

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Харитонов А.Л. Результаты использования статистико-вероятностных способов для прогноза УВ-гидратов в Лаптевоморском сегменте Арктики // Арктика и Антарктика. 2025. № 4. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.4.77045
EDN: QIDQUW URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=77045

Результаты использования статистико-вероятностных способов для прогноза УВ-гидратов в Лаптевоморском сегменте Арктики

Харитонов Андрей Леонидович

ORCID: 0000-0002-0843-452X

кандидат физико-математических наук

ведущий научный сотрудник; лаборатория главного магнитного поля Земли; Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

108818, Москва, Десеновское, 3-я Нововатулинская, д.7, кв.56

✉ Haritonov-magnit@yandex.ru



[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.4.77045

EDN:

QIDQUW

Дата направления статьи в редакцию:

01-12-2025

Аннотация: Предметом исследования настоящей работы является анализ особенностей использования статистико-вероятностных способов адаптированных для прогнозирования квази-эллипсоидных геоморфонеоднородностей с наличием в их пределах осадочных углеводород-насыщенных пористых пород (углеводородных гидратов и скоплений природного газа) в Лаптевском морском и прибрежном сегментах Арктики. Объектом исследования настоящей работы являются углеводород-перспективные квази-эллипсоидные структуры в осадочном чехле земной коры на арктической акватории моря Лаптевых. Актуальность настоящей работы определяется использованием относительно недорогих по своей стоимости математических методов, используемых для статистико-вероятностного прогнозирования квази-эллипсоидных геоморфонеоднородностей потенциального накопления углеводородосодержащих гидратов и скоплений природного газа, в условиях сокращения финансовых инвестиций

и расходов нефтегазовых компаний на геолого-разведочные работы. В качестве методологии поиска углеводородных гидратов и скоплений природного газа используются методы математического (вероятностного) прогнозирования. Научная новизна исследования заключается в том, что по рассчитанным значениям статистико-вероятностных параметров впервые для 48-и квази-эллипсовидных геоморфонеоднородностей на акватории моря Лаптевых и прилегающих прибрежных областях, по трем видам различных геолого-геофизических данных был сформирован список углеводород-перспективных квази-эллипсовидных геоморфонеоднородностей. Выводы исследования заключаются в том, что в результате проведено статистико-вероятностное прогнозирование зон потенциального накопления углеводородных гидратов и скоплений природного газа на территории морской и прибрежной материковой частей Лаптевоморского сегмента Российской Арктики. Практическая значимость настоящей работы связана с тем, что в результате проведенных исследований можно в определенных углеводород-перспективных областях выполнять морские сейсморазведочные работы, проводить разведочное бурение.

Ключевые слова:

Лаптевский морской сегмент, квази-эллипсовидные геоморфонеоднородности, углеводород-содержащие гидраты, совокупность геофизических данных, статистико-вероятностные способы, морской сегмент Арктики, материковый сегмент Арктики, критерий Колмогорова, аномалии магнитного поля, срединно-океанический хребт Гаккеля

Введение

Изучением нефтегазовой перспективности Лаптевского морского и прибрежных сегментов Арктики занимались разные исследователи. Приведем некоторые публикации на эту тему [\[1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8\]](#). Регион моря Лаптевых находится в особой тектонической зоне Российской Арктики, отличной от всех остальных морей этого региона, поскольку в центральной части этого моря расположен срединно-океанический хребт (СОХ) с линзой разогретых мантийных пород под ним, внедрившихся в земную кору близко к поверхности морского дна [\[1\]](#). В настоящей работе для выполнения статистико-вероятностного прогноза зон постепенного накопления УВ-гидратов и скоплений природных углеводородов (СПУВ) в пределах Лаптевского морского и прибрежных сегментов Арктики будут использованы собранные автором многочисленные ранее выполненные измерения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [\[9\]](#), спутниковые геомагнитные [\[10\]](#) измерения или опубликованные геолого-геофизические данные (ГГД) [\[2\] \[19\]](#). В некоторых работах предполагается, что часть УВ-гидратов и СПУВ может быть расположена в пределах квази-эллипсовидных геоморфонеоднородностей (КЭ ГМН) кристаллического фундамента (КФ), связанных с внедрением астеносферно-термальных диапиров (АТД) [\[9\]; \[11\]; \[12\]](#), расположенных в сейсмоактивной зоне СОХ Северного Ледовитого океана (СЛО). Такие КЭ ГМН, связанные с внедрением АТД в земную кору также были выделены автором настоящей статьи по разным категориям ГГД на поверхности КФ в пределах шельфового и прибрежного материкового арктических сегментов Лаптевоморского региона (рис. 1).

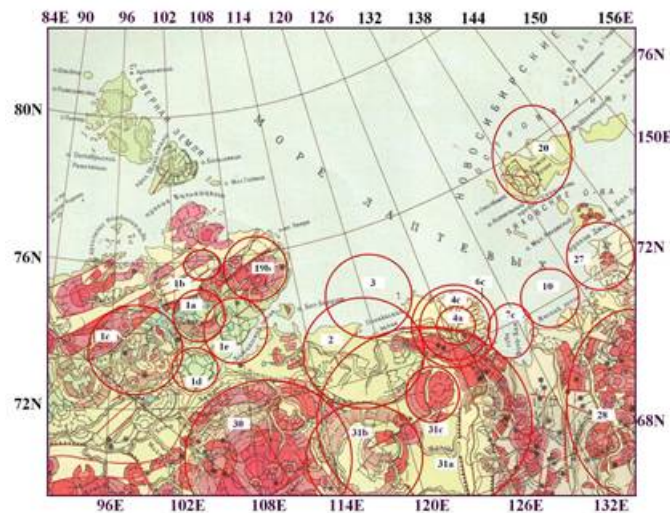


Рис. 1. Часть карты квази-эллипсовидных геоморфонеоднородностей кристаллического фундамента, выделенных по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в Лаптевском шельфовом и прибрежном сегментах Арктики [9, с дополнениями автора]. Названия и номера КЭ ГМН КФ, расположенных в Лаптевском морском и прибрежном сегментах Российской Арктики: 1а – Таймырозерная, 1b – Нижнетаймырская, 1с – Верхнетаймырская, 1d – Новохатангская, 1е – Портнягинозерная, 2 – Буолкалахская, 3 – Оленекозаливная, 4а – Нижнеленская, 4с – Дельталенская, 6с – Мореленская, 7с – Буорхайская, 10 – Нижнеянская, 19b – Прончищевская, 20 – Бунгеевская, 27 – Эбеляхская, 28 – Верхнеянская, 30 – Котуйканская, 31а – Молодовская, 31b – Биректенская, 31с – Кыстыкская.

Согласно имеющимся научным данным [7]; [9]; [11]; [12]; [14]; [15], в ходе продолжительных процессов мантийной дегазации из магматических очагов АТД, локализованных в мантийных структурах под акваторией СОХ СЛО, на протяжении многомиллионнолетней эволюции магматических систем, обусловленных геодинамикой литосферных блоков, осуществлялась эмиссия газотермальных и гидротермальных потоков УВ-флюидов, характеризующихся разнородным геохимическим составом, включая метан и иные природные углеводороды (ПУВ). Газотермальные эманации флюидов, характеризующиеся существенным содержанием ПУВ, посредством миграции через систему тектонических нарушений и иных дизъюнктивных дислокаций литосферы в области локализации КЭ ГМН КФ на акваториях, прилегающих к Арктическому СОХ, могли поэтапно накопиться в литологических и структурных ловушках, в указанных пределах Лаптевоморской зоны вероятной аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ. В качестве одного из перспективных в газоносном отношении районов можно выделить акваторию и прибрежный сегмент моря Лаптевых. В его пределах автором настоящего исследования были идентифицированы КЭ ГМН КФ, демонстрирующие сходство с аналогичными образованиями, установленными на прибрежной (материковой) части данного региона (см. рис.1). В данном исследовании основное внимание сосредоточено на акватории моря Лаптевых и прилегающих территориях Юго-Восточной Арктики, ограниченных следующими географическими координатами: $\lambda_1 = 102^\circ$ в.д., $\varphi_1 = 72^\circ$ с. ш.; $\lambda_2 = 138^\circ$ в.д., $\varphi_2 = 72^\circ$ с. ш.; $\lambda_3 = 102^\circ$ в.д., $\varphi_3 = 82^\circ$ с. ш.; $\lambda_4 = 138^\circ$ в.д., $\varphi_4 = 82^\circ$ с. ш. Следует отметить, что территория моря Лаптевых, равно как и весь регион Юго-Восточной Арктики, на текущий момент характеризуется недостаточной степенью изученности, что препятствует реализации надежно-обоснованного разведочного бурения в данном

районе. В рамках данного исследования Лаптевоморская тектоническая зона и прилегающие прибрежные сибирские регионы определяются как территория, включающая зону СОХ в пределах юго-восточного сегмента СЛО, локализованная восточнее острова Комсомолец и западнее острова Котельный. На северо-западной и северо-восточной периферии исследуемой Лаптевоморской тектонической зоны располагаются фрагментарные участки подводных депрессий Нансена и Амундсена, принадлежащие к ее южным секторам. Кроме того, к исследуемой территории Лаптевоморского региона отнесены прибрежные арктические районы материковой части Северо-Восточной Азии, простирающиеся от мыса Челюскин, расположенного на полуострове Таймыр до устья сибирской реки Хрома.

Используемые данные

В пределах материковой зоны юго-восточного сегмента Российской Арктики, в районе моря Лаптевых (см. рис. 1), автором настоящего исследования идентифицирован ряд крупных КЭ ГМН КФ. К ним относятся следующие КЭ ГМН КФ: 1а – Таймырозерная, 1b – Нижнетаймырская, 1с – Верхнетаймырская, 1d – Новохатангская, 1е – Портнягинозерная, 2 – Буолкалахская, 3 – Оленекозаливная, 4а – Нижнеленская, 4с – Дельталенская, 6с – Мореленская, 7с – Буорхайская, 10 – Нижнеянская, 20 – Бунгеевская, 27 – Эбеляхская, 28 – Верхнеянская, 30 – Котуйканская, 31а – Молодовская, 31b – Биректенская, 31с – Кыстыкская (см. рис. 1).

В контрасте с материковой (прибрежной) зоной Лаптевоморского региона (см. рис. 1), где идентификация КЭ ГМН КФ осуществлялась посредством спутниковых ГГД (ДЗЗ), в морской части указанного региона применение дистанционных зондирующих методик оказалось технически неосуществимым. Данное ограничение было обусловлено присутствием мощного водного покрова (достигающего тысячи метров) в пределах исследуемой части акватории Северного Ледовитого океана. В связи с вышеизложенным, для картирования КЭ ГМН КФ в морской зоне Лаптевоморского региона были задействованы альтернативные категории ГГД, в частности – данные геомагнитной съёмки (см. рис. 2).

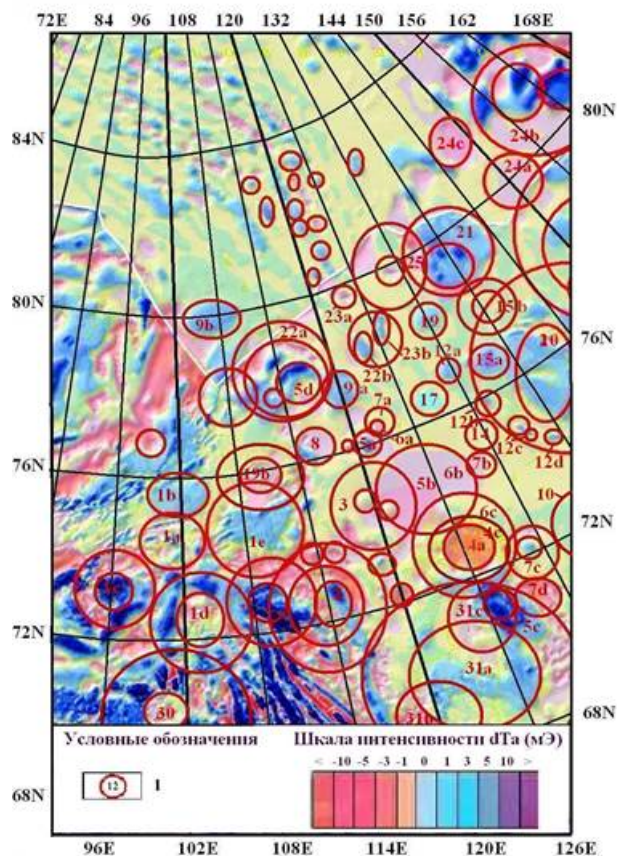


Рис. 2. Фрагмент картографического материала, отражающего аномальное магнитное поле (АМП) северо-восточной части территории Российской Федерации и смежных акваториальных пространств (моря Лаптевых) [10, с дополнениями автора]. Условные обозначения: изолинии, характеризующие распределение величин АМП (dT_a , в миллиэрстедах). 1 – зоны географического месторасположения квази-эллипсоидных геоморфонеоднородностей (КЭ ГМН КФ): 1a – Таймырозерная; 1b – Нижнетаймырская; 1c – Верхнетаймырская; 1d – Новохатангская; 1e – Портнягинозерная; 2 – Буолкалахская; 3 – Оленекозаливная; 4a – Нижнеленская; 4c – Дельталенская; 5a – Торосная-1; 5b – Льдограничная-1; 5c – Джарджанская; 5d – Малотаймырская; 6a – Торосная-2; 6b – Льдограничная-2; 6c – Мореленская; 7a – Торосная-3; 7b – Пристолбовая; 7c – Буорхайская; 7d – Бесюкеская; 8 – Островопетровская; 9a – Прикомсомольская; 9b – Мысопесчаная; 10 – Нижняянская; 12a – Бельковецкая; 12b – Прибельковская; 12c – Пристолбовая; 12d – Прималоляховская; 14 – Восточнолаптевская; 15a – Проливзаярская; 15b – Южноломоносовская; 17 – Центролаптевская; 19 – Южноамундсенская; 19b – Прончищевская; 20 – Бунгеевская; 21 – Ломоносовская; 22a – Нансеновская-1; 22b – Нансеновская-2; 23a – Гаккелевская-1; 23b – Гаккельская-2; 24a – Южподводниковские; 24b – Севподводниковская; 24c – Заподводников; 25 – Амундсеновская; 27 – Эбеляхская; 28 – Верхоянская; 30 – Котуйканская; 31a – Молодрвская; 31b – Биректенская; 31c – Кыстыкская. Наименование прочих КЭ ГМН КФ, локализованных в морской и прибрежной материковой зонах исследуемого Лаптевоморского района, представлено в подписях под рис. 1.

В настоящей работе подлежит оценке потенциальная перспективность КЭ ГМН КФ (проиллюстрированных на рис. 1 и рис. 2) в контексте выявления новых зон аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ. На текущий момент в геобанках РФ аккумулирован обширный массив разномасштабных ГГД, полученных посредством пяти базовых методов геологоразведочных исследований (ГРИ): сейсморазведки, гравиметрии, космоаэромагнитометрии, геотермии, электрометрии. В рамках данного исследования

предлагается апробировать статистико-вероятностный подход, интегрирующий совместные исследования мультимедисциплинарных категорий ГГД, представленных в виде различных геофизических полей (в частности, космоаэромагнитных и данных морской сейсморазведки). Указанная методика нацелена на оценку газоносности ряда КЭ ГМН КФ, идентифицированных автором на акватории моря Лаптевых и его прибрежной материковой зоне на основе: космоаэромагнитных данных [10], структурно-тектонических материалов [8]. Эти категории ГГД позволяют сформировать представление о КЭ ГМН КФ субокеанического и переходного типа коры Лаптевоморского региона. С опорой на цитируемые научные источники можно выделить следующие категории ГГД для проведения их физико-математического анализа: мощность земной коры (H_K) [17], мощность осадочного слоя (H_O) [16], аномалии теплового потока (Q) [18], [19], нередко локализованные в пределах КЭ ГМН КФ [9]. Их формирование связано с внедрением АТД [11], [12], через тектонические элементы которых осуществляется интенсифицированный тепломассоперенос УВ-флюидов в осадочный слой океанической коры. Обоснование выбора этих категорий ГГД (H_O , H_K , Q) для прогнозирования газоносности КЭ ГМН КФ на акватории моря Лаптевых и прибрежных материковых регионах базируется на результатах предшествующих исследований автора в акваториях Баренцева, Охотского, Чёрного, Каспийского и Адриатического морей. Установлено, что значительная часть зон постепенного накопления УВ-гидратов и СПУВ коррелирует: с повышенными значениями мощности осадочного слоя (H_O) [16]; с пониженными показателями мощности субокеанической коры [17]. Указанные характеристики типично ассоциируются с локализацией газо-перспективных КЭ ГМН КФ, а также зон аккумуляции УВ-гидратов и газовых залежей (см. рис. 3).

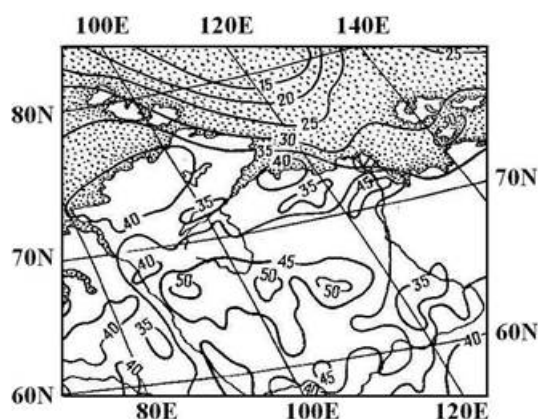


Рис. 3. Фрагмент картографического представления изогипс (изолиний, отображающих вертикальную мощность) океанической коры (H_K), демонстрирующий глубину (в километрах) до поверхности раздела Мохоровичича [17, с дополнениями автора]. Изображение охватывает КЭ ГМН КФ, локализованные в акваториальной и прибрежной (переходной материковой) зонах региона Лаптевоморского региона.

Зоны локализации КЭ ГМН КФ идентифицированные в шельфовой зоне Лаптевоморского бассейна и прилегающих материковых территориях, демонстрируют пространственную сопряженность с ареалами аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ. Учитывая, что генезис преобладающей части КЭ ГМН КФ обусловлен интрузиями АТД [11], [12], сформированных в геологическом прошлом (в палеозойскую эру, Pz), под влиянием интенсифицированного тепломассопереноса разогретого астеносферного материала происходило частичное расплавление пород океанической литосферы и их дегазация

[14]; [15] через структуры субвертикальных тектонических нарушений. Это, в свою очередь, приводило к редукции мощности земной коры (H_K) в областях локализации упомянутых КЭ ГМН КФ. В связи с этим при поиске новых УВ-перспективных КЭ ГМН КФ в Лаптевоморском бассейне и прибрежных материковых зонах представляется рациональным первоочередно осуществить физико-математический анализ следующих категорий ГГД: вертикальной мощности осадочного чехла [16], толщины (субокеанического и переходного субконтинентального типа) земной коры [17]. Кроме того, согласно имеющимся сведениям [14]; [15], через субвертикальные термофлюидопроводящие дизъюнктивные структуры, сформированные АД и ассоциированными с ними КЭ ГМН КФ, на протяжении миллионов лет осуществлялся, а в отдельных районах продолжается и в настоящее время активный тепломассоперенос и миграция УВ-флюидов из астеносферы. В рамках подготовки данной работы был также проведён анализ показателей теплового потока (Q) в пределах всех выделенных автором КЭ ГМН КФ (рис. 2) на акватории моря Лаптевых и на прилегающих материковых территориях. Исходные данные были получены из специализированных цифровых баз теплового потока (Q) [18] и геотермических карт [19].

Особого внимания заслуживает изучение структурно-тектонической схемы (рис.4) бассейна моря Лаптевых и прибрежных материковых территорий.



Рис. 4. Часть структурно-тектонической схемы для акваториальной части Лаптевоморского региона [8, с дополнениями автора]. Легенда к карте: 1. Границы тектонических структур: а) первого порядка; б) второго порядка; 2. Стратоизогипсы, отображающие вертикальную пространственную отметку до подошвы осадочного чехла; 3. Дислокационные разрывы: а) играющие структурообразующую роль; б) вторичного значения; 4. Нумерация тектонических структур; 5. Край шельфовой зоны (бровка); 6. КЭ ГМН КФ; 7. Тектонические элементы: а) антеклизы; б) синеклизы; в) тектонические террасы; г) зоны чередования депрессионных и горстовых структур; Наименования прочих выявленных КЭ ГМН КФ приведены в подрисуночных комментариях к рис. 1.

Данный картографический материал (рис. 4) позволяет: визуализировать расположение глубинных тектонических разломов; охарактеризовать их морфологические параметры

(форму и протяжённость); выявить сегментацию КЭ ГМН КФ на обособленные грабенообразные депрессии и горстообразные поднятия (так называемые геоструктуры типа «разбитая тарелка»). На основании анализа структурно-тектонической карты (рис. 4) установлено, что территория Лаптевоморского региона характеризуется наличием ряда дугообразных глубинных тектонических разломов. Указанные разломы, вероятно, формируют ограничивающие контуры шести ключевых КЭ ГМН КФ, идентифицированных как: Хатангская (1е); Южнолаптевская (2а, б, 3, 4а, 4с, 5а, 6а, 6с, 7а); Нансен-Гаккель-Амундсенская (5д, 9а, 22б, 23а, 23б, 25); Подводниковская (24с); Новосибирская (12а, 12б, 12с, 14, 15а, 15б, 17, 19, 20, 24а); Верхоянская (7с, 10, 27). Помимо основных КЭ ГМН КФ, внутри них выявлены подчинённые неоднородности меньшего порядка, также обладающие квазиэллипсоидной морфологией (см. рис. 2). Картографические материалы (рис. 4) содержат сведения: о географических координатах; о морфологических характеристиках; о пространственных параметрах тектонических границ, разделяющих депрессионные (грабеновидные) и приподнятые (горстовидные) сегменты КЭ ГМН КФ; о распределении мощности осадочных пород. Результаты независимого анализа, положенные в основу построения рис. 5 (демонстрирующего фрагментацию КЭ ГМН КФ под воздействием тектонических разломов), обнаруживают статистически значимую корреляцию с неоднородностями, выделенными автором настоящего исследования. Последние были идентифицированы на основании специфики распределения значений модуля аномального магнитного поля, визуализированных на карте (рис. 2).

Методы исследования

Для прогнозирования газоперспективности КЭ ГМН КФ в акваториальной и прибрежной материковой зонах Лаптевоморского региона предлагается применить аппарат теории вероятностей и математической статистики [20]. В качестве исходных данных используются три категории ГГД: H_K - мощность земной коры, H_O - мощность осадочного слоя, Q - величина теплового потока. Принятие статистических решений о наличии либо отсутствии характерных значений указанных категорий ГГД (H_K , H_O , Q) опирается на методологию проверки статистических гипотез первого и второго рода [20]. В качестве эталонных ориентиров выступают данные по нефтегазоносным областям ряда морских акваторий Российской Федерации (Баренцева, Охотского, Каспийского, Чёрного, Адриатического морей). Для верификации статистических гипотез требуется анализ следующих информационных массивов: гистограмм распределения $N(F)$; графиков плотности вероятности для гипотез присутствия $p(F_{i1})$ и отсутствия $p(F_{i0})$ аномальных значений, в исследуемых категориях ГГД. На основании цифровых ГГД, извлечённых из картографических материалов [16]; [17]; [18]; [19], осуществлён расчёт и построение эталонных гистограмм $N(F_i)$ по трём категориям ГГД (H_K , H_O , Q). Гистограмма, аналогично классическому определению вероятности, отражает распределение частот $N(F_i) = n/m$, где: m - количество наблюдений, соответствующих определённому значению F_i ; n - общее число значений в ряду случайных величин конкретной категории ГГД [20]. Фиксированную выборку из n исследуемых значений $f(x_j)$ для некоторой категории ГГД $F(x_j)$ обозначим как:

$$F_i(x_j) = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)] = [H_O(x_1), H_K(x_2), Q(x_k)] \quad (1)$$

На рисунке 5 продемонстрированы репрезентативные статистические гистограммы,

иллюстрирующие характер распределения числовых значений последовательностей следующих категорий ГГД: мощности осадочного слоя $N(H_O)$ [16], мощности субокеанической и коры переходного типа $N(H_K)$ [17], а также величины теплового потока $N(Q)$ [18]; [19]. Указанные данные были зарегистрированы в пределах эталонных нефтегазоносных регионов (рис. 5).

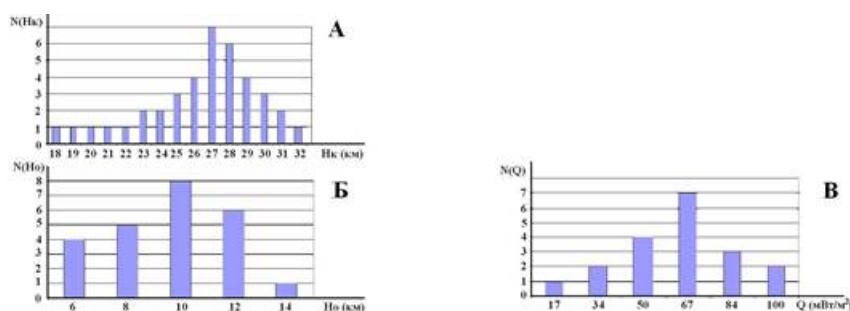


Рис. 5. Гистограммы, репрезентативные для эталонных нефтегазоносных провинций в акваториальных зонах различных морских бассейнов, сконструированы на основе следующих категорий ГГД: А - толщина океанической коры (H_K), реконструированная по материалам оцифрованных картографических источников [2]; [17]; Б - мощность осадочного комплекса пород (H_O), полученная посредством обработки данных оцифрованных карт [16]; В - величины теплового потока (Q), извлечённые из оцифрованных картографических материалов [18]; [19].

На основании анализа эталонной гистограммы $N(H_K)$, представленной на рисунке 5А, установлено, что значительная часть нефтегазоносных провинций, локализованных в акваториальных зонах ряда морей РФ, приурочена к территориям со средне-статистически сниженными показателями мощности переходной (субокеанической) коры. В частности, среднее значение данного параметра в указанных регионах составляет $H_K = 27$ км [2]; [17], что демонстрирует отчётливое отклонение в сторону уменьшения относительно общего шельфового усреднённого показателя по морским акваториям РФ, равного $H_K = 33$ км [1]. Согласно данным эталонной гистограммы (рис. 5Б), максимальный зафиксированный показатель мощности осадочного комплекса в пределах некоторых нефтегазоносных акваторий РФ достигает приблизительно 10 км [16]. Эталонная гистограмма $N(Q)$, приведённая на рисунке 5В, свидетельствует о том, что в современный геологический этап значения плотности теплового потока в исследованных нефтегазоносных акваториальных областях РФ характеризуются усреднённым показателем порядка $Q = 67$ мВт/м² [18]; [19].

В последующем этапе исследования требовалось осуществить верификацию соответствия значений, полученных на основе эталонных гистограмм и статистических плотностей распределения, определённому типу теоретической функции плотности распределения (включая нормальное распределение Гаусса, логнормальное, равномерное, распределение Пуассона, критерий Пирсона, распределение Стьюдента, распределение Фишера, гамма-распределение и прочие) [20]. С целью проведения данной проверки был применён критерий согласия Колмогорова [20], формальная запись которого имеет следующий вид:

$$\lambda = D * [\sqrt{n}], \quad (2)$$

$$D = \max |Y_n(x) - Y(x)| \quad (3)$$

В приведённых выражениях (2) и (3) параметр D представляет собой максимальное значение модуля отклонения статистической (эмпирической) функции распределения $Y_n(x)$ от теоретической функции распределения $Y(x)$. Степень согласованности указанных функций оценивается посредством справочных таблиц [20]. Результаты количественного анализа, выполненного с применением критерия согласия Колмогорова [20], демонстрируют, что эмпирические распределения статистико-вероятностных параметров (СВП) для Лаптевоморского региона (плотности распределения $p(H_K)$ мощности субокеанической коры, плотности распределения $p(H_O)$ мощности осадочного слоя, плотности распределения $p(Q)$ теплового потока) проявляют статистическую близость к нормальному (гауссовому) закону распределения (см. рис. 6).

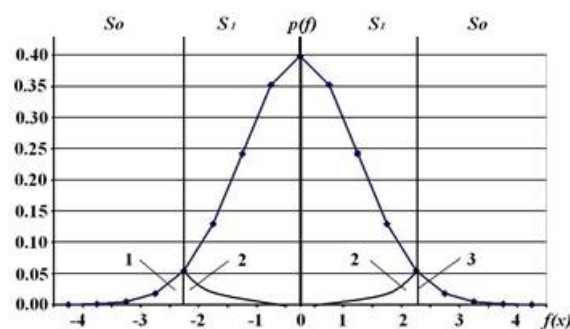


Рис. 6. Графическое представление теоретической кривой плотности распределения $p(f)$, соответствующей нормальному (гауссовому) закону распределения для следующих категорий ГД, характерных для нефтегазоносных акваторий морей РФ: мощности земной коры (H_K); мощности осадочного чехла (H_O); величины теплового потока (Q).

Обозначения областей 1 и 3 на графике: область отклонения нулевой гипотезы S_0 (предположение об отсутствии аномалии), характеризующаяся опорными значениями: $f_0 = H_K(0) > 40$ км и $f_0 = H_K(0) < 14$ км; $f_0 = H_O(0) < 2$ км; $f_0 = Q(0) < 27$ мВт/м²; 2 - область принятия альтернативной гипотезы S_1 (предположение о наличии аномалии), определяемая интервалами: $f = f_0 \pm \Delta f(a/2) = H_K(0) \pm \Delta H_K = 27 \pm 13$ км; $f = f_0 \pm \Delta f(a/2) = H_O(0) \pm \Delta H_O = 10 \pm 8$ км; $f = f_0 \pm \Delta f(a/2) = Q(0) \pm \Delta Q = 67 \pm 40$ мВт/м²; Используемые статистические параметры: α - вероятность совершения ошибки первого рода (ошибочного отклонения нулевой гипотезы); β - вероятность совершения ошибки второго рода (необоснованного принятия нулевой гипотезы); h - пороговый уровень, используемый при принятии статистического решения.

На основании выполненных вычислительных процедур установлено, что параметры мощности субокеанической коры и осадочного чехла Лаптевоморского региона (см. рис. 6) демонстрируют соответствие нормальному закону распределения Гаусса. По результатам анализа эмпирических данных была сконструирована кривая условной плотности распределения $p(Q)$ значений теплового потока. Аппроксимация осуществлялась посредством нормального (гауссового) закона распределения [20]. При этом базовое значение теплового потока определено как $Q(0) = 67$ мВт/м² на основе

измерений, проведённых в границах ключевых нефтегазоносных зон акваториальных и прибрежных материковых областей Лаптевоморского региона. Анализ графического материала, представленного на рис. 6, позволяет выявить следующее: в рамках принятой эталонной модели плотности распределения Гаусса $p(f_{i1})$ для мощности осадочного чехла на акватории Лаптевоморского региона идентифицируются две характерные зоны (α , β), ассоциированные с ошибками первого и второго рода соответственно. Вероятность совершения ошибки первого рода, подразумевающей идентификацию ложной аномалии (α), формализуется посредством следующего интегрального выражения:

$$\alpha = \int p(f_{i0}) d\Omega(f) \quad (4)$$

В формуле (4) величина $d\Omega(f)$ представляет собой n -мерное пространство выборочных значений, соответствующих определённой категории ГГД.

Показатель вероятности ошибки второго рода (то есть вероятность не обнаружить существующую аномалию), обозначаемый символом β , задаётся при помощи приведённого ниже интегрального выражения:

$$\beta = \int p(f_{i1}) d\Omega(f) \quad (5)$$

На основании анализа графических представлений эталонных (теоретических) функций распределения, характеризующих различные категории ГГД, аккумулированных в пределах территорий, ассоциируемых с перспективными нефтегазоносными областями Лаптевоморского региона (см. рис.6), было осуществлено вычисление априорных вероятностей ошибок первого и второго рода ($P_a(f_{i0})$, $P_a(f_{i1})$). Путем суммирования статистических параметров α и β , зарегистрированных в областях пересечения кривых плотности распределения (см. рис.6), становится возможным расчёт величины среднего риска принятия решения согласно соответствующей формуле:

$$r(h) = C_\alpha \times P_a(f_{i0}) \times \alpha + C_\beta \times P_a(f_{i1}) \times \beta, \quad (6)$$

В рассматриваемой модели $P_a(f_{i1})$ и $P_a(f_{i0})$ представляют собой априорные вероятности выдвинутых гипотез, то есть соответственно, о присутствии (f_{i1}) и об отсутствии (f_{i0}) искомой полезной аномалии. Параметры C_α и C_β обозначают стоимостные показатели (величины потерь), соответствующие ошибкам первого и второго рода соответственно. На основании выше указанных статистико-вероятностных параметров осуществлялся расчёт критического порога принятия решения (h), который осуществляет разделение пространства значений $d\Omega(f)$ применяемой категории ГГД на две взаимоисключающие области: S_1 и S_0 . Данные области характеризуются условными плотностями распределения вероятностей $p(f_{i1})$ и $p(f_{i0})$ (см. рис.6). В результате минимизации среднего риска в рамках байесовского критерия было получено значение порога принятия решения, которое определяется следующим образом:

$$h = [C_\alpha \times P_a(f_{i0})] / [C_\beta \times P_a(f_{i1})], \quad (7)$$

В дальнейшем для каждой категорий ГГД, представленных в форме оцифрованных картографических материалов [16] – [19], в границах 46-и исследуемых КЭ ГМН КФ (включая акваториальную часть и прибрежные материковые зоны Лаптевоморского региона) выполнялось вычисление среднестатистического показателя по каждой категории ГГД. После этого для полученного среднего значения конкретной категории

ГГД в пределах каждой из упомянутых КЭ ГМН КФ осуществлялся расчёт коэффициента правдоподобия (Λ). Процедура базировалась на сопоставлении эмпирического распределения с эталонным (теоретическим) графиком плотности распределения. Расчёт проводился индивидуально для каждой из анализируемых КЭ ГМН КФ согласно приведённой в источнике [20] формуле:

$$\Lambda(\Phi_i) = [p(f_{i1}) / p(f_{i0})] \quad (8)$$

В рамках проведённого исследования для каждой из анализируемых КЭ ГМН КФ осуществлялось сопоставление расчётного порогового показателя h , установленного на основании отдельных категорий ГГД на акватории Лаптевоморского региона, с величиной коэффициента правдоподобия Λ . При условии, что значение коэффициента правдоподобия (Λ) для конкретной КЭ ГМН КФ превышало пороговое значение h , соответствующее рассматриваемой категории ГГД, принималось решение в пользу гипотезы наличия аномалии данного типа (f_1). В противном случае формулировалась гипотеза об отсутствии аномалии (f_0) в пределах указанной КЭ ГМН КФ. В случаях, когда коэффициент правдоподобия (Λ) превышал пороговое значение h , производился расчёт вероятности для каждой, из исследуемых, КЭ ГМН КФ, по каждой категории ГГД. Расчёт выполнялся на основе значений эталонной (теоретической) плотности распределения. Для реализации данной процедуры использовался график одномерной теоретической плотности распределения $p(f_{i1})$, локализованный в области S_1 . Установлено, что теоретическая плотность распределения $p(f_{i1})$ случайного процесса характеризует вероятность попадания значений данного процесса в заданный интервал Δf_i в произвольный момент позиционирования (x) на измерительном профиле. При этом вероятностная мера $P(f_i)$ и теоретическая плотность распределения $p(f_{i1})$ рассматриваемого случайного процесса допускают аналитическое представление посредством следующего математического выражения [20]:

$$P\{[f_i(x)]_1 - \Delta f_i < [f_i(x)]_1 < [f_i(x)]_1 + \Delta f_i\} \approx p(f_{i1}) \times \Delta f_i \quad (9)$$

На основании выражения (9) устанавливается, что вероятность $P(f_{i1})$ возникновения конкретного события (аномалии определённой категории ГГД) (f_i) с точностью, определяемой величиной интервала (Δf_i), соответствует значению теоретической плотности распределения $p(f_{i1})$ случайного процесса. Указанные плотности распределения для анализируемых категорий ГГД визуализированы на рис.6.

В рамках исследования 48-и КЭ ГМН КФ акватории и прибрежных материковых областей Лаптевоморского региона первоначально осуществлялось определение оптимального количества точек измерений для каждой, из указанных КЭ ГМН КФ. С применением изложенных статистико-вероятностных способов обработки данных для всех рассматриваемых КЭ ГМН КФ был выполнен расчёт вероятностей по трём исследуемым категориям ГГД в границах каждой из 48-и неоднородностей, расположенных на акватории моря Лаптевых и прилегающих материковых областях.

Для формирования итогового результата исследования по указанным статистико-вероятностным параметрам трёх используемых категорий ГГД $P_i(f)$ (где i обозначает порядковый номер конкретной категории ГГД) проводилась оценка среднестатистического значения вероятности $P_c(f)$ в пределах каждой из 48-и КЭ ГМН КФ. Следует отметить, что при вычислении значений суммарных вероятностей для всех

исследуемых категорий ГГД (H_K , H_O , Q) принимаются во внимание статистически независимые категории ГГД. В данном случае фиксация одного из независимых статистических явлений не приводит к изменению значения произведения вероятностей при появлении других статистических явлений, принадлежащих к иной категории ГГД.

Результаты исследований

В данном разделе настоящей публикации изложены итоги использования статистико-вероятностных аналитических методов применительно к трём категориям ГГД (H_K , H_O , Q). На основании проведённых исследований сформулирован прогноз локализации потенциальных зон активной аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ в акваториальной и прибрежных материковых зонах Лаптевоморского региона. В ходе реализации статистико-вероятностных способов анализа, базирующегося на трёх разновидностях ГГД, были осуществлены расчёты для 48-и КЭ ГМН КФ, локализованных в пределах акватории и прибрежных материковых зон Лаптевоморского региона. Полученные количественные показатели подверглись систематизации и были структурированы в форме соответствующей таблицы.

Таблица № 1. Результаты анализа статистико-вероятностных характеристик (в процентном выражении) УВ-перспективности 48-и квазиэллипсовидных структур осадочного чехла, связанных с КЭ ГМН КФ на акватории моря Лаптевых и прибрежных материковых областях.

№	Название КЭ ГМН, ее индекс	$P(H_O)$	$P(H_K)$	$P(Q)$	$P_c(f),\%$
1	Таймырозерная – 1a	> 1	5-33	85	30-40
2	Нижнетаймырская – 1b	> 1	5	80	29
3	Верхнетаймырская – 1c	75	31	85	64
4	Новохатангская - 1d	33-75	31	68	44- 58
5	Портнягиноозерная – 1e	33-75	12	97	47- 61
6	Буолкалахская – 2	1	60	75	45
7	Оленекозаливная – 3	99	99	95	98
8	Нижнеленская – 4a	33	60	75	56
9	Дельталенская – 4c	90	95	75	87
10	Торосная-1 – 5a	99	70	75	81
11	Льдограничная-1 – 5b	32	98	88	73
12	Малотаймырская – 5d	72	12	53	46
13	Торосная-2 – 6a	32	70	75	59
14	Льдограничная-2 – 6b	32	98	88	73
15	Малотаймырская – 6c	33	95	75	67

15	мореленская – 6с	32	95	75	67
16	Торосная-3 – 7а	99	70	75	81
17	Пристолбовая – 7b	60	98	92	83
18	Буорхайская – 7с	99	95	76	90
19	Островопетровская – 8	53	60	70	61
20	Прикомсомольская – 9а	90	12	65	56
21	Мысопесчаная – 9b	90	30	65	62
22	Нижнеянская – 10	2	99	92	64
23	Бельковецкая – 12а	3	60	60	76
24	Прибельковецкая – 12b	10	99	75	61
25	Пристолбовая – 12с	3	95	80	59
26	Прималоляховская – 12d	10	90	90	63
27	Востоchnолаптевская – 14	2	12-99	92	35-64
28	Проливозарьяская – 15а	53	99	75	76
29	Южломоносовская – 15b	99	1-99	60-75	50-91
30	Центролаптевская – 17	53	1-99	70-75	41-76
31	Южноамундсенская – 19	9-33	1	50-65	20-33
32	Прончищевская – 19b	33	31	97	54
33	Бунгеевская – 20	9	12	50	24
34	Ломоносовская – 21	1	1	30	11
35	Нансеновская-1 – 22а	55	1	55	37
36	Нансеновская-2 – 22b	60	33	75	56
37	Гаккелевская-1 – 23а	4	4	92	33
38	Гаккелевская-2 – 23b	60	33	58	50
39	Запподводникская – 24с	10	1	12	8
40	Севподводникская – 24b	10	1	20	10
41	Южподводникская – 24а	72	1	30	34
42	Амундсеновская – 25	4	12	88	35

43	Эбеляхская - 27	1	12	98	37
44	Верхоянская -28	1	0-5	62-95	21-34
45	Котуйканская - 30	1-15	31	28-45	20-30
46	Молодовская – 31a	9	5-31	12-85	9-42
47	Биректенская – 31b	1	31	28	20
48	Кыстыкская – 31c	1	5-31	94	33-42
	Средние значения $P_{ic}(f)$	36-38	41-49	67-70	49-54

Приведённые эмпирические данные (см. таблицу №1) могут выступать в качестве статистико-вероятностных индикаторов при прогнозировании перспективных участков поэтапной аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ в акваториальной и прибрежной (материковой) зонах Лаптевоморского региона. В результате реализации статистико-вероятностного способа аналитического анализа установлено, что наибольшую прогностическую значимость демонстрируют следующие категории ГГД: толщина осадочного комплекса (H_0); интенсивность теплового потока (Q). При этом такая категория, как мощность земной коры (H_K), продемонстрировала пониженную информативность. Вследствие этого данный показатель не обеспечивает достаточной разрешающей способности при идентификации УВ-перспективных КЭ ГМН КФ. На основе расчётов статистических отклонений от средневероятностных значений (см. $P_{ic}(f)$ в табл. №1) выявлено, что высокопотенциальные зоны аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ (выделены жирным шрифтом в крайней колонке табл. №1) в осадочном чехле пространственно ассоциируются со следующими КЭ ГМН КФ (см. рис. 2): Оленекозаливная (3); Дельталенская (4с); Торосная-1 (5а); Льдограничная-1 (5b); Льдограничная-2 (6b); Торосная-3 (7а); Пристолбовая (7b); Буорхайская (7с); Островопетровская (8); Прикомсомольская (9а); Бельковецкая (12а); Проливзаряская (15а); Южломоносовская (15b); Центролаптевская (17). Следует подчеркнуть, что для Южломоносовской (15b) и Центролаптевской (17) КЭ ГМН КФ характерен существенный разброс значений ряда ГГД в пределах их ареалов. В связи с этим их прогностические характеристики варьируются в определённом интервале (см. таблицу № 1), что предполагает наличие как высокоперспективных, так и среднеперспективных участков для локализации зон аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ. Остальные исследуемые КЭ ГМН КФ на текущий момент могут рассматриваться как слабо-перспективные, но возможно еще недостаточно изученные в контексте поиска зон аккумуляции УВ-гидратов и газовых залежей. Это обусловлено дефицитом детализированных ГГД в распоряжении настоящего исследователя. К слабо-перспективным КЭ ГМН КФ можно отнести следующие: Верхнетаймырская (1с); Новохатангская (1d); Портнягиноозерная (1е); Нижнеленская (4а); Торосная-2 (6а); Прикомсомольская (9а); Нижнеянская (10); Прибельковская (12b); Пристолбовая (12с); Прималоляховская (12d); Восточнолаптевская (14); Прончищевская (19b); Нансеновская-2 (22b); Гаккелевская-2 (23b). К категории безперспективных геоморфонеоднородностей, характеризующихся низкими значениями статистико-вероятностного параметра (P_c) в контексте поиска зон аккумуляции УВ-гидратов и газовых скоплений, отнесены следующие КЭ ГМН КФ: Таймыроозерная (1а); Нижнетаймырская (1b); Буолкалахская (2); Малотаймырская (5d); Южноамундсенская (19); Бунгеевская (20); Ломоносовская (21); Нансеновская-1 (22а);

Гаккелевская-1 (23a); Южподводниковская (24a); Севподводниковская (24b); Заподводниковская (24c); Амундсеновская (25); Эбеляхская (27); Верхоянская (28); Котуйканская (30); Молодовская (31a); Биректенская (31b); Кыстыкская (31c).

Заключение

Результаты интерпретации карты аномального магнитного поля (*dTa*) позволили идентифицировать УВ-перспективные КЭ ГМН КФ (см. рис. 2). Указанные КЭ ГМН КФ, как правило, ассоциируются с слабомагнитными породами сконцентрированными на площадях эллиптической формы за счет повышенного теплового потока из АТП, но не затронутыми дизъюнктивными дислокациями в пределах кристаллического основания океанической коры. Данная характеристика не контрастирует с слабомагнитными образованиями осадочного комплекса Лаптевоморского региона. Следует подчеркнуть, что пространственное местораспределение КЭ ГМН КФ, перспективных в отношении углеводородной газоносности (1c, 1d, 1e, 3, 4a, 4c, 5a, 5b, 6a, 6b, 6c, 7a, 7b, 7c, 8, 9a, 12a, 12b, 12c, 12d, 14, 15a, 15b, 17, 22b, 23b), согласно табличным данным, демонстрирует пространственную корреляцию со слабомагнитными аномалиями эллиптической формы. Последние визуализированы на рис. 2 посредством бледно-жёлтой, лиловой и голубой цветовой гаммы. В противоположность этому, КЭ ГМН КФ, сопряжённые с интенсивными магнитными аномалиями (обозначенными на рис. 2 ярко-синим и красным цветами в поле *dTa*), преимущественно не обладают газоперспективным потенциалом. Таким образом, анализ карты аномального магнитного поля (*dTa*) [\[10\]](#), измеренного на акватории Северного Ледовитого океана позволяет на предварительном этапе осуществлять оценку перспективности КЭ ГМН КФ и связанных с ними структурных ловушек аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ, расположенных в породах осадочного чехла. При этом автор считает, что при освоении нефтегазовых ресурсов российского сегмента Арктики, в частности на акватории моря Лаптевых и его прибрежных областях, необходимо соблюдать некоторые нормативно-правовые акты об охране окружающей среды, планируемых Правительством Российской Федерации (Проект постановления Правительства Российской Федерации о создании государственного природного заказника федерального значения «Лаптевоморский» и отнесение его к ведению Минприроды России от 20.08.2020. (ID проекта 04/12/08-20/00107409); Постановление Правительства Российской Федерации от 21.04.2014 № 366 (с изменениями от 31.03.2020) об утверждении государственной программы РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации»). Комплекс геолого-геофизической информации изложенный в данной статье об углеводородной перспективности части из 48-и изученных КЭ ГМН КФ, расположенных на территории Лаптевоморского региона может быть интересен для специалистов (геологов, геофизиков, буровиков), работающих в нефтегазовых компаниях РФ и других стран, предполагающих инвестировать свои финансы в поиски, разведку и разработку нефтегазовых месторождений на акваториях и прибрежных территориях российского сегмента Арктики.

Библиография

1. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
2. Белоусов В.В. Основы геотектоники. М.: Недра, 1989. 382 с.
3. Kelly D.S., Fruh-Green G.L. Abiogenic methane in deep-seated mid-ocean ridge environments: insights from stable isotope analyses // Journal of Geophysical Research. 1999. Vol. 104. P. 10439-10460.

4. Franke D., Hinz K., Reichert C. Geology of the East Siberian Sea, Russian Arctic from seismic images: structures, evolution and implications for the evolution of the Arctic Ocean Basin // Journal Geophys. Res. 2004. Vol. 109. P. B07106.
<https://doi.org/10.1029/2003JB002687>. EDN: OKUMTT
5. Wallmann K.M., Riedel W.L. Gas hydrate dissociation off Svalbard induced by isostatic rebound rather than global warming // Nature Communications. 2018. Vol. 9, No. 83.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02550-9>. EDN: VFIHAS
6. Andreassen K., Waage M., Serof P. Geological controls of giant crater development on the Arctic sea floor // Scientific Reports. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 84-50.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65018-9>. EDN: YGWWSX
7. Дмитриевский А.Н. Теоретические основы и механизмы формирования энергоактивных и флюидонасыщенных зон Земли // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П.Н. Кропоткина). Москва: ГЕОС, 2011. С. 33-41.
8. Ким Б.Ц., Евдокимова Н.К., Харитонов Л.Я. Структура, нефтегазовый потенциал и нефтегеологическое районирование восточно-арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2016. № 1. С. 2-15. EDN: VOITHZ
9. Соловьев В.В. (ред.) Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1:10000000, (Объяснительная записка). М.: Аэрогеология, 1981. 44 с.
10. Литвинова Т.П., Макарова Л.А. Карта аномального магнитного поля (ΔТa) России и прилегающих акваторий. Масштаб 1:10000000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1996. 4 л.
11. Гаврилов С.В. Проникновение теплового диапира в континентальную литосферную плиту из неньютоновской верхней мантии // Физика Земли. 1994. № 7-8. С. 18-26.
12. Eppelbaum L.V. Localization of Ring Structures in Earth's Environments // Journal of the Archaeological Soc. of the Slovakian Acad. of Sci. 2007. Spec. Issue: Arch. Prosp. XLI. P. 145-148.
13. Тимурзиев А.И. Обоснование структурно-геоморфологического метода прогноза локальных зон новейшего растяжения // Советская геология. 1989. № 1. С. 69-79.
14. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
15. Сейфуль-Мулюков Р. Нефть и газ: глубинная природа и ее прикладное значение. М.: Торус Пресс, 2012. 216 с.
16. Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. М.: Недра, 1974. 279 с.
17. Вольвовский И.С., Вольвовский Б.С. Разрезы земной коры территории СССР по данным глубинного сейсмического зондирования. М.: Советское радио, 1975. 267 с.
18. IHFC. Global Heat Flow Database of the International Heat Flow Commission. 2012.
<https://ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database/data>
19. Моисеенко У.И., Смыслов А.А., Родионова А.Н. Карта геотермического режима земной коры территории СССР / Атлас геолого-геофизических карт СССР масштаба 1:10 000 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1982. 15 л.
20. Bendat J.S., Piersol A.G. Random data: analysis and measurement procedures. New York: Wiley-Interscience, 1972. 464 p.

Результаты процедуры рецензирования статьи

Рецензия выполнена специалистами [Национального Института Научного Рецензирования](#) по заказу ООО "НБ-Медиа".

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по мнению автора, изучение особенностей использования статистико-вероятностных способов адаптированных для прогнозирования квазиэллипсоидных геоморфонеоднородностей с наличием УВ-гидратов в Лаптевоморском сегменте Арктики (Арктика и Антарктика).

Методология исследования, в статье указаны основные источники информации исходных данных используются три категории геолого-геофизических данных: - мощность земной коры, - мощность осадочного слоя, - величина теплового потока. . Для прогнозирования газоперспективности квазиэллипсоидных геоморфонеоднородностей кристаллического фундамента в акваториальной и прибрежной материковой зонах Лаптевоморского региона предлагается применить аппарат теории вероятностей и математической статистики. Для верификации статистических гипотез требуется анализ следующих информационных массивов: гистограмм распределения $N(F)$; графиков плотности вероятности для гипотез присутствия $p(Fi1)$ и отсутствия $p(Fi0)$ аномальных значений. На основании анализа эталонной гистограммы $N(HK)$, представленной на рисунке 5А, установлено, что значительная часть нефтегазоносных провинций, локализованных в акваториальных зонах ряда морей РФ, приурочена к территориям со среднестатистически сниженными показателями мощности переходной (субокеанической) коры. В последующем этапе исследования требовалось осуществить верификацию соответствия значений, полученных на основе эталонных гистограмм и статистических плотностей распределения, определённому типу теоретической функции плотности распределения (включая нормальное распределение Гаусса, логнормальное, равномерное, распределение Пуассона, критерий Пирсона, распределение Стьюдента, распределение Фишера, гамма-распределение и прочие).

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в исследовании влияния результаты интерпретации карты аномального магнитного поля (dTa) позволили идентифицировать квазиэллипсоидных геоморфонеоднородностей кристаллического фундамента. Указанные квазиэллипсоидных геоморфонеоднородностей кристаллического фундамента, как правило, ассоциируются с высокомагнитными породами, не затронутыми дизъюнктивными дислокациями в пределах кристаллического основания океанической коры. Данная характеристика контрастирует с низкомагнитными образованиями осадочного комплекса Лаптевоморского региона.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований сделать вывод об анализ карты аномального магнитного поля (dTa), измеренного на акватории Северного Ледовитого океана позволяет на предварительном этапе осуществлять оценку перспективности КЭ ГМН КФ и связанных с ними структурных ловушек аккумуляции УВ-гидратов и СПУВ, расположенных в породах осадочного чехла. Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим исследование квазиэллипсоидных геоморфонеоднородностей кристаллического фундамента. Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность методов цифровой картографии

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты и методические рекомендации, отражающие процесс освоённости в Лаптевоморском сегменте Арктики.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволившие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.

