

Основы геологии северной Аляски и ее соотношение с территорией России. Строение Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Остров Врангеля.



Анюйско-Чукотская складчатая зона. Фото Каткова С.М., 2006
Лекция 17 (22 ноября 2006 г.)

Основные элементы строения Восточно-Сибирского и Чукотского морей

Арктические шельфы России стали объектом пристального внимания после открытий крупных месторождений нефти и (или) газа в Баренцевом и Карском морях, а также на территориях непосредственно прилегающих к морям Лаптевых и Бофорта. Открытие в США, в непосредственной близости от отечественной экономической зоны, около 40 месторождений нефти и газа на Северной Аляске, включая месторождение-гигант Прадо-Бей (Prudhoe Bay), свидетельствует о необходимости более обстоятельного исследования вопроса о тектоническом районировании востока российского сектора Арктики, и, прежде всего, Чукотского моря - как стратегического энергетического резерва России. Чукотское и Восточно-Сибирское моря можно отнести к наименее исследованным регионам шельфа России.

Прадо-Бей (Prudhoe Bay)



Физико-географический очерк

Чукотское море на западе соединяется проливом Лонга с Восточно-Сибирским морем, а на юге Беринговым проливом с Беринговым морем. Восточная граница с морем Бофорта условна и проводится по меридиану мыса Барроу (США).

Средняя глубина - 77 м. К кромке шельфа она возрастает до 200 м и более (максимальная - 1256 м). В центральной части моря расположено поднятие, которое протягивается в субширотном направлении с минимальными глубинами порядка 20 м (на некоторых картах его восточная часть называется мель Ханна (Hanna Shoal). Оно отделено от поднятия островов Врангеля и Геральд субмеридиональным каньоном Геральд (примерно вдоль 175° з.д.). Второй каньон, точнее долина, Барроу (Barrow Valley) протягивается субпараллельно северо-западному побережью Аляски.

Площадь Чукотского моря составляет по разным данным от 584 000 до 587 100 кв.км.

В пределах акватории расположены **острова** Врангеля, Геральд и Колючен. Остров Врангеля имеет площадь 7300 кв. км (Геология..., 1970). Центральная часть острова имеет горный ландшафт. Максимальная высота 1096 м (г. Советская). Береговая линия в южной части острова представлена сериями обрывов с высотой до 450 м. На севере рельеф представлен пологой наклонной равниной с высотами менее 50 м (Тундра Академии). Остров Геральда представляет собой утес высотой до 380 м.

Восточно-Сибирское море расположено между Новосибирскими островами и о. Врангеля. На западе граничит с морем Лаптевых, соединяясь с ним проливами Дмитрия Лаптева, Этерикан, Санникова и проливом севернее о. Котельникова, на востоке – с Чукотским морем, соединяясь с ним проливом Лонга и севернее о. Врангеля. Северная граница проходит примерно по изобате 200 м. В этих пределах общая **площадь** составляет 936 000 кв. км.

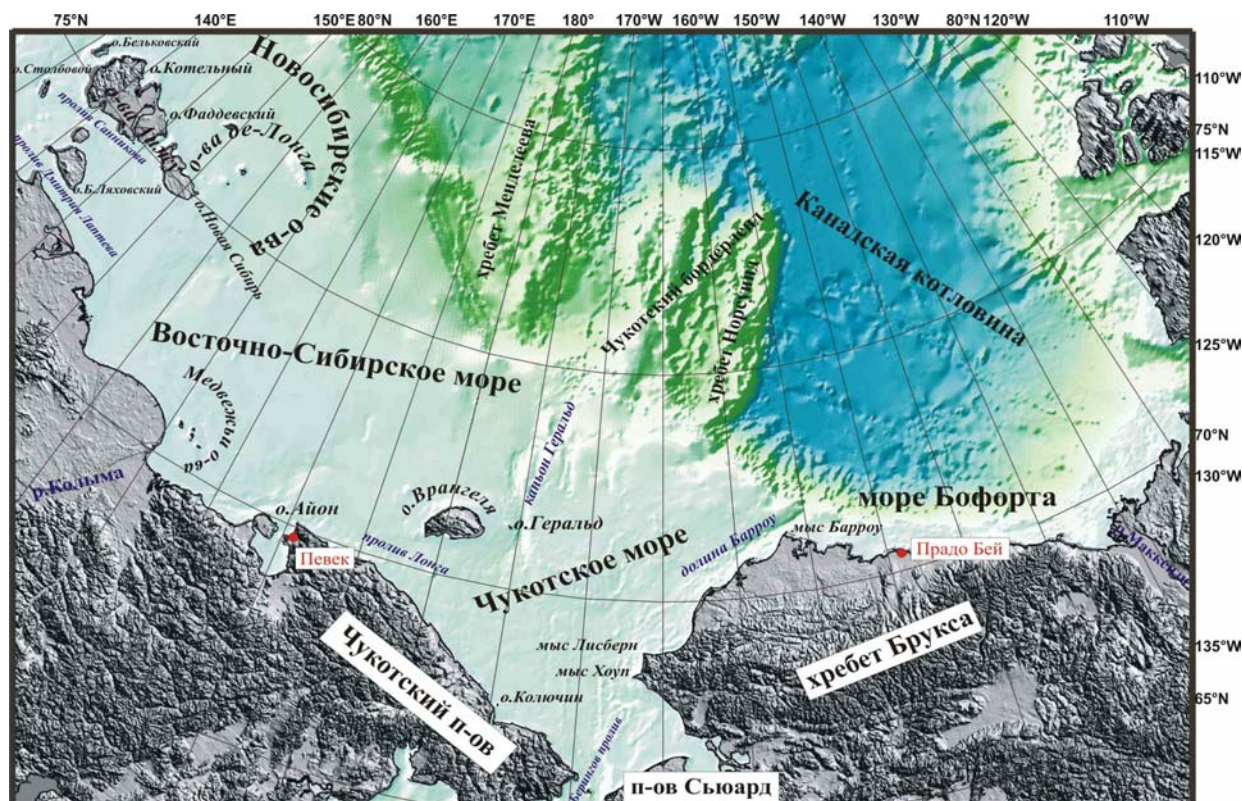
Средняя глубина Восточно-Сибирское моря составляет 45 м, максимальная – 155 м.

В пределах моря имеется несколько групп и отдельных **островов** – Новосибирские, Медвежьи, Айон, Шалаурова. В море впадают несколько крупных рек, такие как Колыма, Алазея, Индигирка и Хрома.

Климатические условия По данным метеостанции Певек, ближайшей к акваториям морей на территории России (<http://www.weather.com/>), среднегодовая температура за 13 лет наблюдений изменяется от -27 (февраль) до $+8$ (июль). За тот же интервал времени максимальная температура достигала 20 , минимальная до -50 . Среднегодовое количество (за 18 лет) дней в году с температурой менее 0 достигает 271 . Средняя скорость ветра за 11 лет наблюдений метеостанции Барроу (США) изменяется от 5 до более чем 25 м/с (<http://climate.gi.alaska.edu/AKCityClimo/>), при этом скорости во второй половине августа – сентябре (время минимального ледового покрова) могут достигать штормовых ($20-25$ м/с).

Ледовые условия. Большую часть времени моря покрыты многолетним или (и) сезонным ледовым покровом. При этом мощность новообразованного льда может достигать 2 -х метров.

Рельеф Восточно-Сибирского и Чукотского морей. (Топографическая основа - ИВСАО, 2002)



Mazarovich, Sokolov, 2003

Основные черты геологического строения

Севернее кромки шельфа расположен Американо-Сибирский суббассейн, в составе которого выделено две провинции – хребтов и поднятий и однородная по рельефу Канадская котловина (Нарышкин, 2001).

- **Чукотское и Восточно-Сибирское моря** расположены на коре континентального типа, мощностью 30-35 км. Район сейсмически не активен, за исключением юга Чукотского моря, а также района долины Барроу (CNSS..., 2002)
- **Канадская котловина** имеет глубины порядка 4000 м. В ее пределах развита океаническая кора, о чем свидетельствует полосовой характер магнитных аномалий. Меланократовое основание перекрыто осадочным чехлом, мощность которого достигает 2000 м, а в районе дельты реки Маккензи возрастает до 9-10 км (Хаин, 2001)
- **Хребет Норсуинд и Чукотское плато** (вместе часто описываются как Чукотский бордерленд) и **хребет Менделеева**, которые имеют континентальную кору. На хребте Менделеева (Поселов, 2002) выделен осадочный слой, верхняя часть которого, судя по малым скоростям, не литифицирована.
- Общая мощность чехла в осевой части хребта Менделеева около 2 км, а западнее, в котловине Подводников, возрастает до 5 км и более. Консолидированная кора имеет мощность до 31 км

Элементы геологического строения Аляски.



Гора Маккинли. Хребет Брукса

Для понимания строения Чукотского моря и Восточно-Сибирского морей необходимо использовать стратиграфическую схему северной Аляски, т.к. все ее основные структуры трассируются непосредственно в акваторию.

На территории штата Аляска наиболее детально изучены северные районы - т.н. National Petroleum Reserve in Alaska (NPRA), Arctic National Wildlife Refuge (ANWR), включая район 1002 и территории, расположенные между ними, на которых и были открыты крупные месторождения нефти и газа (Прадо Бей и др.)

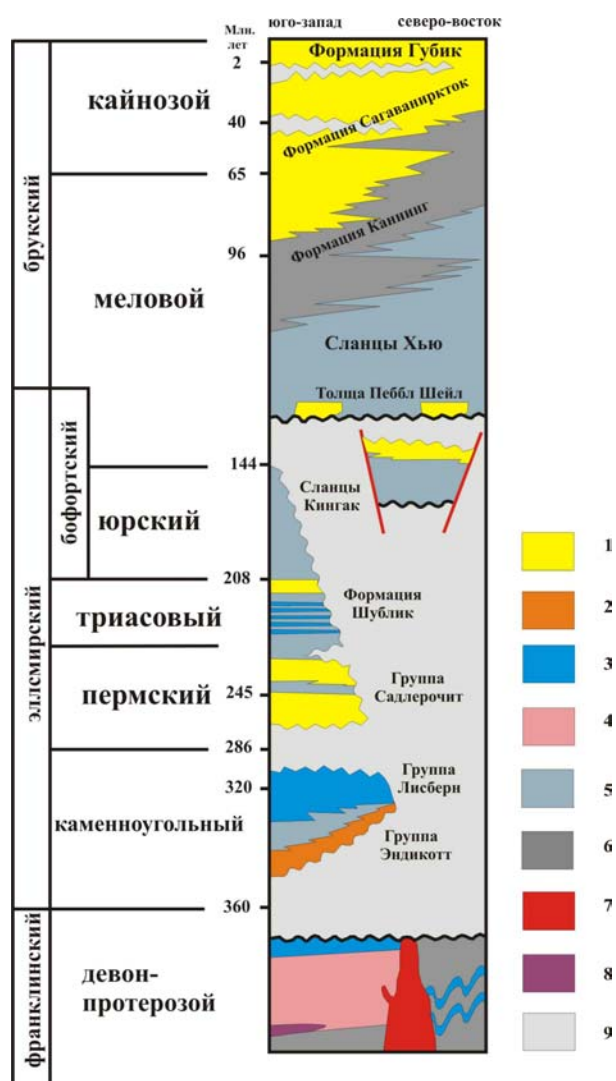
В самом общем виде на территории северной Аляски выделены следующие комплексы с возрастом от верхов протерозоя до кайнозоя включительно:

- франклинский (или додевонский)
- элмирский
- брукский

Они могут претерпевать существенные изменения по простиранию, однако их принципиальные черты сохраняются.

Сводная стратиграфическая колонка (упрощено) по району Северной Аляски

<http://energy.cr.usgs.gov/OF98-34/>

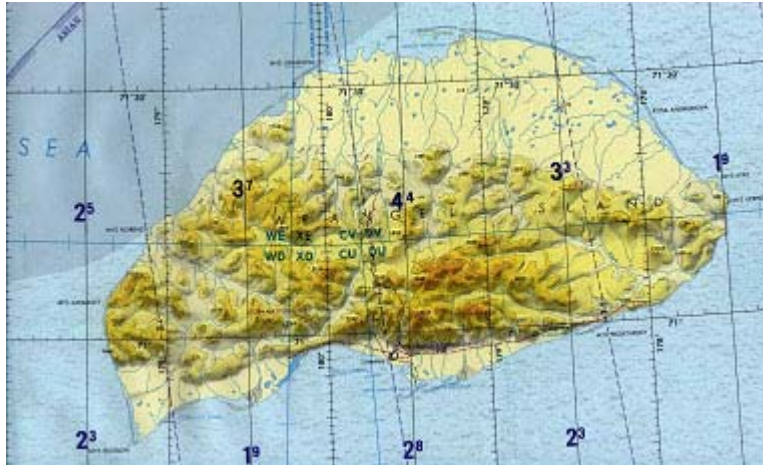


- 1- терригенные комплексы, морские; 2 - терригенные комплексы, континентальные; 3 – известняки; 4 – доломиты; 5 – преимущественно глинистые породы; 6 – аргиллиты; 7 – граниты; 8 – базальты; 9 – перерывы
- Красные линии – разломы. Волнистые линии – несогласия.

Франклинский комплекс

представлен метаморфизованными осадочными и вулканогенными породами, а также интрузивными образованиями (Hanks, 1989, Mull et. al., 1991, Kelley et al., 1992). В пределах российского сектора Арктики, аналог франклинского комплекса, выделен на острове Врангеля. Он и (или) его аналоги развиты на обширной территории от востока Аляски до Новосибирских островов и его можно рассматривать как основание для осадочных бассейнов Чукотского и значительной части Восточно-Сибирского морей.

Остров Врангеля



Самая высокая точка о. Врангеля (1096 м) – г. Советская



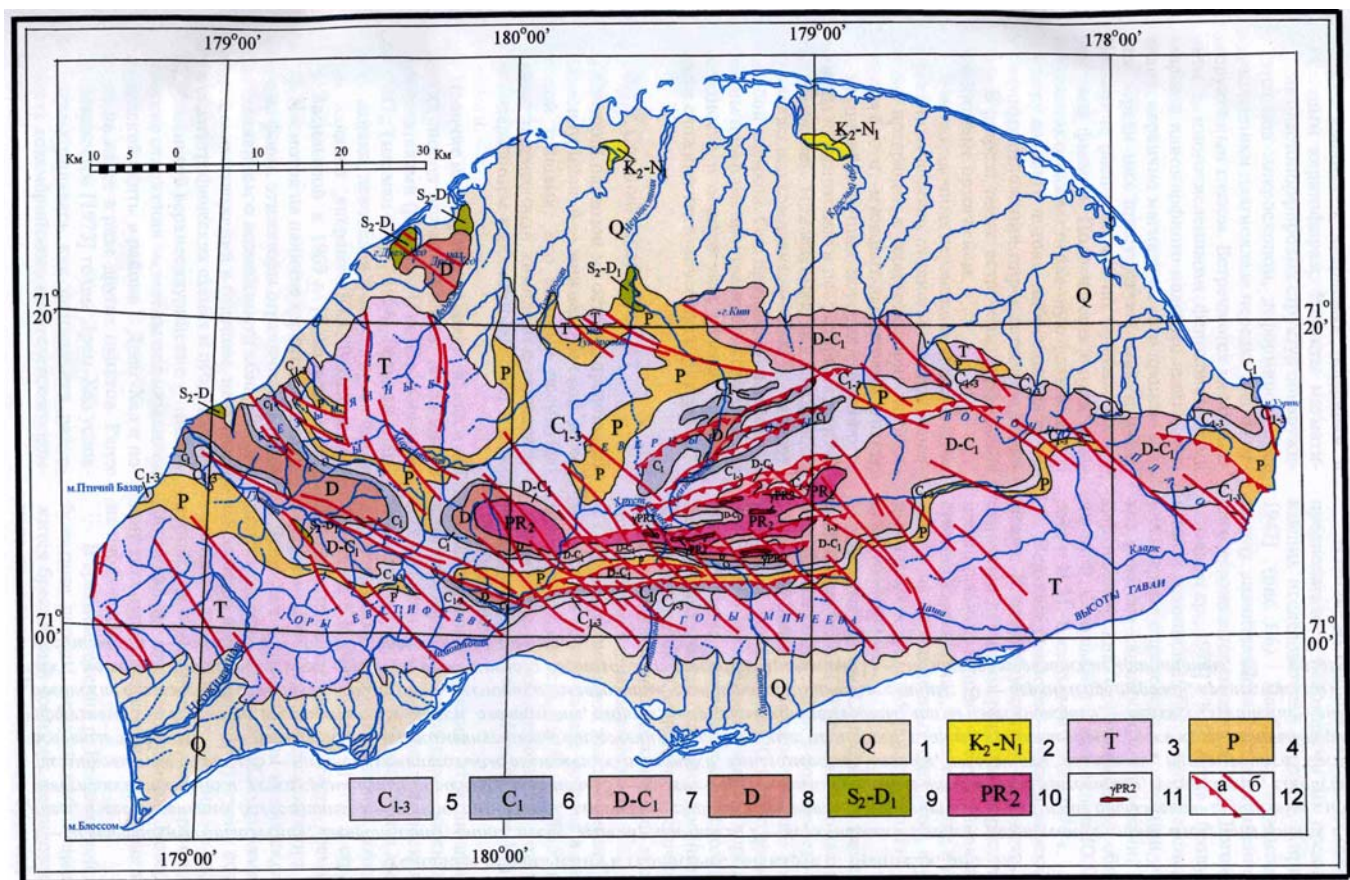
по: <http://www.ens-newswire.com/ens/jun2004/2004-06-29-04.asp>

- сложен (Kos'ko et al., 1992) серией тектонических пластин, в которых

разновозрастные части осадочного и метаморфического разреза перекрывают друг друга. Надвиги имеют субширотное простирание и их сместители полого (около 20°) погружаются на юг. Амплитуда горизонтального перемещения оценивается в 12,5—15 км. Предполагается, что надвиговые нарушения развиты также в районе Тундры Академии, (Бялобжеский, Иванов, 1971). Структура нарушена многочисленными сдвигами северо-западного простирания.

- Франклинский комплекс на острове представлен (Тильман и др., 1964; Геология..., 1970, Бялобжеский, Иванов, 1971, Kos'ko, 1992, Kos'ko et al., 1992) вулканическими породы кислого-среднего составов, вулканокластическими образованиями, филлитами, черными сланцами, кварцитами, конгломератами с общей мощностью порядка 2000 м (комплекс острова Врангеля).
- **Верхний силур – нижний девон** - мелководно-морские песчаники, алевролиты и карбонатные породы с общей мощностью порядка 700 м
- **девон** - обломочные породы
- Общая мощность 1200 м
- Эти образования прорваны кварц-полевошпатовыми порфирами, габбро, диабазами, фельзитовыми дайками, силлами и небольшими гранитными телами. Возраст пород комплекса 633 – 699 млн. лет.

Геологическая карта о. Врангеля Остров Врангеля..., 2003



- 1- **четвертичные отложения**: алевропелиты, глины, песок, гравий, галечник; 2- **верхний мел-миоцен**: уплотненные глины, алевролиты и песок; 3 - **триас**: аргиллиты, глинистые сланцы, песчаники, алевролиты; 4 - **пермь**: глинистые сланцы, известняки, песчаники, реже кремнистые породы и гравелиты; 5 - **нижне-верхнекаменноугольные отложения**: известняки, алевролиты, глинистые сланцы; 6 - **нижнекаменноугольные образования**: песчаники, конгломераты, известняки, доломиты, прослой гипса,

кислые и основные эффузивы; 7 - **девонские-нижнекаменноугольные образования нерасчлененные**: песчаники, сланцы, конгломераты, редко - карбонатные породы, эффузивы; 8 - **девонские отложения**: алевролиты, сланцы, кварциты, конгломераты, линзы известняков; 9 - **верхнесилурийские - нижнедевонские отложения**: известняки, доломиты, песчаники, алевролиты, глинисто-серицитовые сланцы; 10 - **верхний протерозой, врангелевский комплекс**: метавулканы основного, среднего и кислого составов, метапесчаники, сланцы; 11 - **позднепротерозойские гранитоиды**; 12 - **разрывные нарушения**: а - надвиги, б - сбросы, сбросо-сдвиги, сдвиги

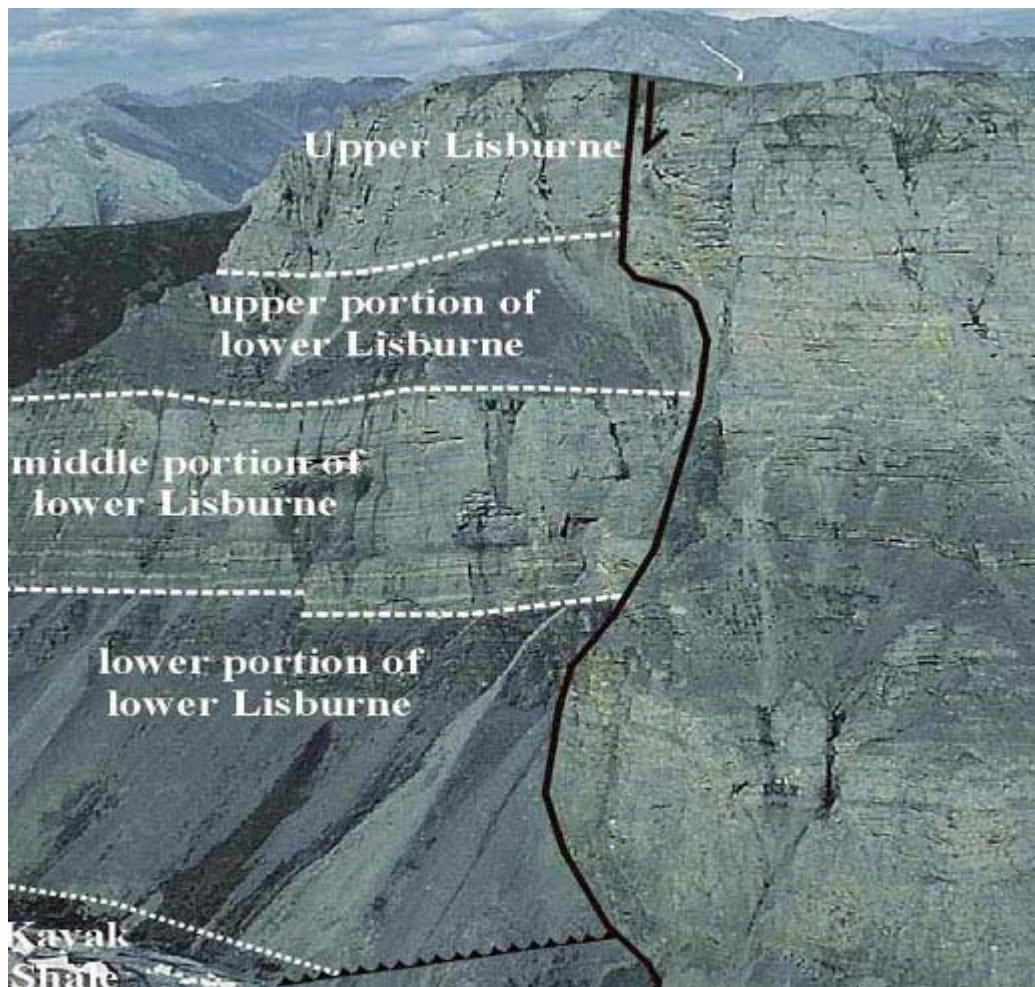
Остров Геральд представляет собой утес высотой до 380 м. Он сложен граносиенитовой интрузией с жилами лампрофиров, которая прорывает песчано-сланцевые отложения нижнего палеозоя (?).

Элсмирский комплекс

Каменноугольного-юрские или нижнемеловые образования.

- **Карбон** - группа Лисберн - морские, преимущественно карбонатные отложения, в которых есть отдельные прослои кремней, мощностью в десятки метров и алевролитов. Этот комплекс является основным резервуаром для нефтяных месторождений региона, в частности, таких как Прадо Бей и Лисберн

Известняки группы Лисбурн



(Wallace et.al., 2001)

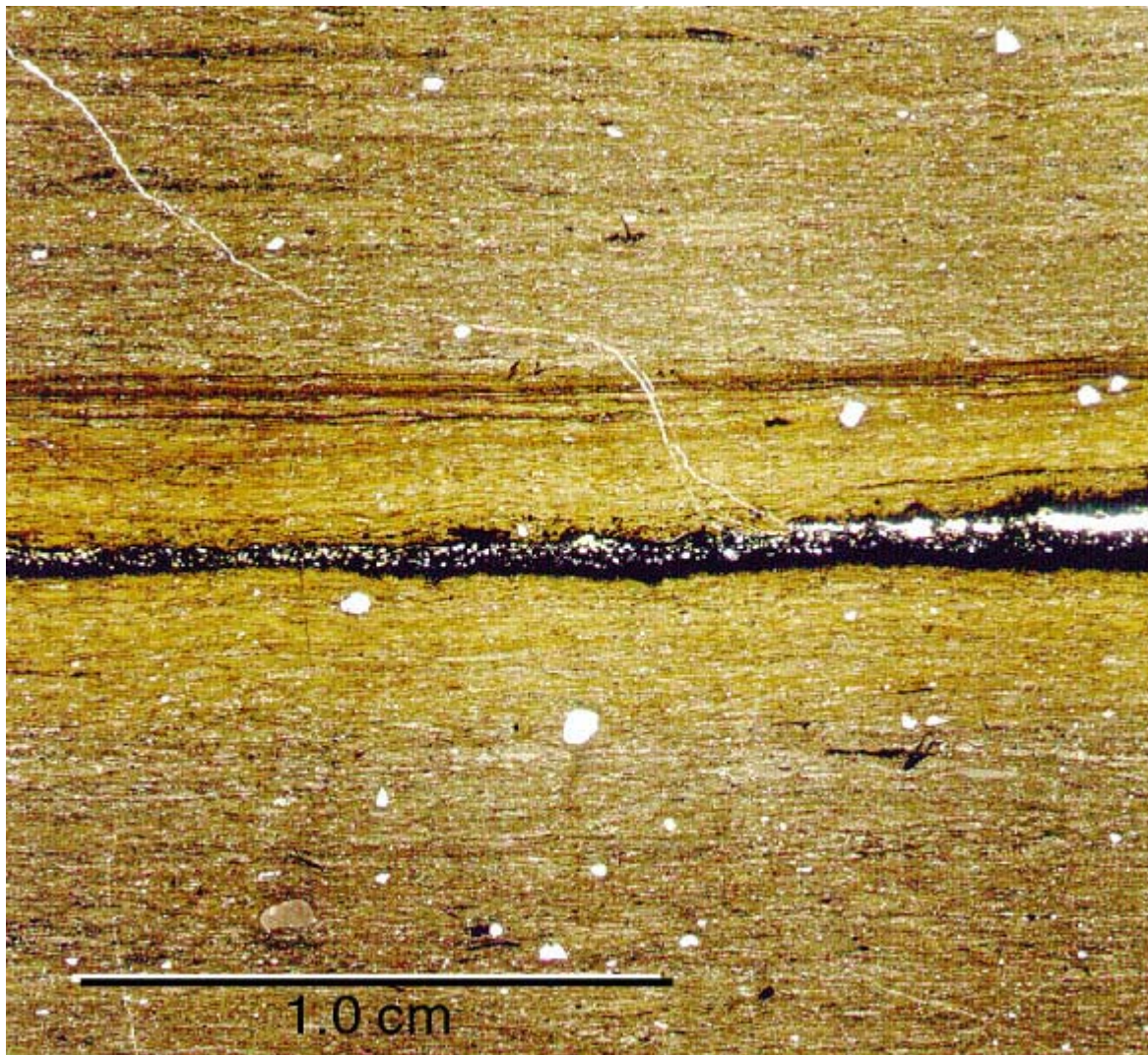
- **Пермь** - с несогласием группа Садлерочит- алевролиты и аргиллиты

Песчаники Садлерочит



- **Триас** - формация Шублик - толща, обогащенная органическим веществом, фосфатами и глауконитом с редкими находками морских позвоночных и моллюсков - песчаники

Сланцы Пebbл Шейл



- **юра-мел** - глины, песчаники, тонкослоистые сланцы с высоким содержанием органического вещества

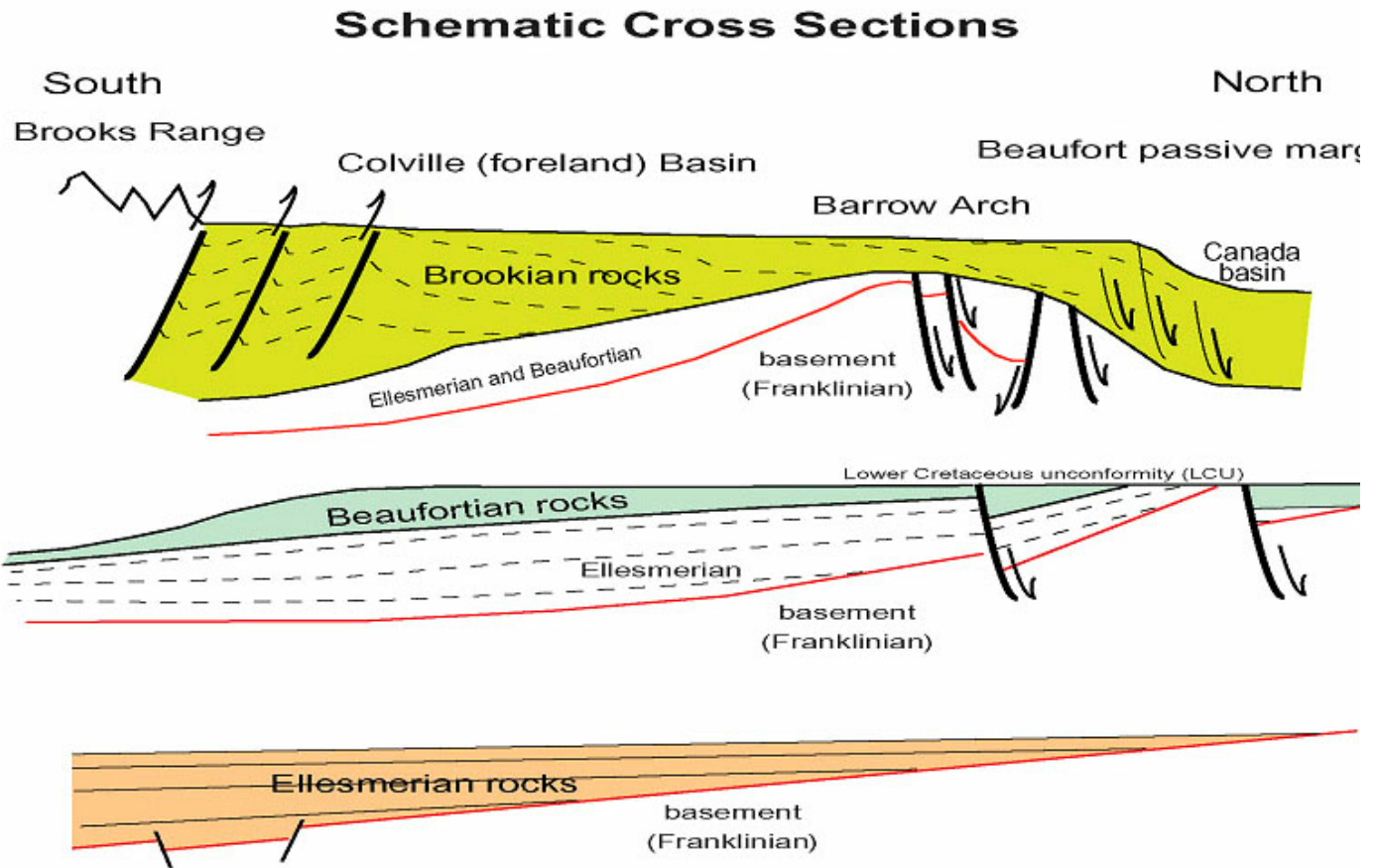
Брукский комплекс

- **мел-кайнозойские отложения** - терригенные морские и континентальные отложения
- **Мощность пород увеличивается в северном направлении до 5000 и даже 12 000 м (Robinson et al., 1992)**

Породы брукского комплекса слагают основную часть осадочного чехла в пределах акватории Чукотского моря (National ..., 1995).

Брукский комплекс



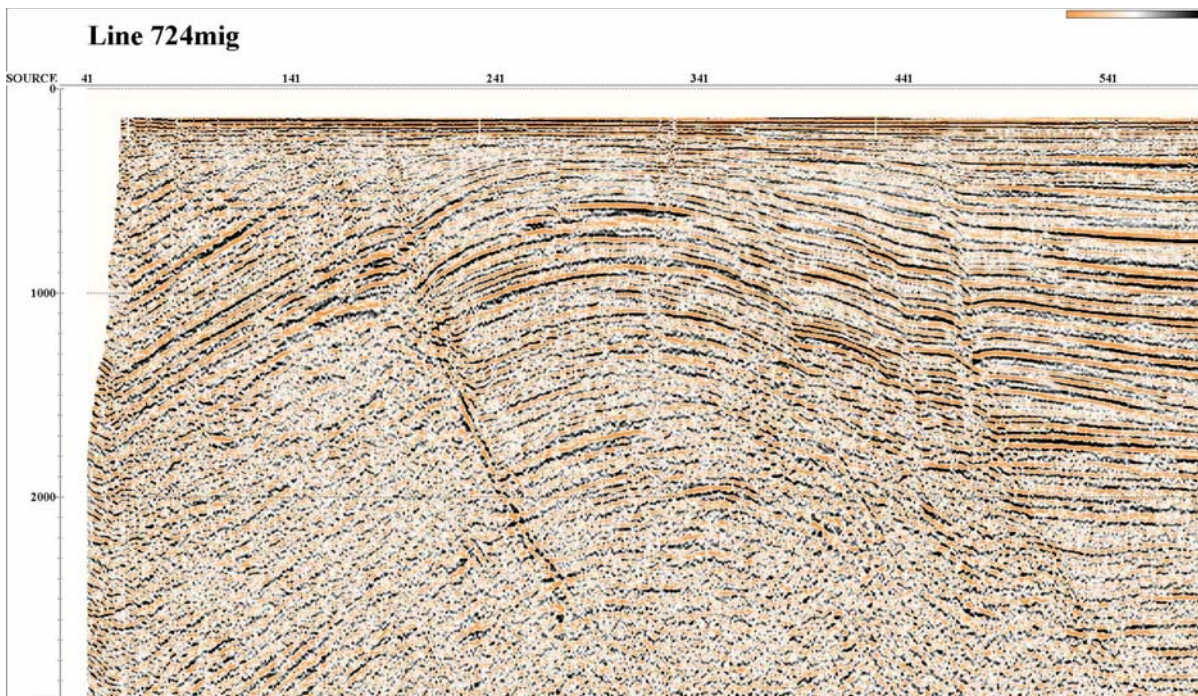


В строении Аляски выделяется три субширотные зоны (например - Kumar, 2002), которые отличаются по стилю деформаций и, несколько, интервалами времени ее образования (с юга на север):

- **1 - покровно-складчатая область хребта Брукса** наиболее обстоятельно изучена (Atkinson, 2000) в северо-восточной части Аляски. Представляет собой пакет покровов, который смят в многопорядковые складки. Эти структуры были сформированы в результате сжатия коры хребта Брукса на 400 – 500 км в позднеюрское-поздне меловое время (Howell et al., 1992).

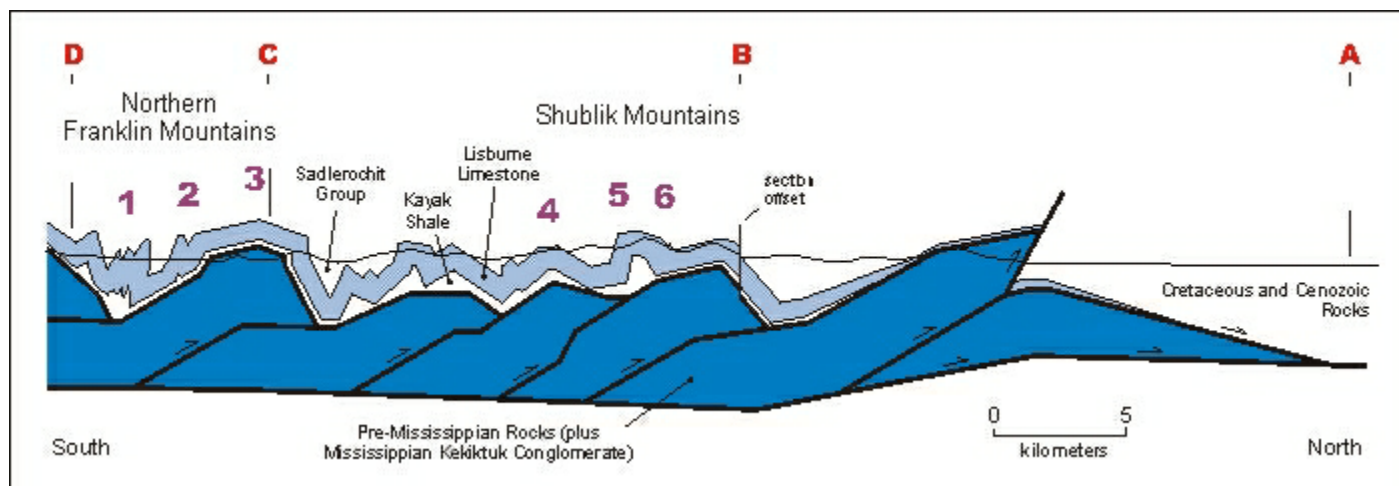


- **2 - зона с умеренными деформациями**, которые отражены в складках и чешуйчатых надвигах или взбросах.
- **3 - скрыта в настоящий момент под мощным чехлом верхнемезозойских-кайнозойских отложений**, по сравнению с более южными районами, **практически не деформирована**



Схематизированный профиль через хребет Брукса (север справа)

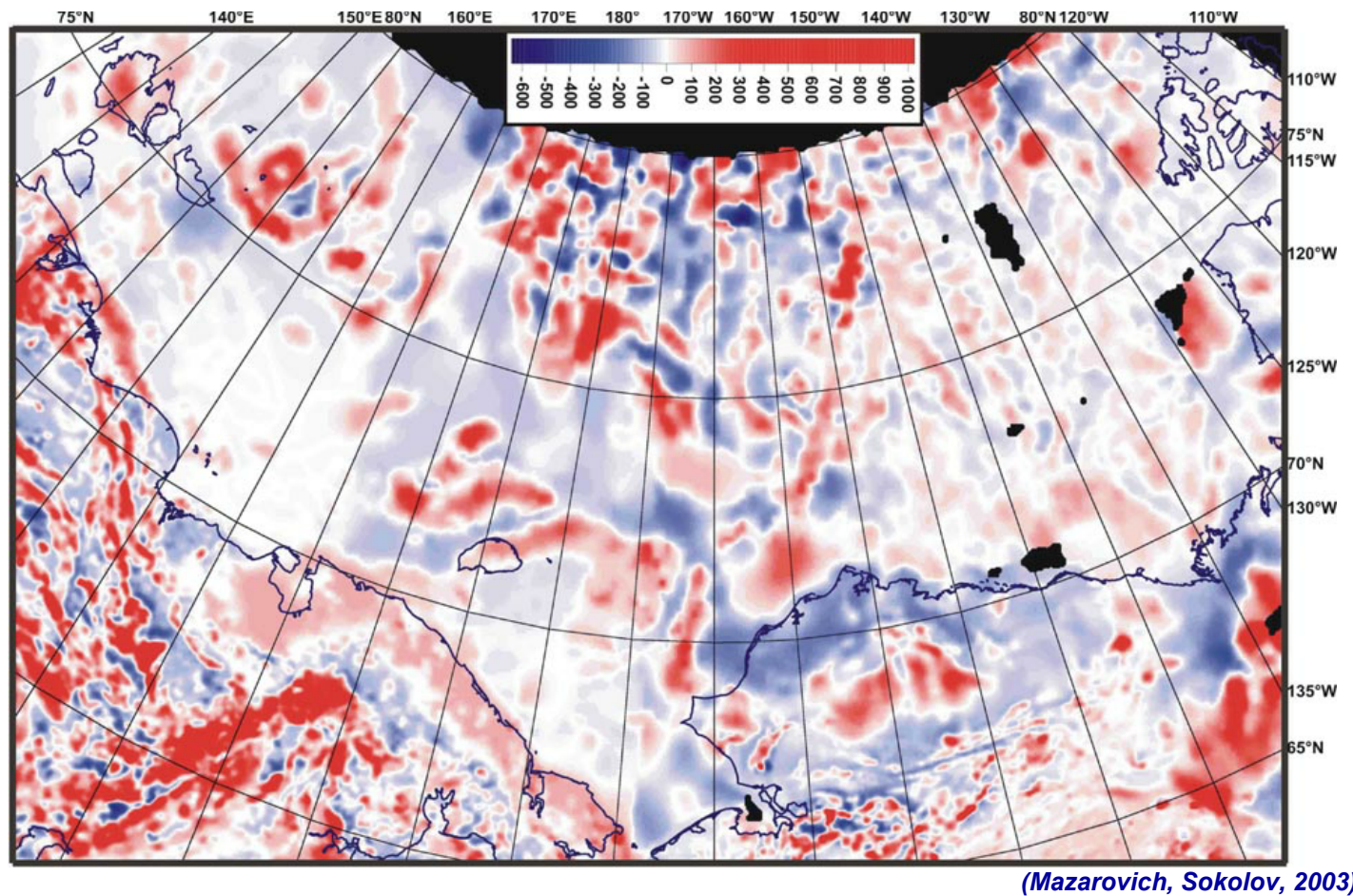
<http://www.gi.alaska.edu/~atkinson/JSGFolds/>



Гравитационные и магнитные поля Восточно-Сибирского и Чукотского морей

Анализ аномального магнитного поля показал, что в арктическом регионе в целом прослеживаются аномальные зоны трех главных типов:

Аномалии магнитного поля восточного сектора Арктики (нТ).



Гравитационное поле и его трансформации

Источниками информации по гравитационному полю Чукотского и Восточно-Сибирского морей является спутниковая альтиметрия.

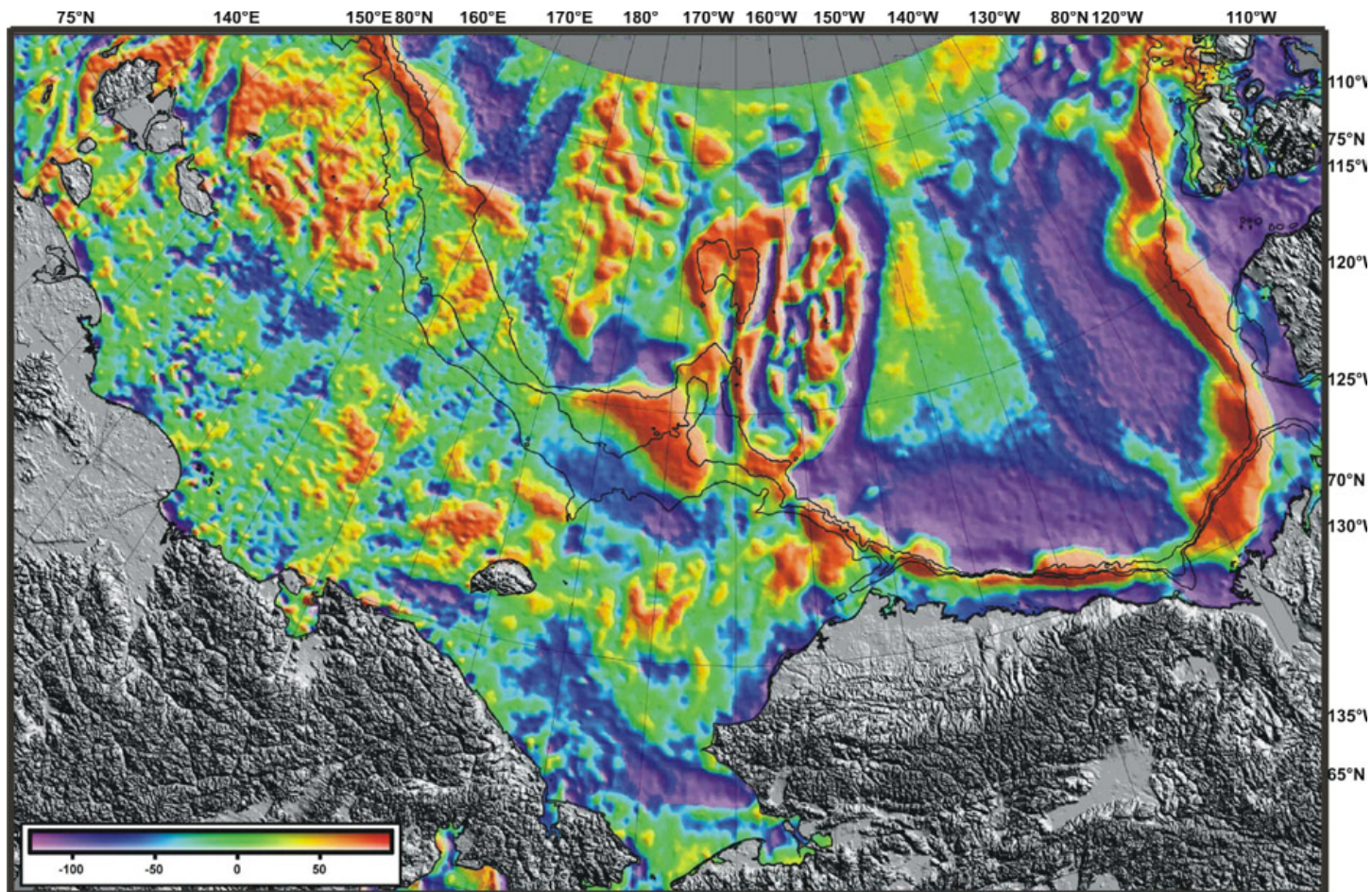
Метод основан на измерении радаром со спутника высоты поверхности воды, с последующим пересчетом этой поверхности в значения аномалий силы тяжести в свободном воздухе. До недавнего времени использование этого метода в полярных районах было затруднено из-за наличия на свободной поверхности воды ледяного покрова. Преодоление этой проблемы описано в работах (McAdoo, Laxon, 1997, Laxon, McAdoo, 1998).

Анализ аномального значения силы тяжести в свободном воздухе показывает, что шельф отделен от океанической области четко выраженной системой максимумов, соответствующих осадкам, которые отлагались на его краю и не компенсировались прогибанием фундамента.

Аномалии силы тяжести в свободном воздухе восточного сектора Арктики (мГал).

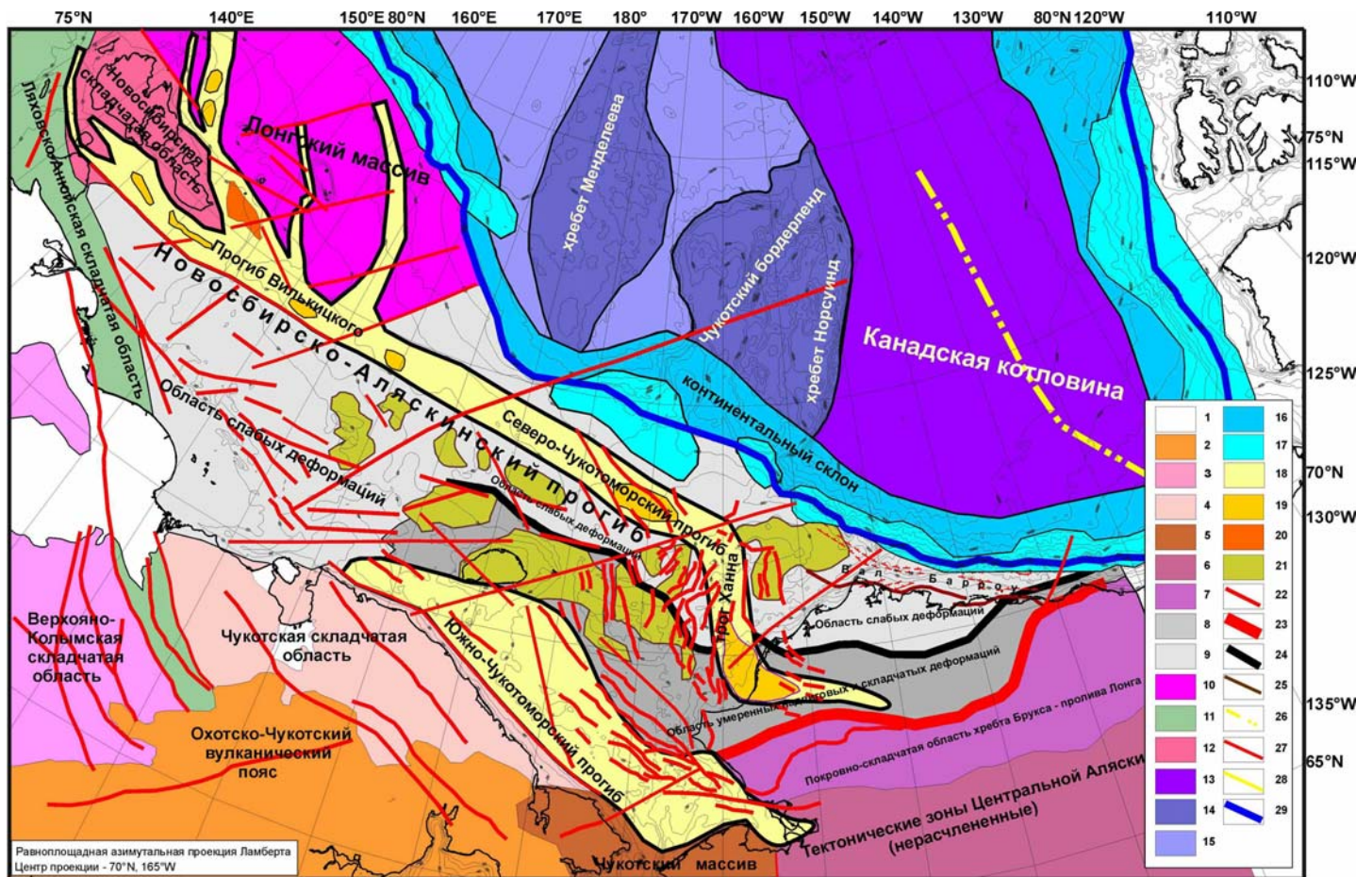
Проведены изобаты 100, 200 и 500 метров.

(Laxon, McAdoo, 1998, Mazarovich, Sokolov, 2003).



(Mazarovich, Sokolov, 2003)

Схема тектонического районирования Восточно-Сибирского и Чукотского морей



(Mazarovich, Sokolov, 2003)

1 – области развития мощного осадочного неоген-четвертичного возраста на континенте; 2 – Охотско-Чукотский вулканический пояс (альб-сенон); 3 – 4 Мезозойды северо-востока Азии: 3 – Верхояно-Колымская покровно-складчатая область, 4 – Чукотская складчатая область; 5 – Чукотский массив (выступы докембрийского кристаллического фундамента), 6 – тектонические зоны Центральной Аляски нерасчлененные; 7 – покровно-складчатая область хребта Брукса – пролива Лонга (многофазные деформации в позднеюрское – палеогеновое время); 8 – область умеренных надвиговых, взбросовых и складчатых деформаций (многофазные деформации в позднеюрское – палеогеновое время); 9 – область отступатив или слабых деформаций юрско-кайнозойских отложений; 10 – область неглубокого залегания докембрийского кристаллического фундамента с его выходами на поверхность; на островах Анжу – развитие палеозойского чехла (массив Де-Лонга); 11 – Ляховская зона складчато-надвиговых дислокаций; 12 – Новосибирская складчатая зона; 13 – 17 – морфоструктуры Американо-Азиатского бассейна: 13 – Канадская котловина (океаническая кора, перекрытая осадочным чехлом). 14 – поднятия с корой континентального типа, 15 – впадины (континентальная кора), 16 – континентальный склон; 17 – области неомпенсированного прогибания (осадочные линзы); 18 – крупные прогибы; 19 – наиболее погруженные части; 20 – поднятие внутри прогиба; 21 – поднятия элсмирского фундамента (положительные гравитационные аномалии); 22 – разломы; 23 – фронтальный надвиг хребта Брукса; 24 – условная граница деформированных и недеформированных областей; 25 – свод (вал) Барроу; 26 – зона палеоспрединга (по данным спутниковой альтиметрии); 27 – кромка шельфа; 28 – 29 – 30 – простирации хребтов и впадин на Чукотском аваншельфе.

Анюйско-Чукотская складчатая зона (дополнение)

Алярмаутское поднятие (северо-западнее Билибино) сложено метаморфизованными (до эпидот-амфиболитовой фации) отложениями палеозоя (верхний девон - ранний карбон) и мезозоя (триас и нижний мел).

Верхнедевонские (?) – нижнекаменноугольные кварциты, слюдяные и хлоритовые сланцы



Аньюско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото Каткова С.М., 2006
Нижнекаменноугольные черные, белые и полосчатые известняки



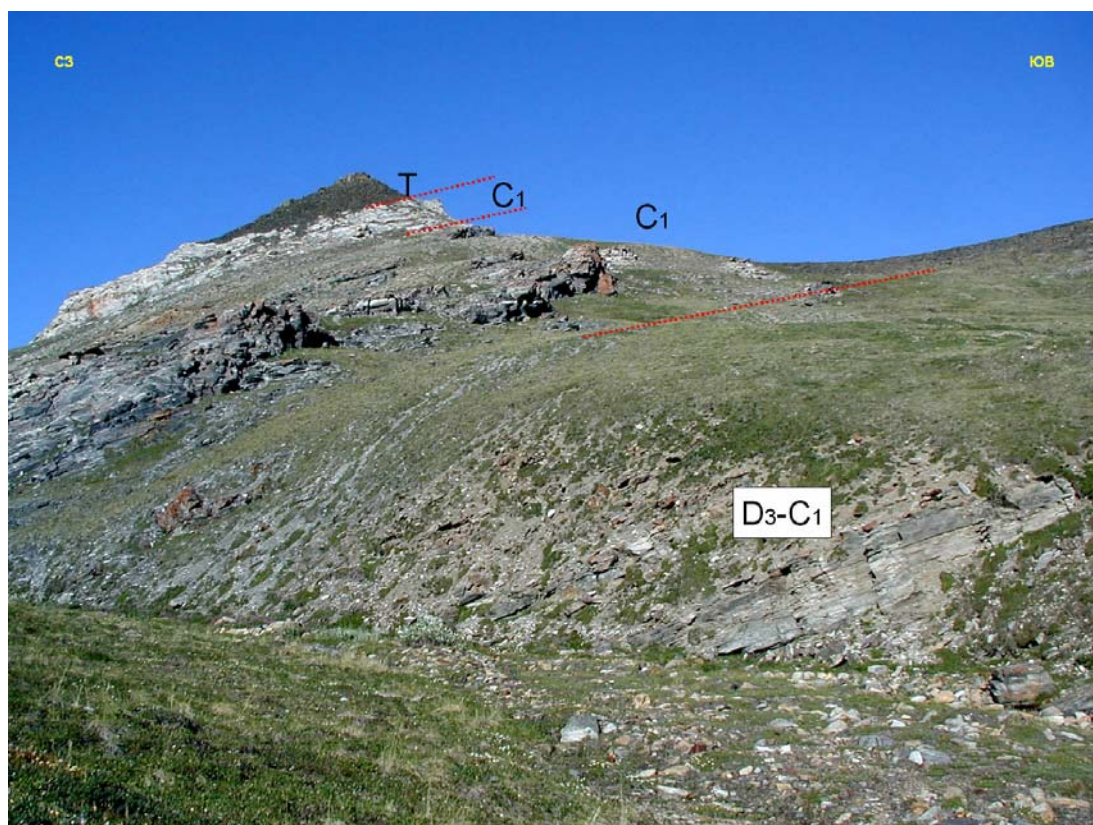
Аньюско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото Каткова С.М., 2006

Т

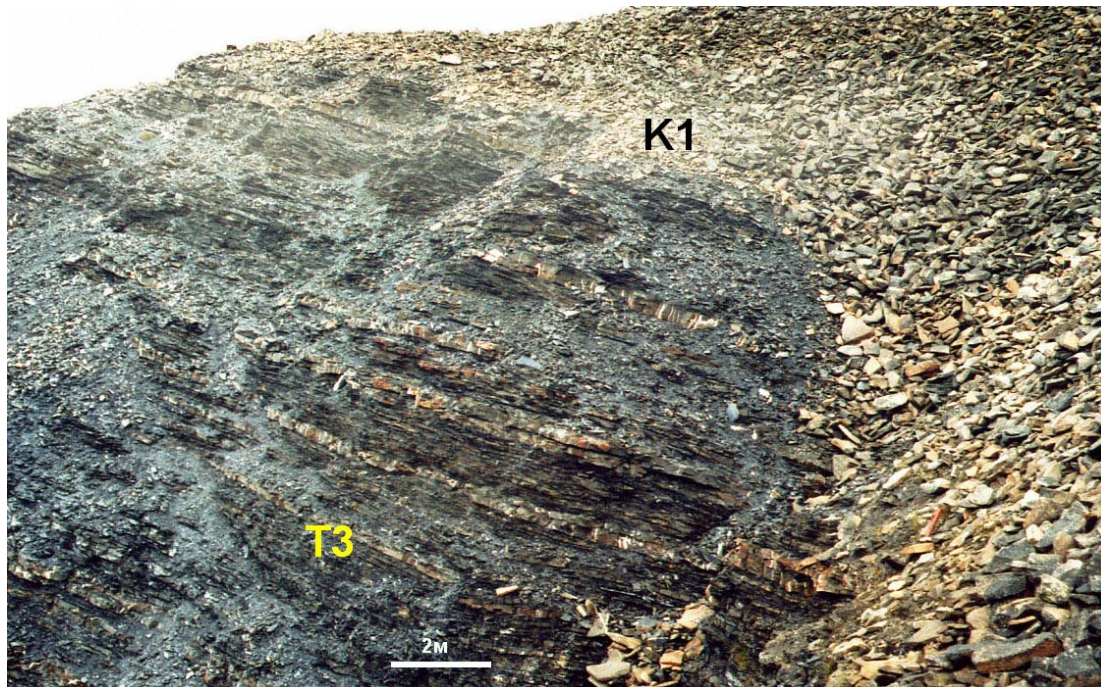
Ритмичные толщи песчаников и алевроитов



Аньюско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото Каткова С.М., 2006



Аньюско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото Каткова С.М., 2006



Анюйско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото Каткова С.М., 2006



Анюйско-Чукотская складчатая зона. Алярмаутское поднятие. Фото J.Того., 2006

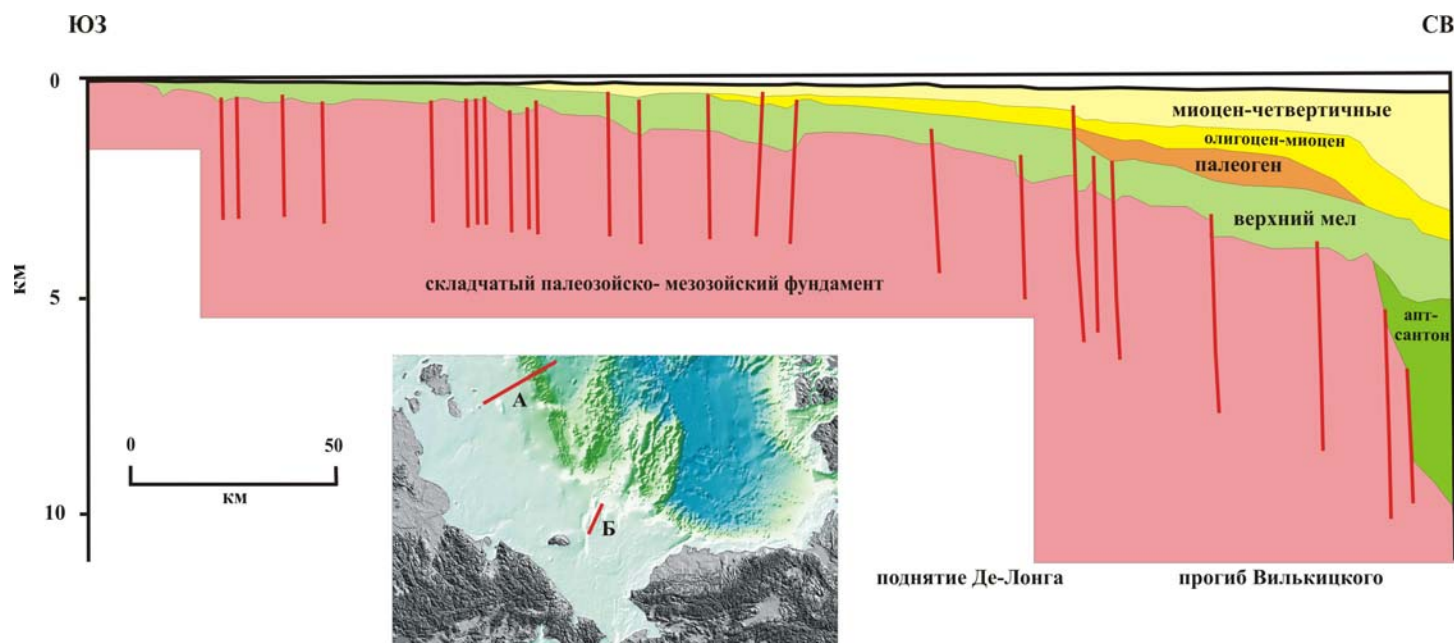
Все породы, а также надвиговые структуры прорваны недеформированными гранитами аптского возраста.

Все простирания структур - субпараллельны береговой линии

Южно-Чукотоморский прогиб протягивается почти на 1300 км от залива Коцебу на Аляске до долготы мыса Шелагского. Он имеет гетерогенное строение и может быть разделен (Ким, 2002) на ряд впадин (с запада на восток): Хоуп, Северо-Шмидтовскую и

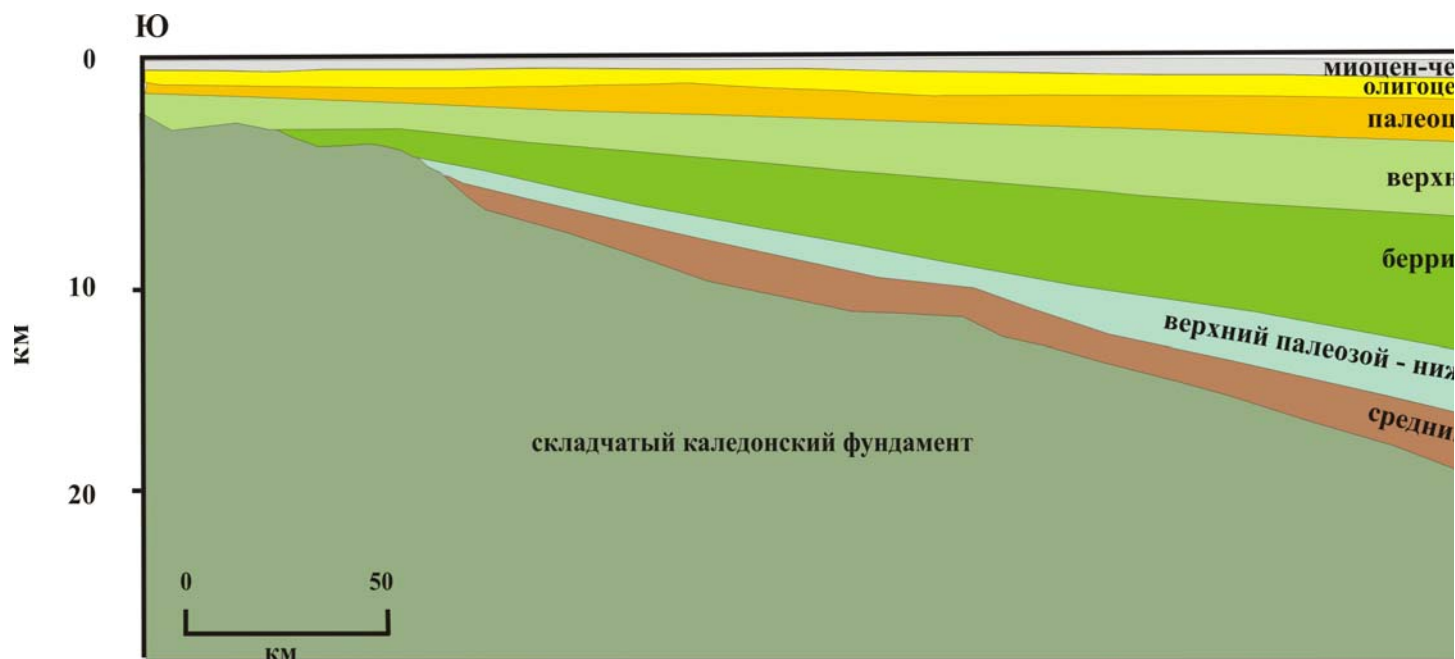
Лонга. Максимальные мощности осадочного чехла составляют соответственно 8200, 2700 и 4000 м. Судя по сейсмическим данным, во впадине Хоуп, основное осадконакопление происходило в апт-альбское и палеогеновое время. Многочисленные разломы практически не затрагивают неоген-четвертичную часть разреза.

Разрез через Восточно-Сибирское море



(Sekretov, 2001)

Разрез через Чукотское море



Виноградов и др., 2002

Северо-Чукотоморский прогиб расположен (Lothamer, 1992) южнее кромки шельфа. По данным спутниковой альтиметрии, он протягивается до прогиба Вилькицкого, но отделен от него поднятием, возможно связанного с зонами разломов. Прогиб представляет собой протяженную структуру с ответвлениями, которые глубоко

проникают в Лонгский массив. Эта рифтоподобная структура осложнена отдельными поднятиями фундамента и имеет несколько переуглубленных депрессий. Судя по изостатическим аномалиям и нескольким сейсмическим событиям (CNSS..., 2002), произошедшими с 1973 по 1986 гг., ее западная часть активно прогибается и в настоящее время. Судя по сейсмическим данным (Grantz et al., 1990), и по градиентным зонам, южным обрамлением прогиба служит флексура, осложненная крутопадающими разрывами того же простирания.

На востоке Чукотского моря тектоническая ситуация более сложная. Здесь расположен т.н. **трог Ханна**, мощности в котором превышают 15 км (National..., 1995, Sherwood et al., 2002). Он рассматривается как рифт девон-пермского возраста, который представляет собой асимметричную структуру с пологим западным бортом и крутым – восточным. Трог Ханна расположен на простирании Чукотского бордерленда и влияние субмеридиональных структур прослеживается до южной границы Южно-Чукотоморской впадины (порог Коцебу с которым связана активная современная сейсмическая активность CNSS..., 2002). В пределах американского сектора (Lothamer, 1992), сейсмическими работами установлена система правых сдвигов (сдвиговая зона Ханна) субмеридионального простирания с развитием от палеоцена до среднего эоцена. Вертикальные смещения в некоторых местах достигают 3000 м
