

Исследовательская статья

УДК 504.4, 911.9, 528.88, 551.248

DOI: 10.24412/2076-9091-2025-157-48-66

Андрей Леонидович Харитонов

*Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН,
Москва, Россия*

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С ПРИРОДНОЙ МЕТАНОВОЙ ЗАГАЗОВАННОСТЬЮ ТРАССЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Аннотация. В статье проверяется гипотеза о взаимосвязи пространственного расположения так называемых газовых (метановых) сипов и морфоэллиптических неоднородностей.

Одной из целей статьи является демонстрация возможностей малоиспользуемых в последнее время геофизических методов исследования для изучения влияния природно-дегазационных (экологически-опасных) процессов мантии, происходящих в пределах морфоэллиптических неоднородностей на акваториях восточной части Арктического сектора России.

Еще одна задача этого исследования заключается в информационных экологических оценках, которые являются базовыми критериями для определения природных рисков при создании безопасной эксплуатации транспортных караванов вдоль трассы Северного морского пути, а также арктического промыслового рыболовства и разработки нефтегазовых месторождений в восточной части Арктического сектора России.

Актуальность настоящего исследования данной проблемы обусловлена необходимостью проведения информатизации экологических оценок в зонах расположения морфоэллиптических неоднородностей кристаллического фундамента, находящихся в пределах акваторий Восточной Арктики.

Методами исследования являются дистанционные аэрокосмические методы (аэромагнитные, космомагнитные, теплового потока) использованные для экологического картирования морфоэллиптических неоднородностей. Ведущим методом исследования в решении проблемы выявления экологически безопасных районов для прокладки безопасной трассы Северного морского пути для проведения транспортных судов является метод дешифрирования магнитных данных (магнитной карты) в восточном секторе Российской Арктики, которая в первом приближении позволяет проводить выявление экологически безопасных (не дегазирующих) морфоэллиптических неоднородностей. При этом использование стохастических методов для расчета экологически безопасных (не дегазирующих) морфоэллиптических неоднородностей существенно повышает информативность и эффективность расчета прогнозных рисков, которые могут возникнуть при проходе караванов транспортных судов по трассе Северного морского пути и прилегающих арктических акваториях. Стохастические

методы, использованные для экологических исследований в зонах расположения морфоэллиптических неоднородностей в российском секторе Арктики, предполагают возможность применения комплекса геофизических данных. В результате проведенных расчетов составлена таблица экологически безопасных районов (морфоэллиптических неоднородностей), которые могут быть использованы для безопасного прохода транспортных судов по трассе Северного морского пути.

Ключевые слова: экологические аспекты изучения арктических акваторий, мантийная дегазация, дешифрирование карт магнитного поля, морфоэллиптические неоднородности, метановые сипы

Благодарности: автор благодарит доктора физико-математических наук А. И. Тимурзиева, Р. Сейфуль-Мулюкова, В. Л. Сывороткина за возможность обсудить свои взгляды на конференции «Глубинная нефть» на изложенные в этой статье вопросы.

Research article

UDC 504.4, 911.9, 528.88, 551.248

DOI: 10.24412/2076-9091-2025-157-48-66

Andrey Leonidovich Kharitonov

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,
Ionosphere and Radio Wave propagation of RAS,
Moscow, Russia*

A POSSIBLE SOLUTION TO SOME ENVIRONMENTAL PROBLEMS RELATED TO THE NATURAL METHANE GAS CONTAMINATION OF THE NORTHERN SEA ROUTE

Abstract. In this article, the hypothesis of the relationship between the spatial location of the so-called gas (methane) sips and morphological-elliptic heterogeneities is tested. One of the purposes of this article is to demonstrate the possibilities of recently little-used geophysical research methods to study the influence of natural degassing (environmentally hazardous) mantle processes occurring within the morphological-elliptic heterogeneities in the waters of the eastern part of the Arctic sector of Russia. Another task of this study is information environmental assessments, which are the basic criteria for determining natural risks in the creation of safe operation of transport caravans along the route of the Northern Sea Route, as well as Arctic commercial fishing and the development of oil and gas fields in the eastern part of the Arctic sector of Russia. The relevance of this study of this problem is due to the need to informatize environmental assessments in the zones of morphological-elliptic heterogeneities of the crystalline basement located within the waters of the Eastern Arctic. The research methods are remote aerospace methods (aeromagnetic, cosmomagnetic, heat flux) used for ecological mapping of morphological-elliptic heterogeneities. The leading research method in solving the problem of identifying environmentally safe areas for laying a safe route of the Northern Sea Route for transport vessels is the method of decrypting magnetic data (magnetic map) in the eastern sector of the Russian

Arctic, which, as a first approximation, allows the identification of environmentally safe (non-degassing) morphological-elliptic heterogeneities. At the same time, the use of stochastic methods for calculating environmentally safe (non-degassing) morphological-elliptic heterogeneities significantly increases the informativeness and efficiency of calculating forecast risks that may arise when conducting caravans of transport vessels along the Northern Sea Route and adjacent Arctic waters. Stochastic methods used for environmental studies in the zones of morphological-elliptic heterogeneities in the Russian sector of the Arctic suggest the possibility of using a complex of geophysical data. As a result of the calculations carried out, a table of ecologically safe areas (morphological-elliptic heterogeneities) has been compiled, which can be used for the safe conduct of transport vessels along the route of the Northern Sea Route.

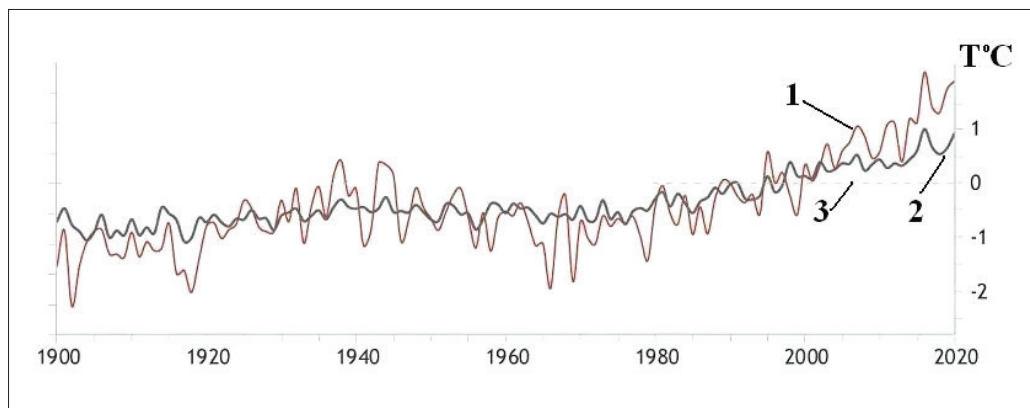
Keywords: ecological aspects of the study of Arctic waters, mantle degassing, decryption of magnetic field maps, morphological-elliptic heterogeneities, methane sips

Acknowledgements: the author thanks the Doctors of Physico-Mathematical Sciences A. I. Timurziev, R. Seiful-Mulyukov, V. L. Serotkin for the opportunity to discuss their views on the issues outlined in this article at the conference “Deep Oil”.

Введение

В исследование региона российского сектора Арктики вдоль по трассе Северного морского пути (далее — СМП) и прилегающих островных и прибрежных районов большой вклад внесли многие российские ученые [6; 7; 15]. В настоящий исторический период трасса СМП является очень важным для Российской Федерации (РФ) и самым коротким транспортным коридором для перевозки грузов, следующих из стран Европы в страны Северо-Американского и Восточно-Азиатского регионов (США, КНР, Япония и др.) и из них обратно в Европу. Транспортная артерия СМП становится все более востребованной из-за мощного ледокольного флота РФ и постепенного потепления приземной атмосферы в зоне Российской Арктики примерно на 2,5 °C в течение последних 40 лет (рис. 1) [18].

Как следствие, в течение весенне-летнего периода происходит освобождение значительной части СМП от толстого слоя материковых льдов. Однако по направлению следования полярных транспортных караванов и исследовательских судов, следующих по трассе СМП, часто возникают определенные проблемы, связанные с периодической загазованностью акватории СМП. Некоторые виды экологических проблем в Российской Арктике связаны с периодической загазованностью трассы СМП. Обычно загазованность акваторий СМП возникает из-за постепенного подтаивания слоев вечной мерзлоты (далее — ВМ) [3], расположенных под поверхностью морского дна и выбросами радоно-метановых смесей (далее — РМС) [16] (так называемых газовых сипов) из слоев ВМ в земной коре (далее — ЗК). Загазованность арктических акваторий РФ круглогодично вызывает различные экологические проблемы, связанные с глубокими провалами почвы [3],



Условные обозначения: 1 — график изменения средних значений температур (Т) приземной атмосферы (в °С) на акватории Арктики; 2 — график изменения средних значений температур (Т) приземной атмосферы (в °С) на всей поверхности Земли; 3 — уровень значений средней (с 1980–2020 гг.) температуры (Т) приземной атмосферы (в °С) на акватории Арктики, принятый за относительный нулевой уровень отсчета.

Рис. 1. График изменения температур (Т) приземной атмосферы (в °С) на акватории Арктики с 1900 по 2020 год [18]

гибелью рыб, птиц, других представителей животного мира по трассе СМП. Особенно важны экологические проблемы, связанные с сохранностью персонала транспортных, рыболовецких, исследовательских судов (и плавучих нефтедобывающих платформ), возникающие в весенне-летний период, когда повышается температура приземной атмосферы (иногда до +10 °С) и морской воды.

В весенне-летний период при повышении температуры приземной атмосферы арктические акватории СМП освобождаются от покровного льда и поэтому происходят частые выбросы РМС в атмосферу из слоев ВМ с поверхности морского дна (так называемые метановые сипы), расположенных в пределах морфоэллиптических неоднородностей (далее — МЭН) [17]. В зимний период сплошной покров ненарушенного трещинами льда может препятствовать выбросам РМС в атмосферу [16], но сплошной ненарушенный покров льда даже в зимний период бывает очень редко из-за высокой трещиноватости арктических льдов.

В настоящей работе предлагается методика решения одной из экологических проблем, существующих в Арктике, связанных с периодической загазованностью трассы СМП. Предлагается прокладку маршрутов судов по трассе СМП делать с обходом мест расположения периодически дегазирующих МЭН, сформированных на поверхности кристаллического фундамента (далее — КФ) древними мантийными плюмажами (далее — ДМП) [4; 5], по которым до настоящего времени происходит дегазация мантии [4; 12–14]. Для поиска дегазирующих МЭН (газовых сипов) на акватории СМП предлагается использовать данные аномалий скаляра магнитного поля (далее — АСМП),

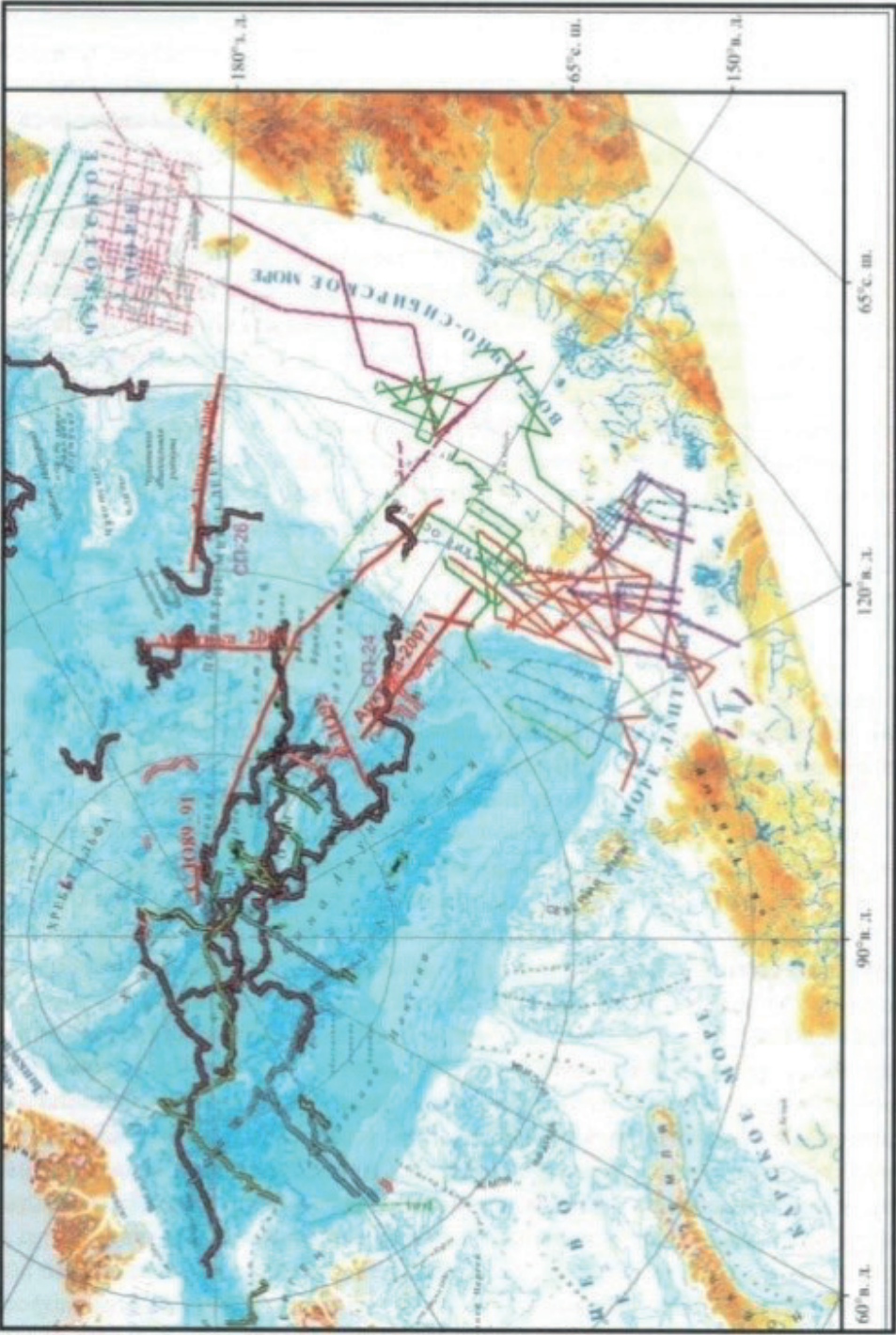


Рис. 2. Схема расположения профилей аэромагнитных и ледокольных измерений на акваториях Северного Ледовитого океана (СЛО) [8]

измеренного в регионах Российской Арктики, построенные на основе морских, аэромагнитных [8] и космогеофизических [16] данных (см. рис. 2).

По морским, аэромагнитным [8] и космомагнитным [16] зондированиям была создана карта АСМП на акватории российского сектора Восточной Арктики (см. рис. 3).

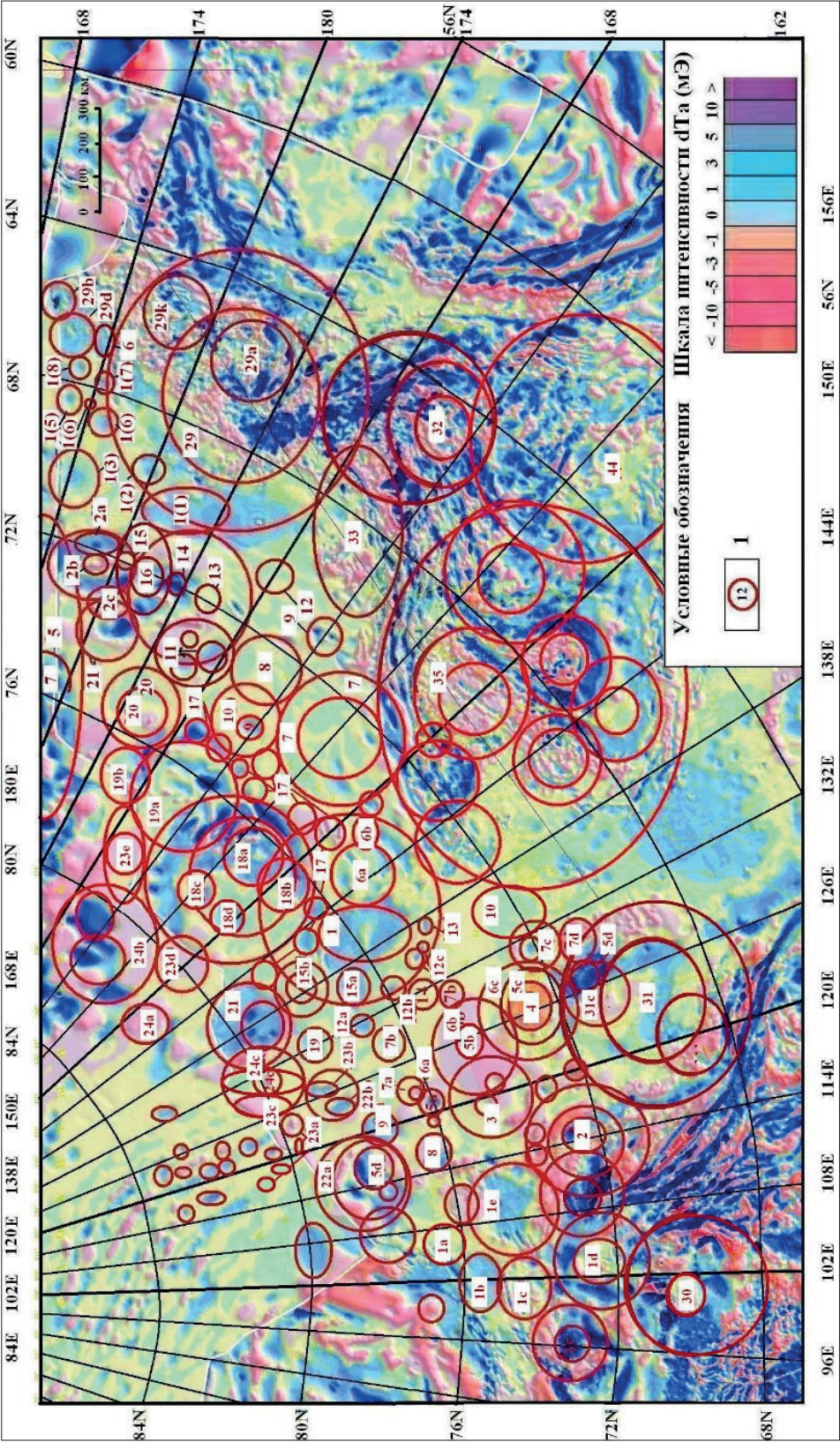
При этом необходимо учитывать, что в депрессивных зонах (впадины) морского дна, где имеется достаточно большая вертикальная мощность осадочного слоя (ВМОС), что создавало условия для задерживания (литологическими ловушками, или глинистыми прослоями-«покрышками») и создания залежей метана в осадочном слое (ОС), поступающего через ДМП при дегазации мантии. Поэтому необходимо выделить эти зоны повышенной ВМОС (см. рис. 4) вдоль трассы СМП как относительно экологически безопасные для существования морской фауны, островных и прибрежных птиц и мореплавателей.

Однако имеются еще и другие геофизические параметры (ГП), которые могут повлиять на обострение или ослабление экологических проблем, связанных с периодической природной загазованностью на трассе СМП. Двумя из этих ГП, влияющих на экологию, связанных с периодической природной загазованностью, на взгляд автора, является ВМЗК (H_k) для субокеанической зоны Арктики (см. рис. 5) [1] и ВМОС [2].

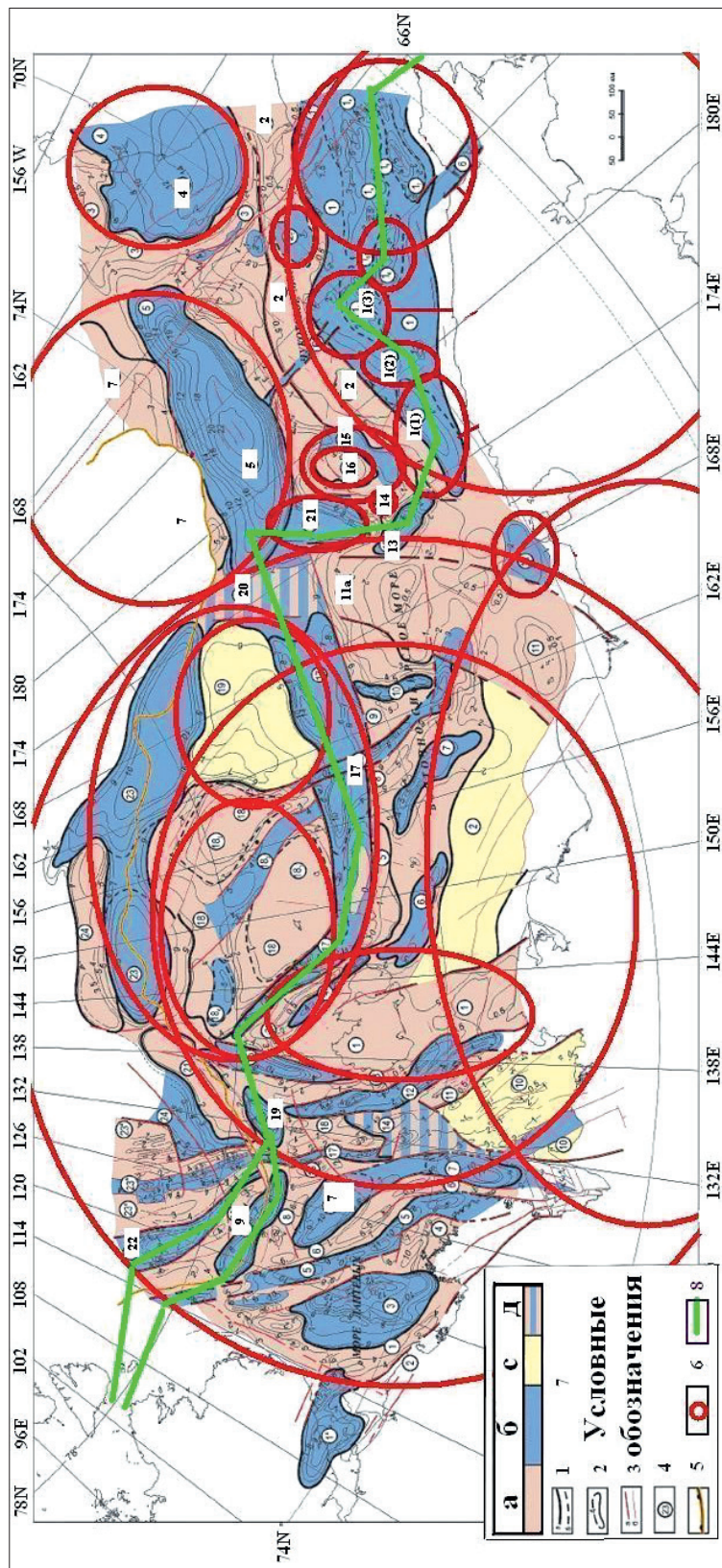
По данным глубинных геофизических разрезов океанической коры (см. рис. 6) было показано, что чем больше ВМОС (H_o) и меньше ВМЗК для субокеанической зоны (H_k), тем ближе мантия подходит к поверхности океанического дна и тем быстрее идут процессы дегазации мантии.

Как показали наши исследования, малые значения ВМЗК для субокеанической зоны (H_k) и большие значения ВМОС (H_o) в арктических морях РФ обычно наблюдаются в зонах расположения МЭН (см. рис. 6). Еще одним ГП, который может определять зоны периодической природной дегазации мантии (и, соответственно, экологической обстановки) вдоль трассы СМП является значение АТП (Q) (см. рис. 7).

Используя эти три вида ГП, были рассчитаны значения вероятностей, которые определяют, какие из МЭН, расположенных вдоль трассы СМП, могут быть безопасными для прохождения транспортных и рыболовецких судов. Конечно, этот извилистый путь (см. рис. 4) для транспортных судов может оказаться несколько длиннее, чем прямолинейная трасса. Но в случае прямолинейной трассы все-таки необходимо обходить зоны экологически опасных для всех биологических видов периодически дегазирующих МЭН (зон периодической природной мантийной дегазации), особенно в периоды повышения сейсмической активности в близлежащих регионах к трассе СМП.



Условные обозначения: 1 — зоны морфоэллиптических неоднородностей (МЭН). Цветовая шкала значений АСМП (в мЭ) и обозначение индексов, названий, геоординат МЭН: Чукотское море: 1(1) — Делонговская (177Е; 70N), 1(2) — Шмитовская (180Е; 70N), 1(3) — Геральдовская (176W; 70N), 1(4) — Хоуповская (168W; 68N), 1(5) — Онмановская (172W; 68.5N), 1(6) — Южно-Шмитовская (174W; 69N), 1(7) — Колочинская (174W; 68N), 1(8) — Инкигурская (172W; 67.5N), 2a — Разломная (177W; 72.5N), 2b — Северо-Врангельская-1 (178W; 72.5), 2c — Северо-Врангельская-2 (178Е; 73N), 5 — Периферийно-Мендельская (177Е; 70N), 6 — Ионивиемская (174W; 67N), 7 — Центрально-Мендельская (174W; 74N), 8 — Благовещенская (156Е; 72N), 9 — Медвежья (162Е; 71N), 10 — Мелвиллская (165Е; 73N), 11 — Шелагская (171Е; 73N), 12 — Айонская (169Е; 71N), 13 — Пегтымелевская (172Е; 72N), 14 — Западно-Врангельская (174Е; 72N), 15 — Восточно-Врангельская (180Е; 72N), 16 — Мамонтовская (178Е; 73N), 20 — Раутанская (171Е; 75N), 21 — Дримхедовская (176Е; 73N); Прибрежные МЭН: 29a — Анадырская (177Е; 65N), 29d — Дежневская (171W; 66N), 29k — Крестовская (178W; 66N), 32 — Белореченская (171Е; 65N), 33 — Аннойская (165Е; 68N), 35 — Алазейская (150Е; 70N); Восточно-Сибирское море: 1 — Котельная, 2a — Гусиномыская, 2b — Благовещепроливная, 6a,b,c — Южносибирские, 7 — Мысокаменная, 8 — Жоховская, 9 — Черкасская (162Е; 74N), 10 — Столбовая, 11 — Широкостанская, 17 — Моховская, 18a — Жанетовская, 18b — Беннетская, 18c — Генриэтская, 19a — Детолиевская-1, 19b — Детолиевская-2, 22b — Разломная 160Е, 23d — Подводникова-1, 23e — Подводникова-2; Лаптевых море: 1 a — Портнягинская; 1 c — Харатасская; 2 — Оленекская; 3 — Южнолаптевская; 4a,e — Трофимовские-1,5; 5 a, b, d — Устьленские-1,2,3; 6 a, b, c — Мининские-1,2,3; 7a,b,c — Омолойские-1,2,3; 8 — Западнолаптевская; 9a,b — Северолаптевские-1,2; 10 — Шелонская; 12a,b — Бельковские-1,2; 12c — Котельная-3; 12d — Малоляховская-4; 14 — Санниковская; 15a,b — Анисинские-1,2; 17 — Североомолойская; 19 — Толлиевская; 20 — Челюскинская; 21 — Воронинская; 22a — Нансенская; 23a,b,c — Гаккельские-1,2,3; 24a,b,c — Биллингские-1,2,3; 25 — Амундсенская.



Условные обозначения: 1а — главные, 1b — второстепенные; 2 — изолинии глубины до нижней кромки ОС; тектонообразы: 3а — структурирующие; 3б — неструктурирующие; 4 — индексы МЭН; 5 — границы мелководья; 6 — контуры МЭН; 7 — тектоноструктуры кристаллического основания: А — горсты; В — впадины; С — плоскогорья; Д — перемежающиеся зоны грабенов и горстов; 8 — экологически безопасная трасса СМП. Названия МЭН, расположенных в Восточно-Арктическом секторе, даны в подписях к рисунку 3.

Рис. 4. Тектоноструктурная схема морской части российского сектора Восточной Арктики [9, с дополнениями автора]

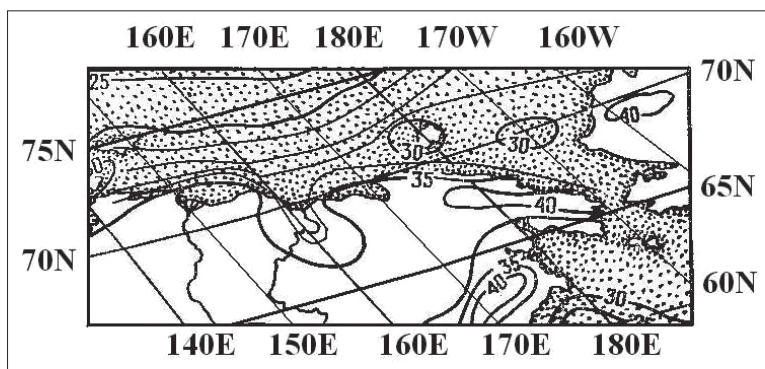
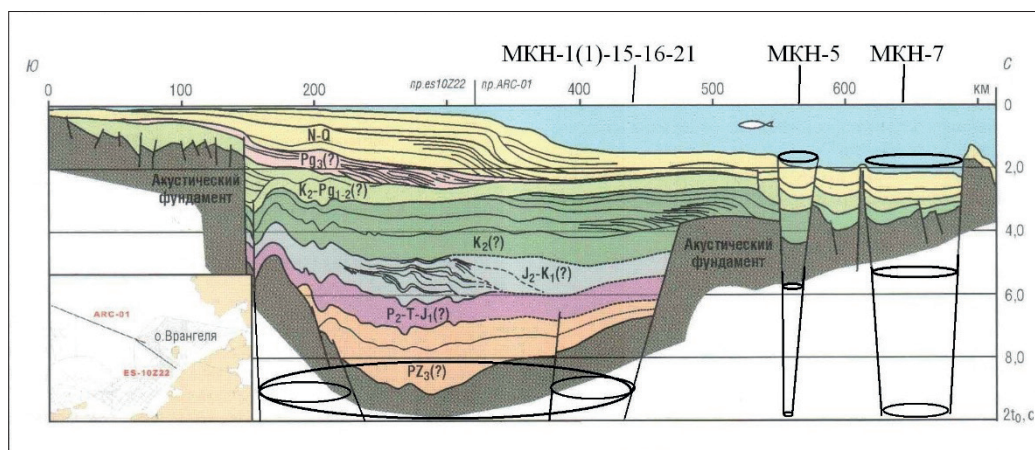


Рис. 5. Карта значений вертикальной мощности земной коры (ВМЗК) (H_k) [1] для акваторий Арктического региона



Условные обозначения: Северо-Чукотская МЭН, включающая МЭН меньшего размера: Делонговская (МЕН-1(1)); Восточно-Врангельская (МЕН-15); Мамонтовская (МЕН-16); Дримхедовская (МЕН-21); Периферийно-Мендельская (МЕН-5); Центрально-Мендельская (МЕН-7).

Рис. 6. Глубинный геофизический разрез океанической коры в восточной части российского сектора СЛО [9]

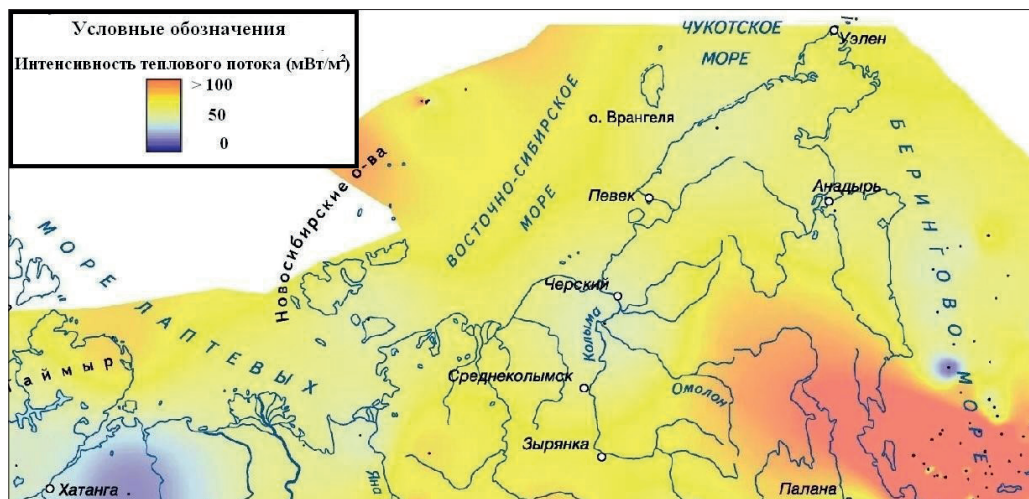


Рис. 7. Фрагмент карты аномалий теплового потока территории РФ [11]

Методы исследования

В качестве методики прогноза экологически безопасных МЭН (по выбросам метана) (то есть экобезопасной трассы транспортировки СМП), расположенных на акваториях восточной части Арктического сектора РФ, предлагается использовать элементы теории вероятностей и математической статистики (ТВиМС) [19] трех разных видов ГП: $ВМЗК (H_k)$, $ВМОС (H_o)$, $АТП (Q)$. Все стохастические критерии принятия решений о наличии (или отсутствии) определенных значений исследуемых ГП (H_k , H_o , Q), характерных для метанодегазирующих МЭН в пределах акваторий нескольких морей РФ, в этой статье базируются на использовании элементов ТВиМС [19] и изложены в [17].

Статтистограммы ($N (H_k)$, $N (H_o)$, $N (Q)$) распределения значений рядов следующих видов ГП (ВМЗК, ВМОС, АТП), зафиксированных в зонах МЭН активной дегазации метана [1; 2; 11] показаны на рисунке 8.

В соответствии с проведенными расчетами, значения плотностей распределения (ПР) $p (\Phi_{ij})$ выборочных рядов ВМЗК, ВМОС, АТП на акваториях восточной части Арктического сектора РФ оказались близкими к закону нормального распределения (см. рис. 9).

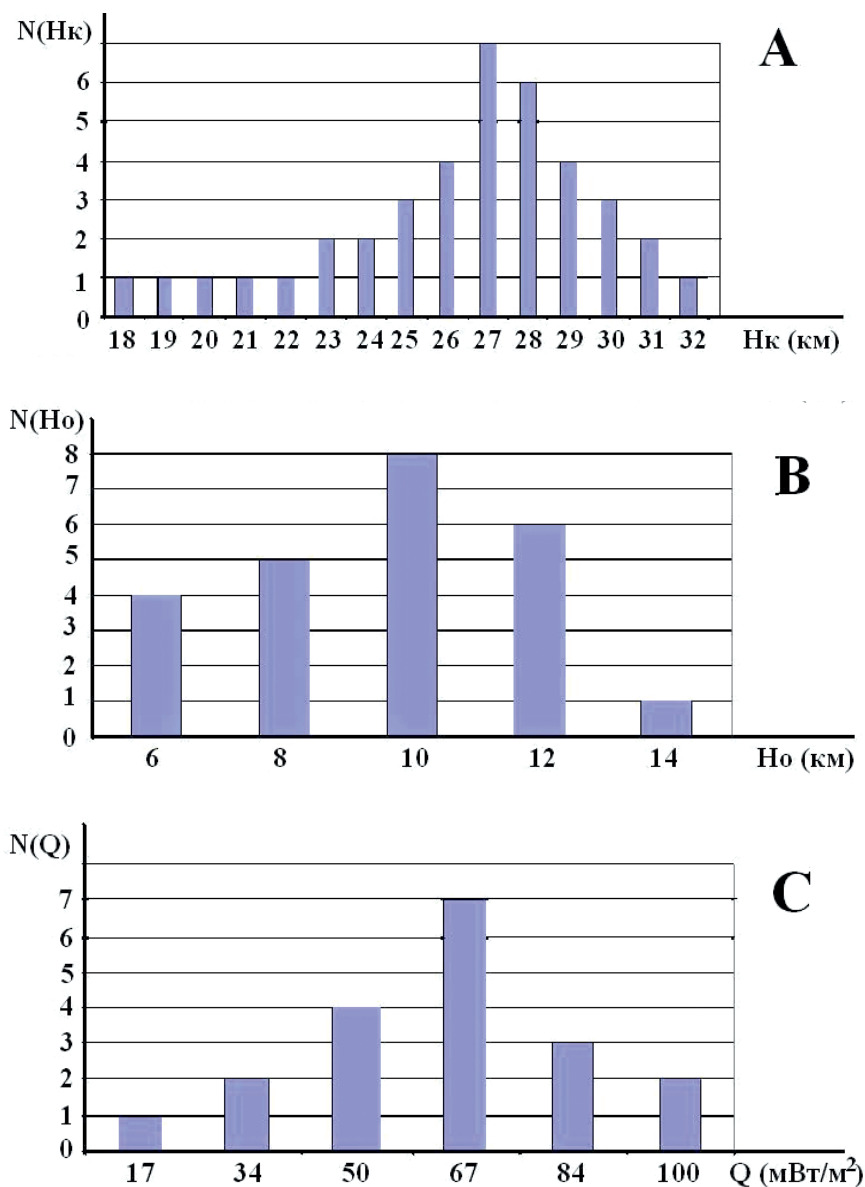


Рис. 8. Статгистогаммы (СГ), характерные для метанодегазирующих МЭН на акваториях различных морей, построенные по следующим видам ГП (ВМЗК, ВМОС, АТП) [11]:

- А — значения $N(H_k)$ для океанических зон по результатам оцифровки карты [1];
 В — значения $N(H_o)$ по результатам оцифровки карты [2];
 С — значения $N(Q)$ по результатам оцифровки карт

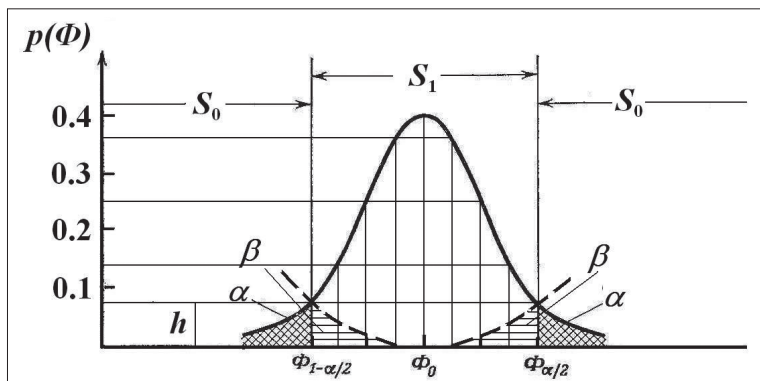


Рис. 9. Кривая теоретической ПР $p(\Phi)$, соответствующая нормальному закону (Гаусса) [19] распределению значений (H_k) , (H_o) , (Q) , характерных для метанодегазирующих МЭН на акваториях различных морей РФ.

Результаты исследований

Рассмотрим результаты использования элементов ТВиМС для трех видов ГП (H_k , H_o , Q) и на этой основе сделаем прогноз, где могут быть расположены экологически опасные (дегазирующие) МЭН на акватории морей восточной части Арктического сектора РФ. В результате применения методов ТВиМС на основе использования региональных ГП по 56 МЭН, расположенных в пределах акваторий восточной части Арктического сектора РФ, производились расчеты, которые были систематизированы в виде таблицы.

Таблица

Результаты вероятностного прогноза экологически безопасных МЭН, расположенных на акваториях восточной части Арктического сектора РФ и по трассе СМП

№	Название и индекс МЭН	$P(H_o) \%$	$P(H_k) \%$	$P(Q) \%$	P_c
1	Делонговская — 1(1)	50	12	91	51
2	Шмитовская — 1(2)	1	12	91	35
3	Геральдовская — 1(3)	4	12	90	35
4	Хоуповская — 1(4)	66	12	76	51
5	Онмановская — 1(5)	10	12	76	33
6	Юж.-Шмитовская — 1(6)	10	12	76	33
7	Колючинская — 1 (7)	20	12	76	36
8	Инкигурская — 1 (8)	10	12	76	33
9	Сев.-Врангельские — 2b, c	1	12	92	35
10	Пер.-Мендельская — 5	90	88	50	76
11	Разломная — 2a	60	33	75	56
12	Айонская — 12	4	4	92	33
13	Пегтымелевская — 13	60	33	58	51

№	Название и индекс МЭН	$P(H_0)$ %	$P(H_K)$ %	$P(Q)$ %	P_c
14	Запад.-Врангельская — 14	4	12	88	35
15	Вост.-Врангельская — 15	4	12	78	31
16	Мамонтовская — 16	1	4	88	31
17	Дримхедовская — 21	90	33	75	66
18	Уэленская — 29с	67	1	70	46
19	Портнягинская — 1а	73	99	95	89
20	Харатасская — 1с	1–18	99	75	58–64
21	Оленекская — 2	1	60	75	45
22	Южнолаптевская — 3	99	99	95	98
23	Трофимовская-1 — 4а	33	60	75	56
24	Трофимовская-2 — 4с	90	95	75	87
25	Устьленская-2 — 5b	32	98	88	73
26	Устьленская-1 — 5а	99	70	75	81
27	Устьленская-4 — 5d	72	12	53	46
28	Мининская-1 — 6а	32	70	75	59
29	Мининская-2 — 6b	32	98	88	73
30	Мининская-3 — 6с	32	95	75	67
31	Омолойская-1 — 7а	99	70	75	81
32	Омолойская-2 — 7b	60	98	92	83
33	Омолойская-3 — 7с	99	95	76	90
34	Западнолаптевская — 8	53	60	70	61
35	Северолаптевская-1 — 9а	90	12	65	56
36	Северолаптевская-2 — 9b	90	30	65	62
37	Шелонская — 10	2	99	92	64
38	Бельковская-1 — 12а	3	60	60	76
39	Бельковская-2 — 12b	10	99	75	61
40	Котельная — 12с	3	95	80	59
41	Малоляховская — 12d	10	90	90	63
42	Санниковская — 14	2	12–99	92	35–64
43	Анисинская-1 — 15а	53	99	75	76
44	Анисинская-2 — 15b	99	1–99	60–75	51–91
45	Североомолайская — 17	53	1–99	70–75	41–76
46	Детоллиевская — 19	9–33	1	50–65	20–33
47	Челюскинская — 20	9	12	50	24
48	Воронинская — 21	1	1	30	11
49	Нансеновская-1 — 22а	55	1	55	37
50	Нансеновская-2 — 22b	60	33	75	56
51	Гаккельская-1 — 23а	4	4	92	33
52	Гаккельская-2 — 23b	60	33	58	50
53	Биллингская-3 — 24с	10	1	12	8
54	Биллингская-2 — 24b	10	1	20	10
55	Биллингская-1 — 24а	72	1	30	34
56	Амундсенская — 25	4	12	88	35
Сред.	$P_i(f)$				51

Представленные в таблице данные могут служить некоторыми вероятностными критериями для поиска самых экологически безопасных МЭН на акватории морей восточной части Арктического сектора РФ. Результаты применения элементов ТВиМС показывают, что наиболее информативными прогнозными ГП из них являются ВМОС и АТП. Другие ГП, такие как значения ВМЗК, оказались менее информативными. Поэтому этот ГП (H_k) не всегда позволяет хорошо выделять экобезопасные МЭН. Кроме того, на основании проведенных расчетов стохастических отклонений от средних значений вероятности можно сказать, что самые экобезопасные трассы СМП могут быть связаны с акваторией следующих экобезопасных МЭН: Делонговская 1(1), Хоуповская 1(4), Мендельская (5), Ионивиемская (6), Пегтымелевская (13), Дримхедовская (21), Уэленовская (29с) (см. рис. 3). Из остальных исследуемых МЭН, которые, по результатам расчетов, можно рассматривать как пока недостаточно изученные территории, можно назвать следующие: Шмитовская 1(2), Геральдовская 1(3), Онмановская 1(5), Южно-Шмитовская 1(6), Колючиновская 1(7), Инкигурская 1(8), Айонская (12) и, возможно, Южно-Врангельская (2). Мало-перспективными МЭН для прокладки экологически безопасной трассы СМП можно считать следующие: Западно-Врангельская (14), Восточно-Врангельская (15), Мамонтовская (16). Можно также предположить, что западные, южные периферийные зоны МЭН вокруг котловины Менделеева (МЭН – 5) должны быть перспективными для судоходства и рыболовства.

Заключение

Анализ карты АСМП позволил выделить МЭН (см. рис. 3), которые обычно связаны с сильно намагниченными породами КФ океанической коры, в отличие от слабомагнитных пород ОС на акваториях восточной части Арктического сектора РФ. Кроме того, необходимо отметить, что географическое расположение экобезопасных МЭН (1(1), 1(4), 5, 6, 13, 21, 29с и др.), судя по данным, представленным в таблице, показывает их совпадение со слабоинтенсивными АСМП (бледно-желтого, лилового, голубого цвета) (см. рис. 3). Остальные МЭН, связанные с интенсивными АСМП (ярко-синего цвета аномалий), представленные на рисунке 3, как правило, не являются экобезопасными территориями МЭН для судоходства и рыболовства. Таким образом, даже по карте АСМП в морях Северного Ледовитого океана можно в первом приближении определить экологически безопасные территории МЭН для судоходства и рыболовства. Предлагается относительно экологически безопасный ледокольный транспортный маршрут по СМП (рис. 4, кривая зеленого цвета), из Берингова пролива до побережья Таймыра вдоль следующих экобезопасных МЭН: Хоуповская-1(4) (168W; 68N); Онмановская-1(5); Южно-Шмитовская-1(6); Геральдовская-1(3); Шмитовская-1(2); Делонговская-1(1) (177E; 70N); Пегтымелевская-13 (172E; 72N); Дримхедовская-21 (176E; 73N); Периферийно-Мендельская-5 (177E; 70N);

Раутанская-20 (171E; 75N); Новосибирские-17; Анисинские-15a,b; Детоллиевская-19; Нансеновская-22b или Северолаптевские-9a,b. Остальные экобезопасные МЭН (выделенные полужирным шрифтом в таблице), по расчетам, должны быть безопасны для промыслового рыболовства и других работ на акваториях Восточной Арктики.

Выводы

1. В настоящей статье, в противовес зарубежным санкциям на оборудование для морской сейсморазведки, показана альтернативная возможность использования магнитометрических, геотермических, тектоноструктурных данных для выявления экологически опасных метановых сипов на трассе СМП.

2. На акватории морей Арктического сектора РФ из 56 проанализированных МЭН выделено 30 экобезопасных: (1(1), 1(4), 5, 9, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 22 и т. д.), вдоль которых рекомендуется проложить экобезопасную трассу СМП и выбрать экобезопасные районы для промыслового рыболовства.

Список источников

1. Белоусов В. В. Переходные зоны между континентами и океанами. М.: Недра, 1982. 300 с.
2. Беляевский Н. А. Земная кора в пределах территории СССР. М.: Недра, 1974. 279 с.
3. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Анализ состояния, перспектив и проблем освоения ресурсов углеводородов и угля в Арктике в связи с экономическими, геополитическими и технологическими реалиями // Научные труды ВЭО России. 2021. Т. 228. С. 154–180.
4. Валяев Б. М. Арктические и приарктические регионы: специфика процессов нефтегазонакопления // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2010. № 1. С. 1–19.
5. Гаврилов С. В. Проникновение теплового диапира в континентальную литосферную плиту из неньютоновской верхней мантии // Физика Земли. 1994. № 7–8. С. 18–26.
6. Грамберг И. С., Пискарев А. Л., Беляев И. В. Блоковая тектоника дна Восточно-Сибирского и Чукотского морей по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий // Доклады РАН. 1977. Т. 353. № 5. С. 656–659.
7. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натапов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990. 334 с.
8. Каминский В. Д., Поселов В. А., Павленкин А. Д. Геофизическая изученность основных структур СЛО и обоснованность существующих геологических гипотез // Тезисы Междунар. конф. «Морфология и геологическая природа глубоководных акваторий и подводных поднятий Арктического бассейна». СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. С. 3–4.
9. 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.

10. Литвинова Т. П., Макарова Л. А. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) России и прилегающих акваторий. Масштаб 1 : 10 000 000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1996. 4 л.
11. 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.
12. Сейфуль-Мулюков Р. Нефть и газ: глубинная природа и ее прикладное значение. М.: Торус Пресс, 2012. 216 с.
13. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
14. Тимурзиев А. И. Обоснование структурно-геоморфологического метода прогноза локальных зон новейшего растяжения // Советская геология. 1989. № 1. С. 69–79.
15. Хаин В. Е., Полякова И. Д., Филатова Н. И. Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 443–460.
16. Харитонов А. Л. Харитонов Г. П., Труонг К. Х. Сопоставление спутниковых геомагнитных данных с наземным измерением концентрации радона для выявления предвестников землетрясений (на примере Калифорнийского сейсмоактивного района) // Вестник Камчатской региональной организации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. 2009. № 13. С. 170–177.
17. Харитонов А. Л. Прогнозирование углеводородоперспективных структур кольцевого вида в Баренцевоморском регионе по результатам применения стохастического метода при использовании совокупности геопараметров // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24. № 2. С. 130–138.
18. Butsenko V. V., Kristoffersen Y., Mikkelsen N. Scientific drilling in the Arctic Ocean and the site survey challenge: Tectonic, paleoceanographic and climatic evolution of the Polar Basin // JEODI Workshop. Copenhagen: Denmark, 2003. 83 p.
19. Bendat J. S., Piersol A. G. Random data: analysis and measurement procedures. New York: Wiley-Interscience, 1972. 464 p.

References

1. Belousov V. V. Transition zones between continents and oceans. Moscow: Nedra, 1982. 300 p. (In Russ.).
2. Belyaevsky N. A. The Earth's crust within the territory of the USSR. Moscow: Nedra, 1974. 279 p. (in Russian) (In Russ.).
3. Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V. Analysis of the state, prospects and problems of the development of hydrocarbon and coal resources in the Arctic in connection with economic, geopolitical and technological realities. Scientific Works of the VEO of Russia. 2021: 228: 154–180. (In Russ.).
4. Valyaev B. M. Arctic and near-Arctic regions: specifics of oil and gas accumulation processes. Electronic scientific journal "Georesources, geoenergy, geopolitics". 2010; (1): 1–19. (In Russ.).
5. Gavrilov S. V. Penetration of the thermal diapir into the continental lithospheric plate from the non-Newtonian upper mantle. Physics of the Earth. 1994; (7–8): 18–26. (In Russ.).

6. Gramberg I. S., Piskarev A. L., Belyaev I. V. Block tectonics of the bottom of the East Siberian and Chukchi seas according to the analysis of gravitational and magnetic anomalies. Reports of the Russian Academy of Sciences. 1977; 353 (5): 656–659. (In Russ.).
7. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Natapov L. M. Tectonics of lithospheric plates of the territory of the USSR. Moscow: Nedra, 1990. 334 p. (In Russ.).
8. Kaminsky V. D., Poselov V. A., Pavlenkin A. D. The geophysical study of the main structures of the strata and the validity of existing geological hypotheses. Abstracts of the international conference “Morphology and geological nature of deep-sea waters and underwater uplifts of the Arctic basin”. SPb: Vniiokeangeologiya, 2003;3–4. (In Russ.).
9. Kim B. Ts., Evdokimova N. K., Kharitonova L. Ya. Structure, oil and gas potential and oil and gas geological zoning of the Eastern Arctic shelf of Russia. Geology of oil and gas. 2016; (1): 2–15. (In Russ.).
10. Litvinova T. P., Makarova L. A. Map of the anomalous magnetic field (ΔT_a) of the territory of the Russia and some adjacent water areas. Scale 1 : 10 000 000. Sankt-Peterburg: VSEGEI, 1996. 4 p. (In Russ.).
11. Moiseenko U. I., Smyslov A. A., Rodionova A. N. Map of the geothermal regime of the Earth’s crust of the USSR territory. Scale 1 : 10 000 000. Leningrad: VSEGEI, 1982. 15 p. (In Russ.).
12. Seiful-Mulyukov R. Oil and gas: deep nature and its applied significance. Moscow: Torus Press, 2012. 216 p. (In Russ.).
13. Syvorotkin V. L. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow: Geoinformcenter, 2002. 250 p. (In Russ.).
14. Timurziev A. I. Substantiation of the structural and geomorphological method of forecasting local zones of recent stretching. Soviet geology, 1989; (1): 69–79. (In Russ.).
15. Khain V. E., Polyakova I. D., Filatova N. I. Tectonics and oil and gas potential of the Eastern Arctic. Geology and geophysics. 2009; 50(4): 443–460. (In Russ.).
16. Kharitonov A. L., Kharitonova G. P., Truong K. H. Comparison of satellite geomagnetic data with ground-based measurement of radon concentration to identify earthquake precursors (on the example of the California seismoactive region). Bulletin of the Kamchatka Regional Organization Educational and Scientific Center. Series: Earth Sciences. 2009; (13): 170–177. (In Russ.).
17. Kharitonov A. L. Forecasting of hydrocarbons of promising ring-shaped structures in the Barents Sea region based on the results of the application of the stochastic method using a set of geoparameters. News of Saratov University. A new series. Series: Earth Sciences. 2024; 24 (2): 130–138. (In Russ.).
18. Butsenko V. V., Kristoffersen Y., Mikkelsen N. Scientific drilling in the Arctic Ocean and the site survey challenge: Tectonic, paleoceanographic and climatic evolution of the Polar Basin. JEODI Workshop. Copenhagen: Denmark, 2003. 83 p.
19. Bendat J. S., Piersol A. G. Random data: analysis and measurement procedures. New York: Wiley-Interscience, 1972. 464 p.

Информация об авторе / Information about the author:

Харитонов Андрей Леонидович — кандидат физико-математических наук, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Москва, Россия.

Kharitonov Andrey Leonidovich — Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

haritonov-magnit@izmiran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0843-452X>

Статья поступила в редакцию: 11.11.2024;
принята к публикации: 04.12.2024.

The article was submitted: 11.11.2024;
accepted for publication: 04.12.2024.