

# РАСКРЫТИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПЛОТНОСТЬЮ МОРСКОЙ ВОДЫ И ГЛУБИНОЙ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ В КОНТЕКСТЕ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**В. Е. Кисляков<sup>1</sup>**, П. В. Катышев<sup>1</sup>, Я. Е. Линьков<sup>1✉</sup>, Н. А. Кайдаш<sup>2</sup>, Д. А. Покацкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «НТЦ «Геотехнология», г. Красноярск, Российская Федерация

✉ flash198@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрены актуальные вопросы освоения минеральных ресурсов арктического шельфа России с применением инновационных автономных добычных комплексов. Особое внимание уделено исследованию взаимосвязи плотности морской воды с глубиной как ключевым фактором, влияющим на эффективность работы подводного оборудования. Авторами предложено оригинальное техническое решение – автономный добычный комплекс, использующий энергию сжатого газа для добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать подъемную силу автономного добычного комплекса с учетом изменения плотности воды на различных глубинах. Практическая значимость исследования заключается в обосновании выбора рабочего газа для автономного добычного комплекса и создании расчетных моделей, применимых при проектировании подводных горных работ. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации технологий освоения минеральных ресурсов Арктики.

**Ключевые слова:** арктический шельф, автономные добычные комплексы, плотность морской воды, математическое моделирование, подъемная сила, глубоководная добыча

**Благодарности, признательность:** Авторы посвящают эту статью памяти соавтора и руководителя В. Е. Кислякова.

**Для цитирования:** Кисляков ВЕ, Катышев ПВ, Линьков ЯЕ, Кайдаш НА, Покацкий ДА. Раскрытие взаимосвязи между плотностью морской воды и глубиной арктических морей России в контексте добычи твердых полезных ископаемых. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(4):9-15. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-9-15>.

## REVEALING THE RELATIONSHIP BETWEEN SEAWATER DENSITY AND THE DEPTH OF RUSSIA'S ARCTIC SEAS IN THE CONTEXT OF SOLID MINERAL EXTRACTION

**V. E. Kislyakov<sup>1</sup>**, P. V. Katyshev<sup>1</sup>, Ya. E. Linkov<sup>1✉</sup>, N. A. Kaidash<sup>2</sup>, D. A. Pokatsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education,

Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>2</sup>LLC "NTC "Geotechnologiya", Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ flash198@mail.ru

**Abstract:** The article deals with topical issues of mineral resources development on the Arctic shelf of Russia using innovative autonomous mining complexes. Special attention is paid to the study of the relationship between sea water density and depth as a key factor affecting the efficiency of subsea equipment. The authors proposed an original technical solution - an autonomous mining complex using compressed gas energy for extraction, processing and transportation of minerals. A mathematical model has been developed that allows to calculate the lifting force of the autonomous mining complex taking into account changes in water density at different depths. The practical significance of the study lies in the justification of the choice of working gas for an autonomous mining complex and the creation of calculation models applicable to the design of underwater mining operations. The results of the work can be used to optimize technologies for the development of mineral resources in the Arctic.

**Keywords:** Arctic shelf, autonomous production complexes, sea water density, mathematical modeling, lifting force, deep-sea production

**Acknowledgments, funding:** The authors dedicate this article to the memory of their co-author and supervisor, V. E. Kislyakov.

**For citation:** Kislyakov VE, Katyshev PV, Linkov YaE, Kaidash NA, Pokatsky DA. Revealing the relationship between seawater density and the depth of Russia's arctic seas in the context of solid mineral extraction. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(4):9-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-9-15>.

### Введение

Освоение ресурсов Арктики становится все более актуальной задачей в условиях роста потребности в минеральном сырье. Особое внимание привлекают морские месторождения твердых полезных ископаемых, расположенные на арктическом шельфе. Однако их эффективная разработка невозможна без принципиально новых технических решений. Оборудование должно выполнять работы в суровых условиях арктического шельфа с его сложными гидрогеологическими и природно-климатическими условиями [1–5]. Разработка и внедрение такого оборудования неизбежно повлечет за собой необходимость создания новых или модернизацию существующих технологий добычи полезных ископаемых в морских условиях.

В современный период арктический шельф России превратился в ключевой полигон для разработки и испытания перспективных технологий глубоководной добычи, включая кассетные тралы и различные системы глубоководного гидроподъема [6–7]. Эти технологии имеют глубокую проработку и широко известны ученым и исследователям. Однако современная горнодобывающая отрасль не стоит на месте и активно развивает направление автономных добычных комплексов, что обусловлено стремлением к повышению эффективности, безопасности и снижению зависимости от человеческого фактора [8–10].

Одним из ключевых параметров, определяющих структуру водных масс, динамику подводных процессов и работу автономных добычных комплексов, является плотность морской воды. Она зависит от множества факторов, включая температуру, соленость и глубину, что приводит к формированию плотностного расслоения. В арктических морях, где климатические условия резко меняются, эти характеристики особенно важны для оценки устойчивости подводных конструкций и работы подводных комплексов для добычи.

В связи с тем что технология автономных добычных комплексов становится все более популярной, исследователям требуется глубокое понимание физико-химических свойств морской среды, в частности взаимосвязи плотности воды и глубины предполагаемого месторождения.

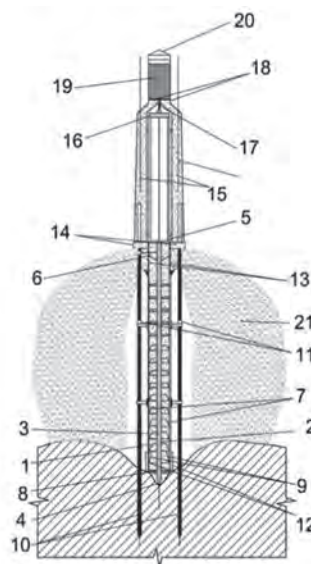
С учетом вышеизложенного настоящая работа направлена на изучение закономерностей изменения плотности морской воды с глубиной в арктических морях России. В статье предлагается техническое решение по применению автономного добычного комплекса, использующего энергию сжатого газа для добычи, предварительного обогащения полезного ископаемого и транспортирования полученного концентрата на поверхность акватории.

**Цель исследования:** изучение взаимосвязи плотности морской воды и глубины арктических морей в контексте применения автономных добычных комплексов, что позволит создать математическую модель, предназначенную для расчета подъемной силы и времени цикла.

### Методы исследований

Предлагаемый авторами автономный добычный комплекс (далее – АДК) представлен на рисунке 1. Он пред-

ставляет собой добычное устройство, производящее попутное обогащение полезного ископаемого в призабойном пространстве.



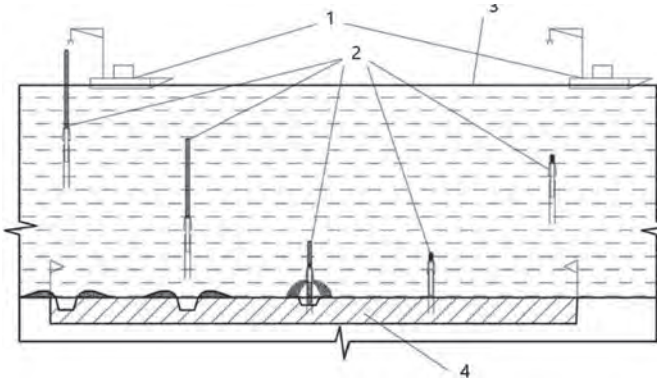
**Рис. 1. Устройство для добычи полезных ископаемых со дна континентального шельфа:** 1 – подъемная труба; 2 – газопровод; 3 – смеситель; 4 – струйный распылитель; 5 – баллон высокого давления; 6 – задвижка-редуктор; 7 – рифли; 8 – ограничительная насадка; 9 – лепестковый клапан; 10 – штанги-направляющие; 11 – фрикционные замедлители; 12 – кумулятивные заряды; 13 – выпускные окна; 14 – пластинчатые заслонки; 15 – газонаправляющие трубы; 16 – такелажное кольцо; 17 – подвес купола; 18 – пружины фиксации; 19 – купол; 20 – такелажная скоба; 21 – взвешенные частицы грунта / **Fig. 1. A device for extracting minerals from the bottom of the continental shelf:** 1 – lifting pipe; 2 – gas pipeline; 3 – mixer; 4 – jet sprayer; 5 – high-pressure cylinder; 6 – gate valve-reducer; 7 – riffles (for mineral processing); 8 – restrictor nozzle; 9 – flapper valve; 10 – guide rods; 11 – friction dampers; 12 – shaped charges; 13 – discharge ports; 14 – plate shutters; 15 – gas guide pipes; 16 – lifting eye; 17 – canopy suspension; 18 – retaining springs; 19 – canopy; 20 – shackle (for rigging); 21 – suspended ground particles

АДК опускается на дно шельфа, где под действием силы тяжести внедряется в грунт. Через струйный распылитель, находящийся на конце устройства, подается газ под высоким давлением, который разрыхляет донные отложения, создавая пульпу, которая увлекается восходящим потоком газа в подъемную трубу. В трубе располагаются рифли таким образом, чтобы живое сечение потока увеличивалось по длине подъема, при этом скорость потока снижалась. Благодаря этому замедленные тяжелые частицы полезного ископаемого оседают в углублении рифлей, а пустая порода удаляется через выпускные окна. Высвободившийся газ улавливается в гибкий купол, после наполнения которого срабатывают кумулятивные заряды, дающие энергию для отрыва устройства от дна. Газ от взрыва направляется в купол, тем самым образуется дополнительная подъемная сила, транспортирующая на поверхность комплекс с концентратом полезного компонента [11].

Особенностью технологического процесса при использовании предложенного автономного добычного комплекса

является автономность с момента спуска в воду и до непосредственного всплытия на поверхность акватории. Второй немаловажной особенностью является совмещение процессов добычи и обогащения. Энергией на все эти процессы, включая процесс всплытия, является сжатый газ. Это позволяет добиться высокого уровня энергоэффективности при ведении добычных работ.

Принцип работы рассматриваемых АДК представлен на рисунке 2.



**Рис. 2. Технология применения устройства для добычи полезных ископаемых со дна континентального шельфа: 1 – добычное судно; 2 – АДК; 3 – поверхность воды; 4 – продуктивный участок дна /**  
**Fig. 2. Technology of application of the device for extraction of minerals from the bottom of the continental shelf: 1 – Mining vessel; 2 – AMS (Autonomous Mining System); 3 – Water surface; 4 – Productive seabed horizon**

Технология применения устройства заключается в том, что с проходящего судна, используя кран-манипулятор 1, спускается на воду 3 АДК 2. Под действием силы тяжести он опускается на продуктивный участок дна 4, внедряясь в него. В результате чего срабатывает механика, открывается задвижка и рабочий газ устремляется вверх. Восходящий поток воды захватывает частицы грунта со дна и увлекает их в подъемную трубу. В подъемной трубе происходит процесс обогащения с осаждением полезного ископаемого в рифли. Пустые породы удаляются из трубы, а рабочий газ начинает расправлять купол.

Когда рабочий газ перестает поступать, детонируюткумулятивные заряды, энергия взрыва от которых отделяет комплекс ото дна 4. За счет созданной подъемной силы рабочим газом в куполе АДК 2 начинается всплытие на поверхность. Особая, вытянутая форма купола будет позволять АДК 2 находиться на поверхности акватории во взвешенном состоянии до момента, пока его не вытащит на палубу судно-сборщик 1.

Подъемная сила, необходимая для подъема устройства с морского дна на поверхность, определяется взаимодействием сил тяжести и выталкивающей силы, которая создается в том числе за счет использования газов. Для оценки этой силы необходимо учитывать физические параметры газов (плотность, объем, давление) и влияние гидростатического давления, которое возрастает с глубиной.

Используя уравнение состояния идеального газа и закон Бойля – Мариотта (Гей-Люссака), авторами получена зависимость по определению подъемной силы, создаваемой газом в замкнутом пространстве, доставленном на глубину с поверхности морской акватории.

Подъемная сила газа ( $F$ , кгс):

$$F = \frac{(\rho_{\text{вод}} - \rho_2) \cdot g \cdot V_1 \cdot P_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1} \cdot 0,101, \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{вод}}$  – плотность морской воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $V_1$  – начальный объем газа, м<sup>3</sup>;  $T_1$  – температура воды на глубине забоя, К;  $T_2$  – температура на поверхности акватории, К;  $P_2$  – абсолютное давление на глубине забоя, Па;  $P_1$  – атмосферное давление, Па.

В данном исследовании использовались среднемесячные показатели плотности морской воды, по информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМО) для пяти арктических морей, омывающих берега России: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского [12–16]. Статистические данные были заранее обработаны авторами атласа «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана». Стандартная ошибка среднего значения не выходила за рамки типовой, благодаря чему собранные данные считаются удобоваримыми.

Расчет данных береговых гидрометеостанций составителями атласа производился согласно месячным рядам четырех срочных прибрежных данных за все время наблюдений.

В условиях океанографических станций вековых разрезов вычисления были проведены по рядам данных, составленных по наблюдениям в постоянных точках морей за весь временной промежуток.

В случае акватории открытого моря основные статистические характеристики были определены по данным глубоководных наблюдений, сформированным по одноградусным квадратам Марсдена за все время наблюдений.

Непосредственные исследования выполнялись, опираясь на зависимости средних арифметических значений, которые стандартно определялись как сумма всех значений, деленная на их количество.

На портале межведомственной федеральной системы значения плотности находились в условных единицах. Для удобства проведения исследования плотность была переведена в истинные единицы, используя стандартные методики с учетом сложения с чистой водой в стандартных условиях. Это позволит правильно интерпретировать результаты.

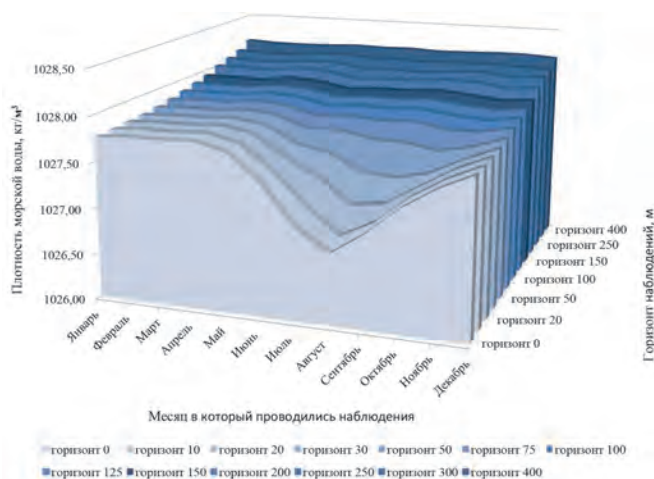
### Результаты и обсуждение

Согласно проанализированным данным для Баренцева моря, был построен график изменения плотности в течение года на различных горизонтах, так как это самая изученная акватория по всем горизонтам (рис. 3).

График иллюстрирует постепенное увеличение плотности морской воды с увеличением глубины, это объясняется снижением температуры и увеличением солёности.

Стоит отметить, что сезонные изменения плотности на горизонтах свыше 150 м незначительны и изменяются в границах 0,01 %, что показывает стабилизацию плотностной структуры в глубоководных слоях. Это важно при моделировании подъемных систем автономного добычного комплекса, так как их настройки не нуждаются в корректировке в течение года и могут применяться в любой период года. В случае постоянных плотностных характеристик морской воды на данных глубинах подъемное усилие должно рассчитываться для работы конкретно в данных стабильных условиях.





**Рис. 3. Изменения плотности морской воды в течение года на разных горизонтах (на примере Баренцева моря) / Fig. 3. Changes in seawater density during the year at different horizons (on the example of the Barents Sea)**

Первый этап анализа заключался в рассмотрении зависимости плотности от глубины каждого из морей арктической

зоны в отдельности. Значения плотности на одноименных горизонтах среднемесячных значений параметра в году усреднялись по каждой из акваторий.

Усредненные значения плотности использовались для построения графиков зависимости плотности от глубины (рис. 4).

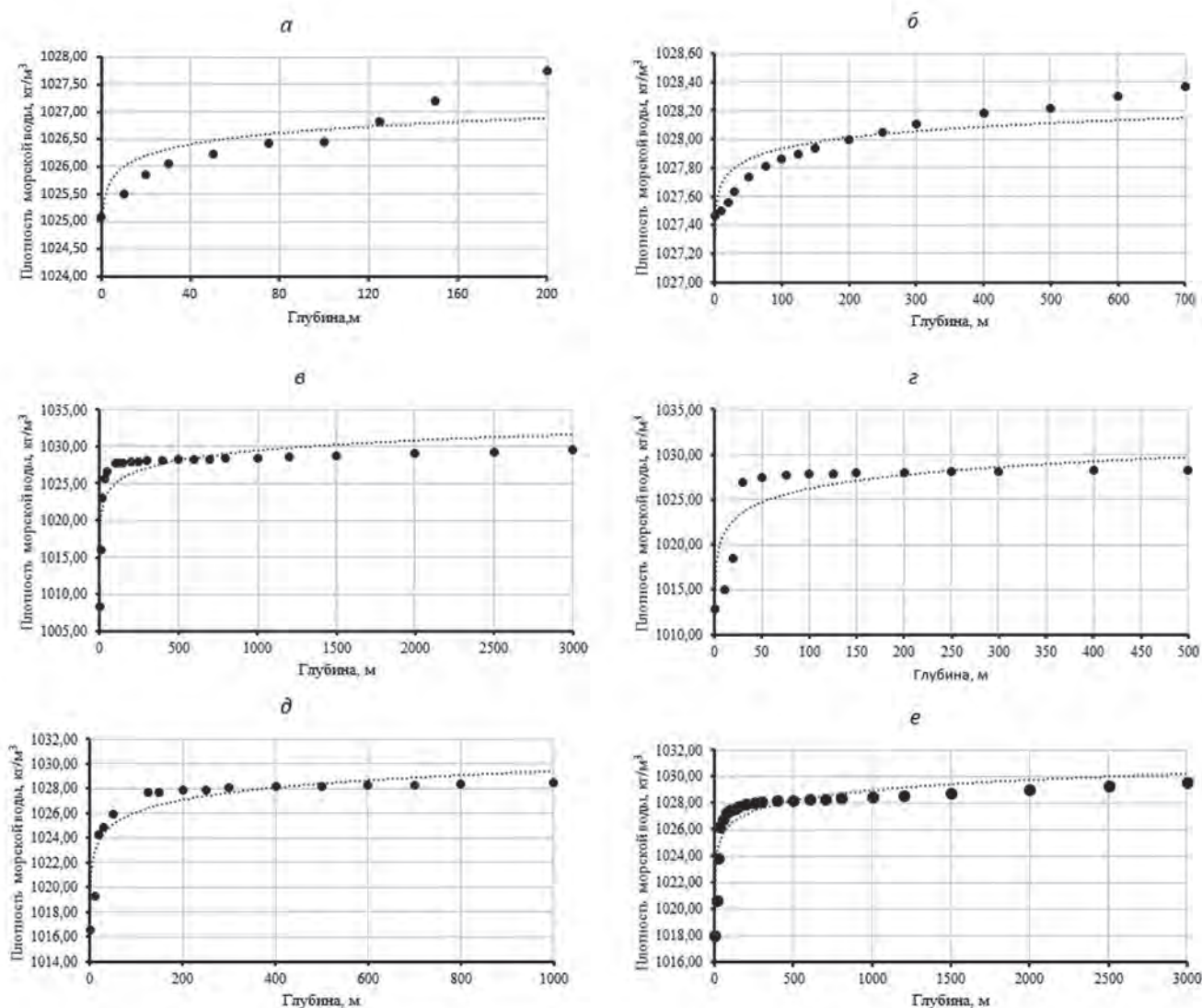
Полученные данные были аппроксимированы к степенной регрессии. Вследствие чего получено эмпирическое уравнение, описывающее изменение плотности морской воды от глубины. Уравнение плотности морской воды имеет следующий вид, кг/м³:

$$y = a \cdot x^b, \quad (2)$$

где  $x$  – глубина измерения, м;  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты.

По результатам регрессионного анализа получены следующие значения коэффициентов для данного уравнения (табл. 1).

Чтобы оценить качество регрессионной модели, произведен расчет коэффициента детерминации. По результатам расчета получены значения, приведенные в таблице 2.



**Рис. 4. Распределение плотности морской воды по глубине: а – Чукотское море; б – Баренцево море; в – море Лаптевых; г – Карское море; д – Восточно-Сибирское море; е – все рассматриваемые акватории / Fig. 4. Distribution of seawater density by depth: а – Chukchi Sea; б – Barents Sea; в – Laptev Sea; г – Kara Sea; д – East Siberian Sea; е – all studied water areas**

Таблица 1 / Table 1

**Эмпирические коэффициенты полученного уравнения /  
Empirical coefficients of the obtained equation**

| Акватория / Aquatorium                      | Коэффициент / Coefficient (a) | Коэффициент / Coefficient (b) |
|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Баренцево море / Barents Sea                | 1027,4                        | 0,0001                        |
| Карское море / Kara Sea                     | 1016,2                        | 0,0021                        |
| Море Лаптевых / Laptev Sea                  | 1016,0                        | 0,0019                        |
| Восточно-Сибирское море / East Siberian Sea | 1019,5                        | 0,0014                        |
| Чукотское море / Chukchi Sea                | 1025,4                        | 0,0002                        |

Исходя из результатов, более 73 % вариаций значения плотности зависят от глубины, то есть модель хорошо описывает данные и ее допустимо использовать для практических расчетов. Для оценки точности модели был проведен расчет стандартного отклонения, который показал разброс значений плотности. Расчет стандартного отклонения выявил высокую степень достоверности в силу небольшого разброса плотности относительно аппроксимирующей кривой. Разброс составил: 0,15, 2,53, 2,03, 1,09, 0,51 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2 / Table 2

**Коэффициент детерминации /  
Coefficient of determination**

| Акватория / Aquatorium                      | Коэффициент / Coefficient |
|---------------------------------------------|---------------------------|
| Баренцево море / Barents Sea                | 0,73                      |
| Карское море / Kara Sea                     | 0,76                      |
| Море Лаптевых / Laptev Sea                  | 0,82                      |
| Восточно-Сибирское море / East Siberian Sea | 0,89                      |
| Чукотское море / Chukchi Sea                | 0,76                      |

Второй этап анализа заключался в усреднении плотности на одноименных горизонтах среднемесячных значений в году при рассмотрении акватории вместе, а не по отдельности. Это необходимо для того, чтобы заполнить отсутствующие данные на некоторых уровнях исследования и создать корректную модель для определения плотности воды в зависимости от глубины. Усредненные данные использовались при построении графика обобщенной зависимости плотности морской воды от глубины (рис. 3е). Эти данные также аппроксимированы методом степенной регрессии, уравнение (2).

В ходе регрессионного анализа получены следующие эмпирические коэффициенты:  $a = 1021,2$ ;  $b = 0,0011$ .

Как и для первого этапа анализа, произведен расчет коэффициента детерминации для оценки качества регрессионной модели, который составил 0,86. То есть более 86 % вариаций значения плотности зависят от глубины. Расчет стандартного отклонения показал небольшое отклонение 0,97 кг/м<sup>3</sup>.

Используя уравнение (1) и математическую модель, полученную ранее, был произведен расчет подъемной силы для 1 м<sup>3</sup> некоторых распространенных промышленных и природных газов с глубиной. В качестве газов были использованы: водород, метан, углекислый газ, воздух. (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что величина подъемной силы до глубины разработки 200 м практически не зависит от типа применяемого рабочего газа. А на глубине разработки 500 м величина подъемной силы в зависимости от применяемых

газов (от водорода до углекислого газа) уже составляет порядка 10 %.

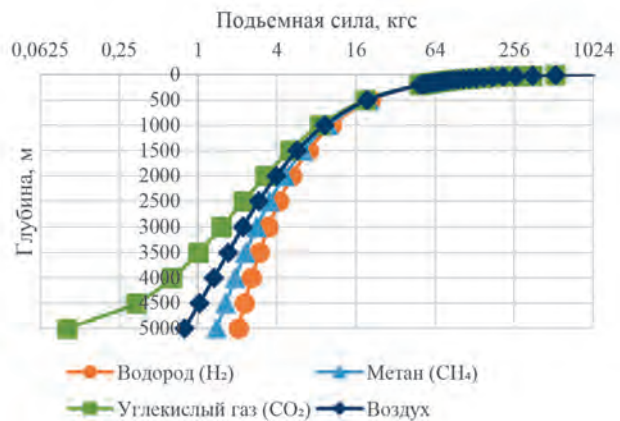


Рис. 5. Изменение подъемной силы газов на различных горизонтах разработки /  
Fig. 5. Change of gas lifting force at different horizons of development

### Закключение

1. Фактор расслоения плотности вод арктических морей особенно важен при моделировании процесса эксплуатации автономных добычных комплексов, что подтверждается результатами исследования.

2. Разработанные математические модели могут учитывать акватории как по отдельности, так и в совокупности, что позволит увеличить гибкость и адаптивность при проектировании автономного добычного комплекса и расчета его подъемной силы.

3. В условиях арктического шельфа основным критерием по выбору рабочего газа для создания подъемной силы АДК является минимизация себестоимости получения и сжатия до необходимых значений рабочего газа.

4. Определено, что на горизонтах ниже 150 м колебания плотности становятся малозначительными, позволяя рассматривать плотность как постоянную величину в течение года на соответствующих глубинах разработки полезных ископаемых.

5. Установлено, что для максимизации подъемной силы рассматриваемого АДК целесообразнее использовать водород согласно уравнению состояния идеального газа и закона Бойля – Мариотта.

5. Выявлено, что благодаря обобщенному уравнению и уравнениям для каждой акватории в отдельности возможно рассчитать плотность на любой глубине в рамках рассматриваемого в исследовании диапазона. Уравнения возможно использовать в технических расчетах и моделировании освоения ресурсов арктических морей, подъемной силы АДК.

### Выводы

1. Использование автономных добычных комплексов представляет собой перспективное технологическое решение для ведения добычных работ на морских месторождениях твердых полезных ископаемых арктического шельфа.

2. Результаты исследований могут быть полезными при выполнении технических расчетов автономных добычных комплексов, принимая во внимание природно-климатические условия конкретной акватории.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Petersen S, Krätschell A, Augustin N, et al. News from the seabed – Geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources. *Marine Policy*. 2016; 70: 175-187. DOI: 10.1016/j.marpol.2016.03.012.
2. Кисляков ВЕ, Катышев ПВ, Анушенков АН и др. Изучение влияния низких температур окружающего воздуха и морской воды на возможность добычи твердых полезных ископаемых в арктических водах. *Горная промышленность*. 2024; 4: 81-88. [Kisliakov VE, Katyshev PV, Anushenkov AN, et al. Study of the impact of low ambient air and seawater temperatures on the possibility of mining solid minerals in arctic waters. *Mining Industry Journal*. 2024; 4: 81-88 (In Russ.)]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-81-88.
3. Каминский ВД, Супруненко ОИ, Смирнов АН и др. Современное ресурсное состояние и перспективы освоения МСБ шельфовой области Российской Арктики. *Разведка и охрана недр*. 2016; 9: 136-142. [Kaminsky VD, Suprunenko OI, Smirnov AN, et al. Current resource conditions and prospects for development of the mineral resource base in the shelf zone of the Russian Arctic. *Prospect & protection of mineral resources*. 2016;9: 136-142. (In Russ.)].
4. Kisliakov VE, Linkov IaE, Katyshev PV, et al. Studying possible ways of adapting subsea mining to extreme natural conditions of the Far North. *Minerals and mining engineering*. 2024; 6: 22-28. DOI: 10.21441/1536-1128-2124-6-22-28.
5. Kirsanov AK. Obstacles and prospects of subsea mining of solid minerals in the conditions of the Far North. *Minerals and mining engineering*. 2025; 2: 8-16. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-2-8-16.
6. Кириченко ЮВ, Каширский АС. Кассетный трал для промышленной добычи железомарганцевых конкреций океанического дна. *Горный журнал*. 2015; 12: 56-61. [Kirichenko YuV, Kashirsky AS. Cassette-type minesweeper for industrial extraction of ferromanganese nodules from the ocean floor. *Mining Journal*. 2015; 12: 56-61. (In Russ.)]. DOI: 10.17580/gzh.2015.12.13.
7. Дробаденко ВП, Вильмис АН, Луконина ОА и др. Анализ способов породозабора путем всасывания при горноразведочных работах на россыпях шельфа. *Разведка и охрана недр*. 2024; 5: 103-108. [Drobadenko VP, Vilms AL, Lukonina OA, et al. Analysis of methods of rock suction exploration in offshore placer operations. *Prospect & protection of mineral resources*. 2024; 5: 103-108. (In Russ.)]. DOI: 10.53085/0034-026X\_2024\_5\_103.
8. Panda JP, Mitra A, Warrior HV. A review on the hydrodynamic characteristics of autonomous underwater vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2021; 235 (1): 15-29. DOI: 10.1177/1475090220936896.
9. Milosevic Z, Fernandez RAS, Dominguez S, Rossi C. Guidance for Autonomous Underwater Vehicles in Confined Semistructured Environments. *Sensors*. 2020; 20 (24): 7237. DOI: 10.3390/s20247237.
10. Zhang, Xuguang Chen, Lubao Luan, et al. Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives. *Earth Energy Science*. 2025; 1 (1): 65-84. DOI: 10.1016/J.EES.2024.08.002.
11. Патент № 2837947 C1 Российская Федерация, МПК E21C 50/00, E21C 45/06. Способ добычи полезных ископаемых со дна континентального шельфа и устройство для его осуществления: заявл. 03.07.2025; опубл. 07.04.2025 / Кисляков В.Е., Катышев П.В., Линьков Я.Е.; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Сибирский федеральный университет». [Kislyakov VE, Katyshev PV, Linkov IaE. Method for Extraction of Mineral Resources from the Continental Shelf Bottom and Device for Its Implementation. 2025. (Patent RU 2837947 C1). IPC E21C 50/00, E21C 45/06. Applicant: Siberian Federal University ("Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University"). (In Russ.)]
12. Баренцево море – общие сведения. *Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане*. [Barents Sea – General Information. *Unified State Ocean Information System*. (In Russ.)]. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Bar/index.html>.
13. Карское море – общие сведения. *Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане*. [Kara Sea – General information. *Unified State Ocean Information System*. (In Russ.)]. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Karsk/index.html>.
14. Море Лаптевых – общие сведения. *Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане*. [Laptev Sea – General information. *Unified State Ocean Information System*. (In Russ.)]. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Laptevix/index.html>.
15. Восточно-Сибирское море – общие сведения. *Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане*. [East Siberian Sea – General information. *Unified State Ocean Information System*. (In Russ.)]. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Vostsib/index.html>.
16. Чукотское море – общие сведения. *Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане*. [Chukchi Sea – General information. *Unified State Ocean Information System*. (In Russ.)]. URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Chyk/index.html>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Виктор Евгеньевич Кисляков** –  
д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»,  
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,  
e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Victor E. Kislyakov** –  
Dr. Sci. (Eng.), Professor, 660041, Krasnoyarsk,  
Siberian Federal University, Russian Federation,  
e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru



**Павел Викторович Катышев** –  
канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»,  
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,  
e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

**Pavel V. Katyshev** –  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Siberian  
Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian  
Federation, e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru





**Ярослав Евгеньевич Линков** –  
аспирант, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет», 660041, г. Красноярск,  
Российская Федерация,  
e-mail: Flash198@mail.ru

**Yaroslav E. Linkov** –  
Post-graduate student, Siberian Federal University,  
660041, Krasnoyarsk, Russian Federation,  
e-mail: Flash198@mail.ru



**Никита Андреевич Кайдаш** –  
младший инженер, ООО «НТЦ  
«Геотехнология», 660037, г. Красноярск,  
Российская Федерация,  
e-mail: info@ntc-geotech.ru

**Nikita A. Kaidash** –  
junior engineer, LLC «NTC «Geotechnologiya»,  
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation,  
e-mail: info@ntc-geotech.ru



**Даниил Александрович Покацкий** –  
студент, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет», 660041, г. Красноярск,  
Российская Федерация,  
e-mail: danpok2002@gmail.com

**Daniil A. Pokatsky** –  
student of the Siberian Federal University, 660041,  
Krasnoyarsk, Russian Federation,  
e-mail: danpok2002@gmail.com

**Критерии авторства / Contribution:**

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

**Конфликт интересов / Conflict of interest:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 24.05.2025.

Поступила после рецензирования: 02.07.2025.

Принята к публикации: 10.07.2025.

**Article info**

Received: 24.05.2025.

Revised: 02.07.2025.

Accepted: 10.07.2025.