гидрометиздат, 1976, 376 с
- [3] <http://biofile.ru/geo/60.html>
- [4] Трешников А.Ф. История исследования и открытия Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1963, 456 с
- [5] https://ru.wikipedia.org/wiki/Южный_океан#cite_note-bre-3
- [6] Капица, П. А. Заключение к 6-ти томной монографии География Мирового океана // География Мирового океана. Том Северный Ледовитый и Южный океаны. А.П. Капица, П. А. Каплин, С.С. Сальников. Л.: Наука, 1985, 501 с.
- [7] <https://geographyofrussia.com/doklad-yuzhnyj-okean/>
- [8] <http://www.antarctica.gov.au/magazine/2001-2005/issue-4-spring-2002/feature2/the-southern-oceans-global-reach>
- [9] <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/southern/antarctic-coastal.html>
- [10] <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6110>
- [11] <http://www.aari.ru/resources/m0033/p.htm>
- [12] William, K. de la Mare. Changes in Antarctic sea-ice extent from direct historical observations and whaling records // Springer Science, 2008. Vol. 92. С. 461- 493.
- [13] <http://nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/difference.html>
- [14] <ftp://sidads.colorado.edu>
- [15] David W. J. Thompson, Susan Solomon. Interpretation of Recent Southern Hemisphere Climate Change // Science, 2002. Vol. 296. С. 895-899.
- [16] <https://nsidc.org/data/pm/nasateam-index>
- [17] <https://nsidc.org/data/pm/bootstrap-algorithm>
- [18] <http://nsidc.org/arcticseaicenews/faq/#antarctic>.

Приложение

Результаты расчетов площадей и сплоченности морского ледяного покрова Южного океана

1. NASA Team

2009												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	120250	76125	71625	75125	95000	86750	94375	102875	95125	93000	104062,5	167125
2	177375	84875	118000	100750	119375	127000	128125	168500	133750	142625	158875	252250
3	261000	100125	193312,5	160125	153375	164062,5	177000	216937,5	177750	192187,5	237562,5	349687,5
4	239750	100000	208500	218750	212500	208500	235000	267750	262750	261750	341750	486500
5	289062,5	96562,5	226562,5	280312,5	299687,5	332187,5	310312,5	370000	382187,5	362500	528125	725937,5
6	330750	111375	335250	382125	477375	493125	468750	588750	606000	565500	898500	816000
7	278687,5	155312,5	365312,5	667187,5	907812,5	991812,5	948937,5	1104687,5	1289750	1248187,5	1627500	855312,5
8	314500	202000	507000	1429000	2489000	2859000	3455000	4340000	4133500	4513500	3614000	979500
9	995625	392625	453937,5	1992937,5	3073500	4611937,5	5867437,5	5286375	6340500	6481125	3630375	1407375
10	152500	678125	542500	693125	747500	1435000	1735625	2437500	2160625	940000	956875	1198750
	3159500	1997125	3022000	5999437,5	8575125	11309375	13420562,5	14883375	15581937,5	14800375	12097625	7238437,5
2010												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	153875	67062,5	63937,5	85875	97500	91062,5	80812,5	86437,5	112750	84187,5	97687,5	215437,5
2	135625	88625	78500	124125	151000	125125	111875	118625	194000	121000	146750	356375
3	141750	103125	104625	158812,5	209437,5	187687,5	150937,5	166500	240562,5	171187,5	231937,5	460687,5
4	173000	105250	144750	196500	250250	233750	197000	223500	277750	251250	372750	596250
5	191875	126250	179687,5	245625	311562,5	297187,5	266562,5	320000	356875	424375	687812,5	871875
6	219000	169500	268875	388875	481125	444375	441375	612750	702750	669750	1144500	938250
7	294875	154875	372312,5	702187,5	903437,5	892500	1167687,5	1437187,5	1746500	1610437,5	1846250	852250
8	432000	164000	423000	1100500	1991000	3140500	3788500	3949500	4996500	4920500	3987000	808000
9	636750	327375	395437,5	1512000	3202312,5	4658062,5	5292000	5916375	4924687,5	6269062,5	3444750	1346062,5
10	1015000	829375	645000	525000	848750	1818750	2625000	2583750	1331875	331875	328750	671250
	3393750	2135437,5	2676125	5039500	8446375	11889000	14121750	15414625	14884250	14853625	12288187,5	7116437,5
2011												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	166375	45375	58500	80000	86562,5	86375	101250	95312,5	89437,5	111812,5	126187,5	141562,5
2	192625	46750	86875	119000	122625	127500	143000	140875	129375	159875	182500	250125
3	191250	52312,5	106125	149812,5	169125	163687,5	199687,5	197062,5	180000	204937,5	239062,5	423562,5
4	144000	54250	168250	238750	246500	198000	277000	254750	247250	247500	325250	567000
5	145312,5	76250	221562,5	337187,5	368125	284375	352500	360312,5	363437,5	334062,5	431562,5	749375
6	156375	90750	175125	447000	463875	444000	535125	553500	622500	606750	664125	928875
7	142625	133000	227062,5	620812,5	777875	799750	1231125	1223250	1683937,5	1263500	1466937,5	1090250
8	237500	220000	347000	1143000	2194000	3289000	4327000	4752500	5255500	4691000	3975000	1194500
9	428062,5	429750	496125	796500	3000375	4313250	4131000	4960125	5146312,5	6372562,5	4174312,5	1508625
10	1293125	730000	378125	475625	502500	1035000	1334375	1926250	1301250	654375	472500	728750
	3097250	1878437,5	2264750	4407687,5	7931562,5	10740937,5	12632062,5	14463937,5	15019000	14646375	12057437,5	7582625
2012												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	132125	82750	63437,5	74812,5	85000	89062,5	80000	90812,5	82937,5	106875	118937,5	159750
2	160750	106750	117125	125625	119375	136250	123375	125375	119375	153125	211250	258500
3	189937,5	117187,5	181125	172687,5	159187,5	192187,5	165375	174562,5	166687,5	210375	271687,5	306750
4	216250	140750	222750	201500	209500	232500	221250	228500	228250	311000	380500	446750
5	256875	167500	289375	275625	271562,5	283750	277500	302187,5	323750	398437,5	471250	572812,5
6	292875	193500	350250	383250	406125	436500	427125	481500	583500	688500	678375	690375
7	363125	264687,5	486937,5	639187,5	795812,5	782687,5	933187,5	1256500	1392125	1544375	1433250	781375
8	552500	387000	585000	1301500	2056000	3603000	3116500	3959000	4160000	4076500	3214000	1054000
9	964125	549000	627187,5	1788750	3568500	4317750	6511500	6573375	6791625	6364687,5	4577062,5	1571625
10	631875	210000	3125	630625	604375	905000	1809375	1805625	2072500	1034375	1025000	1698125
	3760437,5	2219125	2926312,5	5593562,5	8275437,5	10978687,5	13665187,5	14997437,5	15920750	14888250	12381312,5	7540062,5

2013												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	91562,5	58875	59625	78125	78312,5	90375	82312,5	95000	101750	98375	106250	163687,5
2	139625	85250	79500	114875	120375	133750	118000	128625	159125	158125	166375	240125
3	186000	116062,5	114000	139312,5	152437,5	168375	161062,5	175875	221062,5	234750	218812,5	328312,5
4	201250	131250	196500	173250	202250	208000	203250	238500	288250	298750	336250	468750
5	226562,5	168125	273750	231875	280000	292500	261562,5	332812,5	379687,5	384375	507500	586562,5
6	264750	199500	406125	336375	441000	450750	402750	479625	614625	608250	758625	802875
7	277375	269937,5	626937,5	674187,5	887250	1196125	1074500	1071875	1431937,5	1246000	1292375	1023312,5
8	347500	354500	580000	1812000	3073500	2770000	2996500	3685000	4743000	4052000	3586000	1638000
9	706500	497812,5	835875	1932750	2636437,5	5372437,5	6815812,5	7203375	6203250	6409687,5	5115937,5	2064375
10	1576250	741875	340625	298125	722500	791250	1980000	2178750	1647500	2111250	1048125	1205625
	4017375	2623187,5	3512937,5	5790875	8594062,5	11473562,5	14095750	15589437,5	15790187,5	15601562,5	13136250	8521625
2014												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	130375	77062,5	81625	72875	92437,5	85375	97937,5	104125	96562,5	93500	117562,5	148125
2	178500	92875	122625	115500	133875	136750	125375	142375	155750	137625	171250	227375
3	233437,5	114562,5	165562,5	165562,5	164250	172500	165562,5	173062,5	193875	189562,5	222375	337687,5
4	273000	124250	209750	215500	207500	234000	211250	237750	255750	291500	235000	362500
5	320312,5	145000	281562,5	285000	284375	330625	293437,5	340000	362812,5	438750	496562,5	441250
6	322875	175500	359625	424500	399000	441750	423375	524250	613875	771750	777000	866625
7	343875	228375	435750	825562,5	876750	766500	846562,5	1298937,5	1428437,5	1487937,5	1796375	1449437,5
8	403000	308000	535500	1705500	2589000	2456000	3905500	5101500	4410000	3902000	3051500	1722000
9	659250	468562,5	540562,5	1865250	3596062,5	5026500	5450625	5348812,5	6674062,5	6610500	4449375	1731375
10	1597500	959375	611250	789375	801875	2682500	2820000	2321250	2114375	1391250	1178750	1080625
	4462125	2693562,5	3343812,5	6464625	9145125	12332500	14339632	15592062,5	16305500	15314375	12585750	8367000
2015												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	140375	69187,5	75000	82000	82000	91125	88125	91125	89437,5	98875	99312,5	195062,5
2	286125	79125	111875	122500	113125	129625	114375	126125	134750	129000	159500	269375
3	374250	97125	177750	174000	155062,5	171562,5	165937,5	176812,5	184875	187687,5	273562,5	323062,5
4	352750	119750	225250	226000	189750	219000	218000	260000	252000	252500	452000	414750
5	304062,5	139375	302812,5	299687,5	243437,5	286562,5	290625	411875	388750	371875	549375	630937,5
6	340125	183000	355125	512250	401250	438375	450750	547875	664125	826875	799125	916125
7	290062,5	256812,5	406875	820750	955937,5	1314687,5	1389937,5	1155437,5	1623125	1493187,5	1387750	1056125
8	410500	430500	492500	1453000	2668000	3401000	3804500	4550000	4386000	3937500	3495000	1136500
9	732375	702000	776250	2248312,5	3570750	4231125	5565937,5	5493375	5319000	5819625	3882375	1242562,5
10	1193750	501250	554375	493750	981875	1435000	1675625	1611250	1864375	1691875	1120000	1060000
	4424375	2578125	3477812,5	6432250	9361187,5	11718062,5	13763812,5	14423875	14906437,5	14809000	12218000	7244500
2016												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	148812,5	51125	76437,5	74750	84187,5	94625	93812,5	104375	112687,5	104750	169937,5	200812,5
2	189500	69500	133375	108000	128875	142375	149250	147625	155125	161875	234625	286250
3	226500	86062,5	167250	164250	169125	195187,5	195000	187875	208500	218437,5	281625	321187,5
4	208750	104750	192750	205500	205750	253000	264250	241750	267750	329000	424000	346250
5	190312,5	113437,5	215312,5	215625	280937,5	329062,5	363437,5	360625	430937,5	566875	674687,5	371250
6	202500	112125	288375	368625	438000	495750	567000	614625	829125	1042125	1019250	455250
7	206062,5	147875	391125	636125	911750	896437,5	1228500	1356687,5	1816062,5	1543937,5	1484875	602437,5
8	232500	214500	395000	1696000	1531000	1937000	3809000	4857000	4359500	3425000	2180000	792500
9	432000	423000	433687,5	1382062,5	3558937,5	4689562,5	5193000	5469187,5	5681812,5	5699250	3112312,5	1004062,5
10	1043750	553750	490000	559375	698125	1801250	1022500	1073750	433750	264375	503750	1240000
	3080687,5	1876125	2783312,5	5410312,5	8006687,5	10834250	12885750	14413500	14295250	13355625	10085062,5	5620000
2017												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	110375	35562,5	65937,5	79875	77437,5	83625	92375	87625	80437,5	81250	142312,5	186000
2	147000	50125	84875	110000	117125	152375	131125	126875	127750	127250	257750	245250
3	174375	63375	97125	156562,5	160875	194250	166125	167437,5	164250	208687,5	297375	343875
4	150000	77250	114750	196000	227500	241750	223250	230750	248250	302750	385750	419250
5	118750	81875	117187,5	279687,5	295625	293125	301562,5	360000	421562,5	413750	498125	480000
6	137250	95625	141375	476250	518625	456000	505125	642000	662250	796875	694875	670875
7	162312,5	112875	162312,5	596312,5	940187,5	920500	1117812,5	1447687,5	1673875	1973125	1420562,5	990500
8	207000	161000	283500	771000	1785500	2171500	2917000	3971500	4002500	4078000	3198500	1174000
9	405562,5	363375	509625	915187,5	2458125	4124250	5510812,5	5155875	5483812,5	4688437,5	3644437,5	993937,5
10	996875	625625	261250	356250	342500	1372500	1565625	1716875	1357500	1101875	585000	753750
	2,54	1,63	1,81	3,9	6,83	9,81	12,26	13,53	13,84	13,4	10,81	6,13

2018											
	1	2	3	4	5						
1	146875	49375	81875	63062,5							
2	171250	58500	127500	89625							
3	177750	61125	163875	130125							
4	174750	69000	197750	201000							
5	148125	78437,5	219687,5	298125							
6	179250	87000	168375	452625							
7	164062,5	115937,5	219187,5	828625							
8	194000	169500	383000	1342000							
9	317250	268875	410625	543937,5							
10	1025000	677500	335000	185625							
	2698312,5	1635250	2306875	4134750							

2. Bootstrap

2009												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	62562,5	22500	27375	30312,5	37500	34750	36250	38500	37937,5	36750	42187,5	63250
2	137375	84500	94750	93250	113500	114625	118125	149500	128375	129250	145750	222000
3	135187,5	106875	176625	120562,5	138000	151687,5	156750	204750	162375	165750	203250	302062,5
4	160000	120500	235250	188250	180000	187750	207500	242000	212250	234500	266000	382750
5	209687,5	135625	249687,5	241250	231562,5	225000	264375	305937,5	310625	293125	393437,5	532500
6	234375	189375	303375	322125	335250	369375	357750	435375	444000	422625	597375	814125
7	282187,5	165375	374937,5	455875	491312,5	536812,5	524562,5	622125	679000	590625	946312,5	983062,5
8	422500	163000	427000	802000	926000	1000000	1010000	1087000	1207000	1126000	1665000	1073000
9	640125	252562,5	558000	1629563	1980563	2541375	2619000	2606063	2715188	3256313	3823875	1339875
10	1331250	1057500	1066875	2923125	5446875	7663125	9875625	11236875	11801250	10668125	5685625	2444375
	3615250	2297813	3513875	6806313	9880563	12824500	15169938	16928125	17698000	16923063	13768813	8157000

2010												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	62562,5	22500	23375	32375	41562,5	37750	32437,5	35375	42812,5	34625	39250	83437,5
2	137375	84500	81500	116000	137375	115875	101750	113750	181375	117000	131625	312125
3	135187,5	106875	104437,5	144937,5	181125	160500	136687,5	150375	228375	137625	178687,5	431625
4	160000	120500	134750	185250	242250	224750	183000	193750	288750	217500	276000	536250
5	209687,5	135625	177812,5	214062,5	267500	285312,5	237187,5	250625	330312,5	304375	385937,5	687187,5
6	234375	189375	243000	279000	352125	333375	312375	387375	433875	458625	712875	1002750
7	282187,5	165375	280000	442750	513187,5	528500	522375	697375	654937,5	733687,5	1123500	1054375
8	422500	163000	379000	745000	937000	986500	1111500	1365500	1406000	1239000	1751500	1063500
9	640125	252562,5	627187,5	1348875	2063813	2741625	3076875	3256875	2872688	3953250	4124813	1166063
10	1331250	1057500	1013125	2265625	4816250	7859375	10060000	10841875	10820625	9935625	5641875	1781250
	3615250	2297813	3064188	5773875	9552188	13273563	15774188	17292875	17259750	17131313	14366063	8118563

2011												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	66062,5	17625	22812,5	34062,5	38312,5	33000	40187,5	36125	34875	47000	49625	50687,5
2	200500	47750	83750	99500	118125	117125	125875	124625	112000	153500	183500	217500
3	200437,5	56437,5	106500	135000	148125	143437,5	169125	163125	154875	196500	209062,5	342562,5
4	173250	78250	155250	174750	190750	187500	222500	226250	210500	229500	278250	513500
5	171562,5	84062,5	192500	271250	304062,5	232500	301562,5	283437,5	294375	281562,5	365937,5	602500
6	190500	103875	298125	390375	413250	345750	405000	408375	414000	398625	502125	781875
7	184625	116375	229250	510125	501375	484750	572250	594125	679000	656250	723187,5	1031188
8	250000	179000	253000	781000	840000	892000	1040500	1111500	1406000	1298500	1410500	1270500
9	471375	326250	428062,5	1313438	1976063	2473313	2846250	3292313	3101625	2892938	3699563	1790438
10	1348750	1015000	846875	1399375	4550625	7321250	8884375	10339375	10986875	10625625	6445625	2061875
	3257063	2024625	2616125	5108875	9080688	12230625	14607625	16579250	17394125	16780000	13867375	8662625

2012												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50250	29250	25500	31812,5	32812,5	35312,5	33875	34500	34125	41687,5	47375	60875
2	164125	95500	96500	113625	111500	122375	112500	114000	114875	141625	187750	258500
3	167625	112500	162750	161625	139500	166875	143437,5	155062,5	152812,5	182625	249000	278625
4	220500	139250	219750	187500	190000	224500	194500	198000	194000	236000	306000	381250
5	247187,5	171250	274375	232500	232500	253437,5	242812,5	261250	265625	372500	441250	549062,5
6	334875	203625	338625	324750	310125	330000	322125	357375	393000	456000	535125	698250
7	322875	210000	342125	470312,5	443187,5	495250	499625	533312,5	653187,5	689500	751625	775687,5
8	473000	258000	415000	791500	886500	902500	1160000	1088500	1274000	1412000	1453500	1039500
9	729562,5	430875	495562,5	1725750	2054250	2702250	2825438	3153938	3363750	3208500	3355313	1415250
10	1468125	916875	1103125	2187500	5019375	7266250	9714375	11060625	11551875	10276250	6733750	2761875
	4178125	2567125	3473313	6226875	9419750	12498750	15248688	16956563	17997250	17016688	14060688	8218875

2013												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	38000	20437,5	23375	33500	32375	35812,5	34000	37937,5	41437,5	39500	41937,5	62937,5
2	129250	71875	77875	106250	115625	130625	108625	118375	143125	143000	158000	226750
3	165562,5	102187,5	104812,5	125437,5	140250	162750	142125	150187,5	194062,5	207562,5	198562,5	261937,5
4	200000	155250	157500	158500	185000	194750	177750	206250	252500	287250	252000	402000
5	230937,5	172500	246875	207187,5	232500	258750	223125	290937,5	325312,5	329687,5	379687,5	537500
6	284625	219750	339750	280875	321000	351375	321750	393750	435750	447000	569625	690000
7	325937,5	230562,5	463312,5	403375	476000	563937,5	483000	557375	647062,5	627375	815937,5	966875
8	372500	311500	633500	763500	884500	1025000	931500	1017000	1113500	1323000	1284000	1228000
9	658687,5	383062,5	702562,5	1646438	2426063	2775375	2944688	3143250	3104438	3009375	3182063	2296688
10	1806250	1173125	1244375	2882500	5053125	7505625	10417500	11625000	11881250	11215000	8064375	2800625
	4211750	2840250	3993938	6607563	9866438	13004000	15784063	17540063	18138438	17628750	14946188	9473313
2014												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	53375	30250	34437,5	27500	35750	36000	39000	41375	38250	37875	48687,5	58687,5
2	176250	91750	103125	106250	123500	126625	126500	134625	131250	123250	153500	189000
3	210750	104437,5	146062,5	151687,5	151500	159375	146437,5	159000	189000	159375	210562,5	281812,5
4	268750	143750	225250	196250	199000	202000	194250	210000	240750	237250	261750	395250
5	334062,5	152187,5	270000	250937,5	245937,5	282187,5	248437,5	283750	315625	345000	393125	396875
6	358500	169125	384000	341625	368250	379500	358875	412875	446625	531375	567750	517875
7	379750	206500	382375	479500	500062,5	537687,5	535500	623000	696500	832562,5	821625	886375
8	433000	253000	440000	874500	891000	923500	976000	1228000	1463000	1425500	1579000	1597000
9	684562,5	378000	624937,5	2005313	2289375	2441250	3079125	3443063	3675375	3128063	3395813	2536313
10	1787500	1309375	1138750	2847500	5606875	8553750	10283750	11143750	11255000	10553750	6851875	2588750
	4686500	2838375	3748938	7281063	10411250	13641875	15987875	17679438	18451375	17374000	14283688	9447938
2015												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	56250	23375	28750	35250	33250	32250	34937,5	35937,5	36562,5	39312,5	40500	82375
2	220250	66500	99250	114375	107625	124000	108750	112500	123500	123125	137875	274750
3	358312,5	94500	166875	150187,5	130500	158437,5	137062,5	155437,5	166875	168187,5	208687,5	280500
4	393250	125750	208250	220000	171750	200750	192500	219000	223000	225250	360750	374000
5	379687,5	150625	298750	250937,5	215625	254687,5	260312,5	311250	294062,5	305937,5	494687,5	489062,5
6	357375	183375	367125	374250	297000	340125	356250	489375	448125	449250	607500	790500
7	380187,5	201687,5	380625	586250	429625	518437,5	541187,5	634812,5	768250	899062,5	935812,5	1025063
8	368000	262000	465500	878500	840000	1052500	1096500	1084500	1467000	1597500	1447000	1294000
9	643500	496125	507375	1512563	2219063	2727563	3065063	3075188	3082500	3494250	3525750	1452938
10	1668125	1281250	1370625	3121250	6237500	7908125	9786250	10266875	10327500	9405625	6100000	2010000
	4824938	2885188	3893125	7243563	10681938	13316875	15578813	16384875	16937375	16707500	13858563	8073188
2016												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	54937,5	19000	28812,5	31500	33750	38812,5	37812,5	40750	44875	41250	74000	84937,5
2	187375	63250	119375	102500	112750	125250	135750	138875	144750	147875	239000	281375
3	230437,5	77062,5	139687,5	138000	149812,5	170437,5	179250	174562,5	188812,5	202687,5	262687,5	294187,5
4	229000	122250	198750	198750	195250	226750	234500	228750	250000	250250	310500	356250
5	222500	132812,5	240937,5	228750	246875	302500	286875	275312,5	314687,5	362812,5	396875	394375
6	229125	143625	264750	251250	319500	406125	424125	430875	516000	585375	733875	462750
7	228375	137812,5	340812,5	402062,5	483000	535937,5	637437,5	712250	801937,5	1015438	1080188	513187,5
8	256500	153000	422500	686500	834500	923000	1166000	1325500	1439500	1700500	1697000	724500
9	451687,5	275625	506250	1645313	1913063	2396250	3051000	3619125	3893625	3161250	2344500	1171688
10	1198125	966875	950000	2527500	4799375	6973125	8581875	9560000	8844375	7973750	4566875	1859375
	3288063	2091313	3211875	6212125	9087875	12098188	14734625	16506000	16438563	15441188	11705500	6142625
2017												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	46437,5	13125	25250									
2	138625	43750	78000									
3	176062,5	58312,5	114750									
4	180500	75000	132750									
5	161562,5	90625	148437,5									
6	148875	92250	147750									
7	170625	104125	148312,5									
8	213500	155000	173500									
9	345937,5	295875	348750									
10	1171250	864375	806250									
	2753375	1792438	2123750									