

# ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВОДНЫХ ГАЗОГИДРАТОВ И ИХ РЕСУРСОВ В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

М.В. Шакирова, А.И. Обжиров, Н.Л. Соколова, Ю.А. Телегин, Р.Б. Шакиров

Рассматривается распространение подводных газогидратов как результат взаимодействия различных природных факторов, действующих в придонной толще осадочных пород и водных слоях морей Восточной Азии. В работе определены факторы, причинно-следственные связи между ними, выявлены наиболее значимые условия, способствующие образованию подводных газогидратов. На основе карт распространения природных факторов в исследуемых морях с помощью ГИС-моделирования определены наиболее перспективные и вероятные газогидратоносные акватории. Изучение газогидратов важно не только для использования их как альтернативной вида углеводородного сырья, но и при инженерных работах на дне морей. В районе газогидратов происходит нарушения поверхности дна, так как газогидраты разрушаются при повышении температуры и (или) снижении давления. При этом важно использовать возможности подводных робототехнических средств для исследований газогидратов и окружающей среды.

**Ключевые слова:** газогидраты, подводное газогидратообразование, природные факторы, термобарические условия, термодинамическая стабильность, закономерность распространения, моря Восточной Азии.

## ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие мировой экономики и широкое использование энергоемких технологий способствуют активному развитию очередного энергетического спроса в мире. Природа за сотни миллионов лет накопила огромные ресурсы минеральной энергии – угля, нефти, природного газа, которые за 100–200 лет постепенно уменьшаются. Необходимо изыскивать и использовать новые источники минеральной энергии, а также новые виды энергии – Солнца, океана, ветра, естественной гравитации и др. [1]. Именно на этой проблеме основана актуальность работы.

Потоки метана и газогидраты имеют большое значение в развитии геосферы, гидросферы и атмосферы Земли. Они взаимосвязаны с процессами сейсмотектонической активизации с формированием нефтегазовых залежей, морфоструктур морского дна, землетрясениями, цунами, а также с процессами глобального изменения (потепления) климата [1–6].

По некоторым оценкам 98% ресурсов газогидратного газа присутствует на морских континентальных

окраинах и 2% – в районах вечной мерзлоты на суше [7]. На появление и устойчивость подводных газогидратов влияют различные природные факторы. Зная закономерности их распределения на территории, можно более точно определить возможные места скопления подводных газогидратов и перспективные площади для их поисков. Для добычи метана из газогидратов необходимо выполнение детальных исследований мощности газогидратной толщи, состояния морского дна, разработки методов извлечения метана, которые возможны с использованием подводных робототехнических средств [8].

Цель работы: выявление и синтез географических, геологических и океанографических факторов для описания и прогноза районов, оптимальных для формирования подводных скоплений газогидратов восточноазиатских морей. Выявление закономерностей распределения газогидратообразующих факторов проводилось для акваторий морей Восточной Азии: Берингова, Охотского, Японского, Восточно-Китайского, Желтого, Филиппинского и Южно-Китайского.

## ■ Методы исследования

Для определения вероятных мест залегания подводных газогидратов необходимо учитывать различные условия, при которых их образование и стабильное состояние возможны. К таким условиям относятся: структурные, тектонические, стратиграфические, литологические (возраст, состав, мощность осадочных пород, плотность), географические (районы, зоны), геоморфологические (рельеф дна), гидрографические (глубины), гидрологические (температура воды, соленость, плотность), особенности вулканической, сейсмической активности, взаимосвязанные с газогеохимическими проявлениями [9–12, 15–17]]. В настоящее время опубликовано несколько карт прогнозного распределения газогидратов на основе термобарического моделирования. К сожалению, одной информации, по условиям температуры, давления и глубинам недостаточно для реалистичного представления о возможном фактическом распространении газогидратов. В то же время факты ежегодного обнаружения всех новых скоплений газогидратов в Мировом океане указывают, что это явление гораздо более распространено, нежели отражено на современных картах фактически найденных их скоплений [11–14]]. Очевидно, что необходим системный анализ геологической и океанографической информации чтобы выявить общие черты среди газогидратоносных кластеров и построить ряд наиболее реалистичных карт и схем, объясняющих их распределение как перспективных источников энергии будущего и аспектов инженерной и другой деятельности (например, оценка биоразнообразия) на морском дне.

В целом необходимо выявить закономерности и оценить совпадение максимального количества природных факторов для образования газогидратов [15–17]. Это в первую очередь:

- газогеохимические: потоки газа с определением компонентов:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{--C}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ;
- географические: зональность, различные участки дна (шельф, склон и др.), прочие особенности географического положения;
- морфотектонические: приуроченность к зонам разломов и определенным формам рельефа;
- гидрографические: глубина, давление, течения
- гидрологические: температура придонного слоя, соленость, мутность;
- седиментологические: мощность осадков, возраст, аутигенные минералы, гранулометрия, влажность, плотность (проницаемость), содержание органического вещества, температура в забое кернов.

- геофизические: сейсмоактивность, глубина залегания подошвы газогидратоносного слоя (BSR), тепловой поток;

- магматизм: вулканические источники газов;
- биогеохимические: микробиологические индикаторы газовых потоков (оазис биоты: планктон, бентос, микробы, крабы, рыба и др.);

Для анализа данных факторов применяются следующие базовые методы морских исследований:

1. Геоструктурный метод представляет собой сочетание стандартных геологических подходов (геоструктурного, литолого-фациального, тектонического, стратиграфического, сейсмического) для анализа геологического контроля потоков углеводородных флюидов на газогидратоносных площадях и геопространственной взаимосвязи газогидратов и других скоплений каустобиолитов (нефтегазовые и конденсатные месторождения, зоны газонасыщения в осадках, углегазовые толщи и др.). Особенно важным является сопоставление выявленных и прогнозируемых газогидратных скоплений с глубинными геологическими структурами (трещиноватый фундамент, глубинные зоны проницаемости, линеаменты, вулкано-магматические очаги, пояса сейсмичности и повышенного теплового потока и др.). Авторский коллектив владеет достаточным оригинальным фактическим материалом и базами литературных данных для проведения такого анализа. Реализация метода выполняется в геоинформационных системах ArcGIS, RockWorks и др.).

2. Термодинамический. Широкий диапазон РТ (давления и температуры) параметров обусловлен необходимостью геофизического моделирования «отражения, подобного дну», или BSR (параллельное дну отражение), который, как правило, располагается на глубине 200–300 м ниже дна при увеличении температуры с глубиной в соответствии с геотермическим градиентом.

3. Акустический (экспедиции). С помощью материалов эхолотирования на разных частотах детально изучаются характеристики дна района экспедиционных исследований. По результатам составляется карта газовых факелов специфических для газовых потоков морфоструктур (рис. 1), при этом считается количество потоков пузырей газа (метана) и определяется временной режим дегазации газогидратоносных кластеров. Анализируется база данных гидроакустических аномалий типа «факел» в дальневосточных морях за 30-летний период исследований. Рассчитывается акустическая плотность газовых пузырей в толще вод газогидратоносных районов и их влияние на изменения поверхности дна, что очень

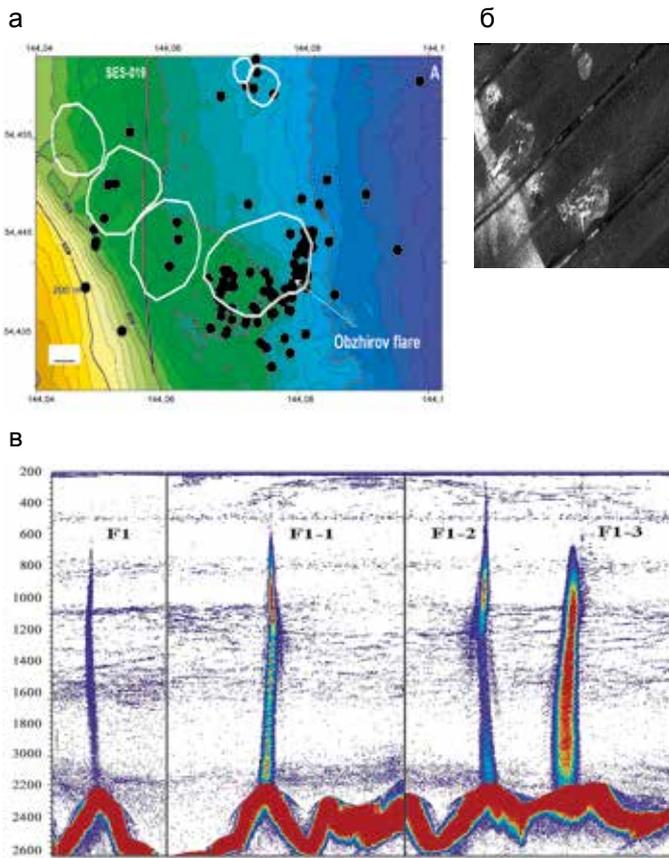


Рис. 1. Пример нарушения поверхности дна в районе потоков пузырей газа с высокой концентрацией метана: а – черные кружочки показывают места выходов пузырей газа на Сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря, в том числе стрелкой обозначен факел (flare), обнаруженный первым в 1988 году, который назван «Obzhirov»; б – акустическая, сонарная съемка, показаны районы нарушения дна (светлые площади). На поверхности дна в районе выходов пузырей газа из донных отложений в воду образуются бугры и ямки высотой и глубиной около 10-20 м, и в донных осадках обнаружены газогидраты; в – пример потока пузырей метана из донных отложений в воду, отмеченных гидроакустической съемкой (запись А.С.Саломатина) на западном склоне Курильской котловины, Охотское море. Поток записан с разными пересечениями (F 1, F 1–1, F 1–2, F 1–3)

важно учитывать при инженерных исследованиях морского дна, в том числе с использованием подводных робототехнических средств.

4. Изотопно-геохимический метод является сочетанием методических приемов натуральных, лабораторных и теоретических исследований. В его основе лежат технология представительного отбора газовых проб из различных сред, газохроматографический анализ и применение комплекса критериев анализа фонового и аномального газогеохимических полей, использование данных о поведении стабильных изотопов углерода, метана и других углеродсодержащих газов газогидратов и в осадках на газогидратоносных площадях [4–6]. Будет составлена масс-балансовая диаграмма полигенетических газов для оценки их вклада в зону гидратообразования.

## ■ Условия формирования и разрушения газогидратов

На геологической основе создается газогеохимическая геомодель формирования газогидратоносных структур на шельфе и континентальных склонах. Данная модель позволит всесторонне выявить и описать основные параметры гидратоносных кластеров и характер их взаимодействия с вмещающими породами. Изучается поведение масс-балансового эффекта с учетом фракционирования, что, вероятно, является определяющим при формировании гетерогенности современных газогеохимических полей гидратоносных морских отложений. Он проявляется, например, «выравниванием» изотопных значений  $\delta^{13}\text{C}$  метана путем микробной переработки поступающих в активные разломы газовых потоков с некоторой долей термогенных (нефтяных) газов метанотрофными и метаногенными бактериями [14]. Происходит «облегчение», увеличение легкого изотопа  $^{12}\text{C}$ , который используют метаногенные микробы изотопного отношения  $\delta^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} = -65\text{‰}$  (метан микробного происхождения имеет  $\delta^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} =$  от 70 до  $-110\text{‰}$ , а термогенного –  $\delta^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} =$  от  $-30$  до  $-40\text{‰}$ ). Совокупность полученных сведений приводит к выводу, что облегчение изотопного состава углерода метана холодных сипов и газогидратов до микробной изотопной метки происходит главным образом за счет процессов смешения и взаимного разбавления потоков миграционных и микробных газов на диагенетических интервалах осадочной толщи. Доля миграционных газов в газах угольных бассейнов ДВ региона, некоторые из которых в Охотском и Японском морях имеют подводное продолжение, может составлять 70–30%. Микробная компонента в поверхностных отложениях может преобладать, экранируя и разбавляя миграционные потоки. Биологическое и кинетическое фракционирование изотопов углерода в данном случае, вероятно, имеет подчиненное значение по отношению к масс-балансному эффекту и, судя по фактическому материалу, не приводит к значительным изменениям (на десятки промилле) наблюдаемых соотношений  $^{12}\text{C} / ^{13}\text{C}$  метана. Эта проблема становится сложнее, если принять во внимание генерацию abiогенного метана и УВ при серпентинизации. В Охотском море нефть обнаружена в серпентинитах на Окружном месторождении на глубине 3000 м. Нефтяные углеводороды обнаружены в фундаменте многих окраинно-морских бассейнов и в платформенных обстановках. Аналогичные процессы установлены в Атлантике, Арктике, Карибском регионе, Каймановом спрединговом

центре и на шельфе Восточного Сахалина. Метан является участником глубинных процессов литосферы. Обсуждаются перспективы поисков нефти в кристаллическом фундаменте на участке Киринского и соседних месторождений. Одним из важных экспресс-индикаторов наличия миграционных газов в гидратоносных осадках являются также аномалии гелия, впервые обнаруженные авторами (до 70 ppm) на северо-западном борте Курильской котловины в 2012 г. Гелий в сахалинском сегменте Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы является преимущественно глубинным элементом и концентрируется в нефтегазовых залежах и газогидратных скоплениях, поэтому в масс-балансовой оценке полигенезиса возможны коррективы с учетом других газовых индикаторов.

### ■ Исследования газогидратов в экспедициях

Для изучения газогидратов в экспедициях выполнялись:

1. Отбор проб донных осадков и газогидратов. В рамках разработки технологии поиска газогидратных залежей сконструированы модифицированные гидростатические грунтозаборные трубки и коллектор для сбора пузырей метана из гидратоносных отложений. Данные трубки способны отбирать керн осадка до поддонной глубины 8–10 м с максимальной сохранностью осадка. Коллектор (сеточный конус с гофрированной трубкой) отбирает пузыри метана, мигрирующие из донных отложений и газогидратов, которые доставляются к судну-сборщику газа по шлангу [8].

2. STD-зондирование и пробоотбор колонок воды для измерения газа. Изучение температуры, солёности и газового состава колонок воды важно для понимания характера и масштаба поступления метана из донных отложений в воду. Эти данные используются как индикаторы для поиска нефтегазовых залежей и газогидратов и дают информацию для изучения влияния газовых потоков на состояние окружающей среды. Будет выполнен количественный расчет потоков метана.

3. Изучение газового состава донных отложений и воды. Выполняется изучение газовой составляющей ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , He, Rn, Ar,  $CH_4$  и  $C_2-C_4$ ) в колонках воды и донных осадков на борту судна газовыми хроматографами и проводится масс-балансовая интерпретация вклада различных литосферных (включая микробные) газовых источников.

### ■ Природные факторы, определяющие особенности поисков и разведки газогидратов

В отличие от большинства других образований газогидраты крайне чувствительны к изменениям внешних параметров среды. Небольшое изменение температуры или давления (изменение термобарических условий) может привести к превращению прочно сцементированных гидратосодержащих пород в разжиженную массу и к освобождению огромных количеств газа, делающему этот процесс необратимым [10]. На рис. 2 представлена схема, составленная авторами, на которой показано, какие факторы и условия вовлечены в процесс подводного газогидратообразования и в какой причинно-следственной связи они друг с другом находятся.

Термодинамическая стабильность газогидратов – это основное условие для среды образования и сохранения гидратов и соответственно важный критерий для выявления зон возможного газогидратообразования. Нарушение термодинамических условий в системе приводит к разложению гидратов. Основные параметры пласта, которые должны быть охарактеризованы при этом для выделения зон возможного газогидратообразования, температура, давление, состав газа и минерализация пластовых вод, а также литофациальный состав (проницаемость) пласта [5]. Термобарические, газогеохимические и гидрологические условия формирования газогидратов подробно изучались многими исследователями [1], в том числе коллективом ТОИ ДВО РАН [5].

Высокая минерализация пластовых вод не только тормозит, но иногда и исключает возможность реализации процесса газогидратообразования, поскольку полости каркаса решетки воды заняты молекулами соли [5].

Все районы, где к настоящему времени выявлены газогидраты, приурочены к континентальным и островным склонам и подножиям, а также глубоководным участкам внутренних и окраинных морей, где они часто бывают связаны с подводными грязевыми вулканами или с глиняными диапирами. Многочисленными сейсмическими исследованиями все горизонты газогидратообразования обнаружены на континентальных склонах и подножиях или склонах аккумулятивных холмов типа Внешнего хребта плато Блейк. Эти горизонты являются подошвой газогидратных залежей (BSR) мощностью от 200 до 400 м и протягиваются параллельно дну.

Главными причинами приуроченности газогидратов к континентальным склонам и подножиям

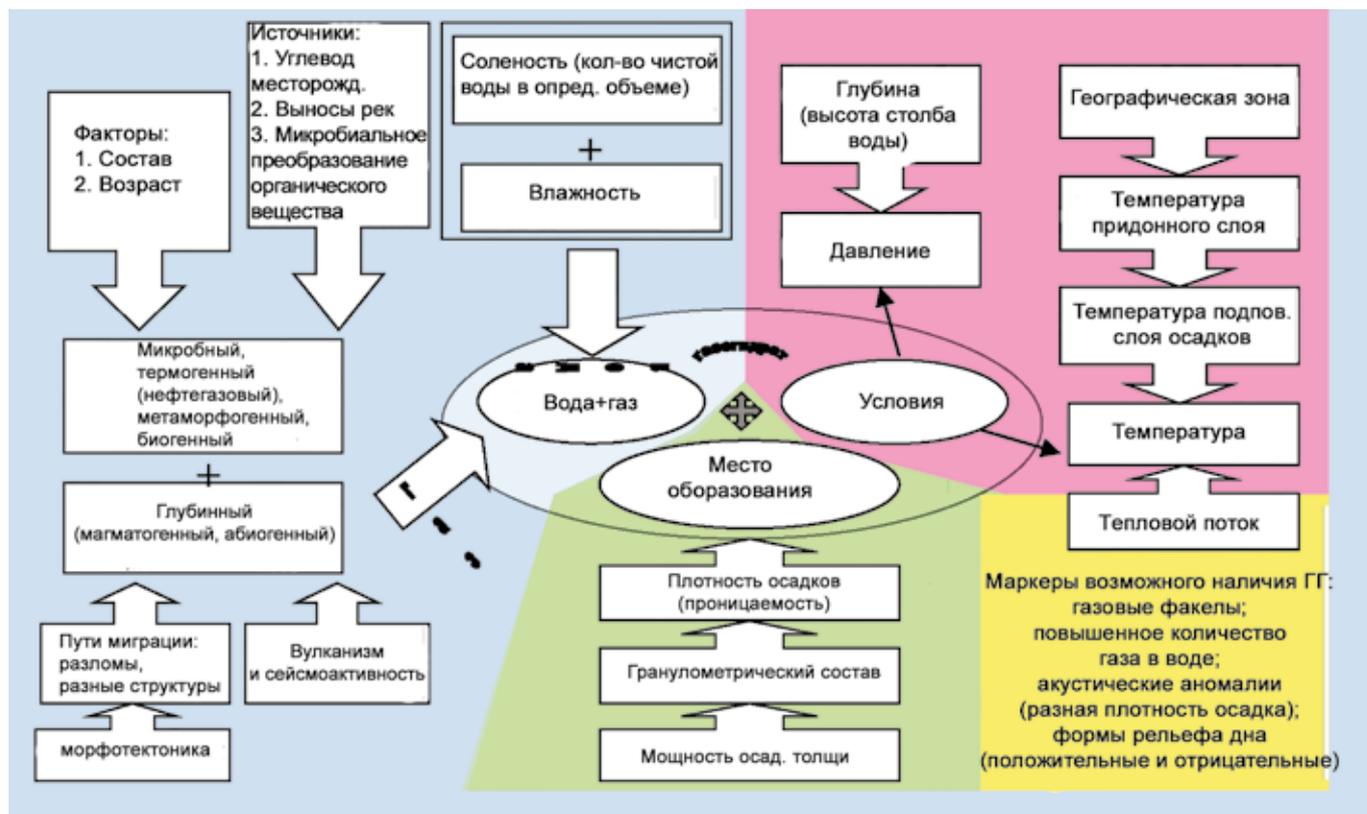


Рис. 2. Схема взаимодействия факторов, влияющих на формирование подводных газогидратов

являются наиболее благоприятные сочетания термобарических условий, повышенные содержания органического вещества и глубокая его биохимическая переработка, поступление термогенных и глубинных углеводородоносных газов и флюидов по зонам разломов. Также необходимо отметить фильтрогенные и диффузионные процессы, т.е. широкие масштабы нефтегазообразования в периокеанических прогибах. В глубоководных котловинах при ровной поверхности дна и горизонтально залегающих осадочных слоях горизонты возможного газогидратообразования трудно отличимы от обычных отражающих горизонтов – дно, смена литологического состава, горизонты перехода минеральных форм, например, опал-кристобаллит и др. (рис. 3).

При резко расчлененном рельефе областей абиссального холмогорья и вулканических возвышенностей и хребтов получается сложная сейсмическая запись с многочисленными диафрагмированными волнами, что очень

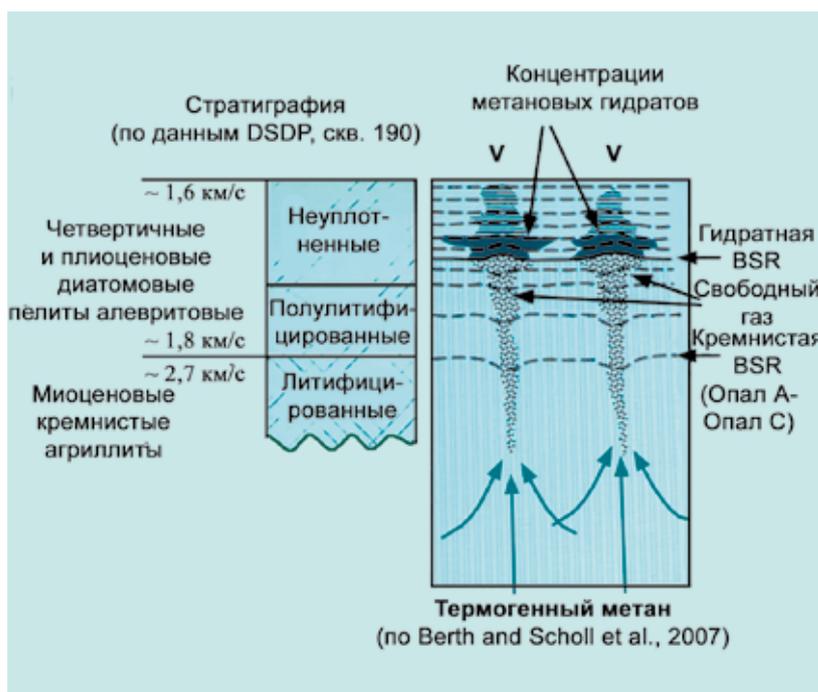


Рис. 3. Схема образования газогидратов в толще осадков. Метан мигрирует снизу (источник метана термогенный, мигрирует из нефтегазоносных пород), при низкой температуре и высоком давлении (зона стабильности) образуется газогидрат. Слои газогидратосодержащих пород отделяются границей BSR (Bottom Simulating Reflector) по разнице плотности в акустическом поле. Под этой границей накапливается метан, так как газогидрат является хорошей крышкой. Кроме этой границы формируется граница перекристаллизации опала А в опал С [12]

затрудняет выделение каких-либо сейсмических аномалий [2]. В этом случае проводятся комплексные геолого-геофизические исследования (сейсмопрофилирование, гидроакустическая съемка на разных частотах, литологическое опробование, гидролокация, гидромагнитная и гравиметрическая съемки и др.).

Следует остановиться и еще на одном факторе влияния на процессы газогидратообразования в недрах – литолого-фациальном составе газопродуктивных пород. Исследования, выполненные В.С. Якушевым [9–11], показали, что активность процессов газогидратообразования в недрах изме-

няется в любую сторону и даже прекращается в зависимости от степени проницаемости отложений. Наиболее благоприятные условия для образования и накопления газогидратов имеются в хорошо проницаемых чистых тонкозернистых песках. С увеличением примесей глинистых частиц отклонения в термодинамических параметрах газогидратообразования возрастают и изменяется их структурное строение (рис. 4).

В-морфоструктуры газогидратов, которые зависят от литологического и гранулометрического состава донных осадков (а, б – слои и прослойки газо-

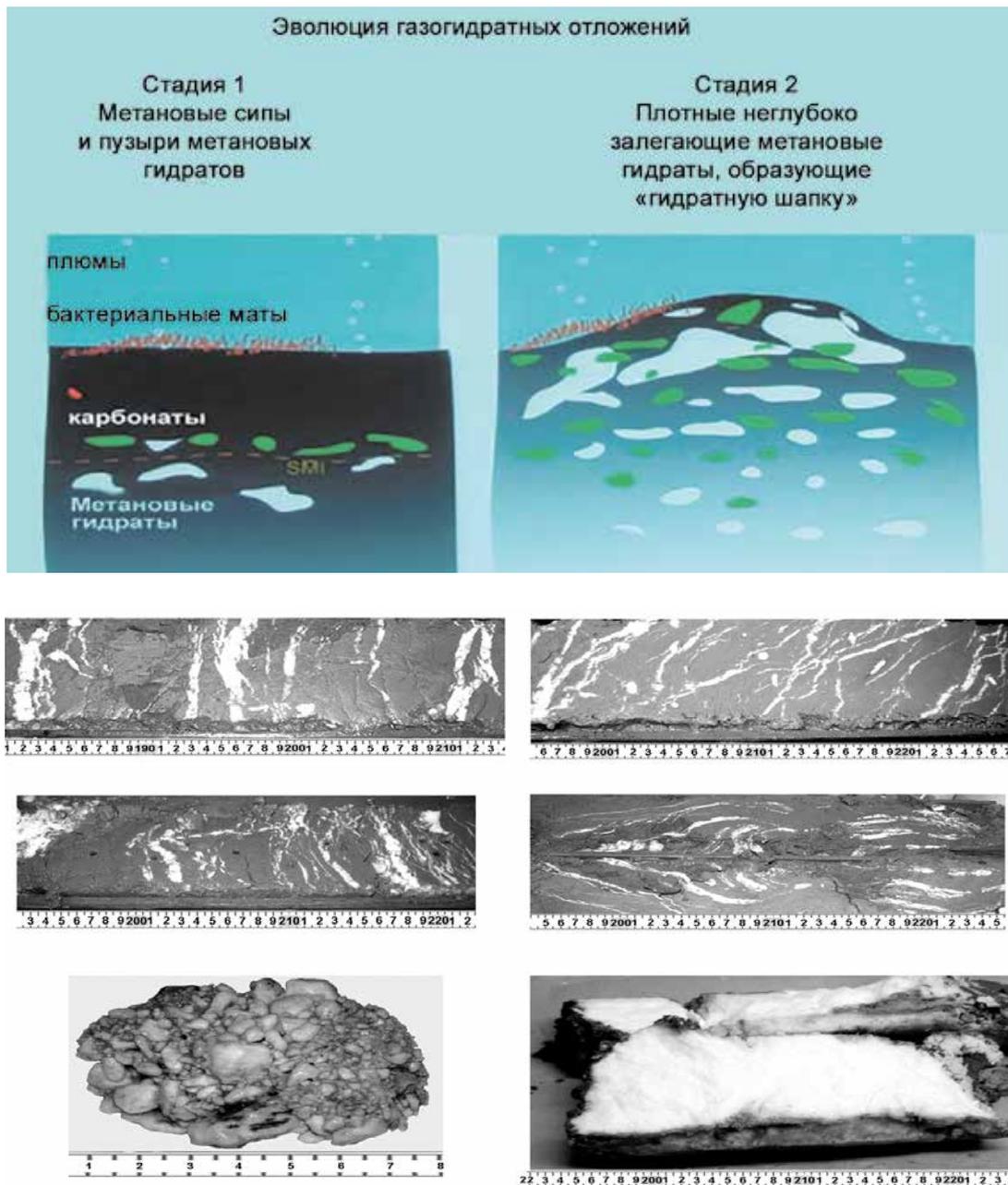


Рис. 4. А-схема образования газогидратов в донных осадках (слева стадия 1, справа стадия 2). На стадии 2 поверхность дна нарушается.

гидратов в алевритистых осадках, в – конгломерат из обломков газогидратов, г-слой чистого газогидрата толщиной 35 см (Охотское море).

В тяжелых глинах чем ниже влажность (<10 % об.), тем меньше вероятность газогидратообразования, поскольку связанная пленочная вода, а также капиллярная и осмотическая вода в этих процессах практически не участвуют. Но в тех же тяжелых глинах с высокой влажностью (>80 % об.) гидратообразование происходит и при более мягких термодинамических условиях в сравнении с равновесными [8]. Поля газогидратов установлены в областях развития осадков мощностью от 2 до 5–8 км. При этом глубина залежей газогидратов от поверхности дна не превышает 300–400 м, в основном колеблется в пределах 7–150 м, иногда выходя на поверхность [6].

Еще одним фактором, влияющим на газогидратообразование, является температура осадочных пород, которая в значительной степени зависит от теплового потока, проникающего в слои осадков из недр. Значение теплового потока определяет верхнюю границу (представляющую наибольший поисковый интерес) гидратообразования. Чем выше значения теплового потока, тем выше граница залегания газогидратов в слое осадка. Оптимальные значения 40–85 мВт/м<sup>2</sup>, возможно газогидратообразование до 200 мВт/м<sup>2</sup>, при более высоких значениях возможен распад газогидратов.

Огромные площади ложа глубоководной (>5 км) гипабиссальной платформы Мирового океана с мощностью осадков меньше 500 м из области зоны возможного газогидратообразования практически исключаются. Глубоководные илы и глины представлены в их донных осадках в основном мощностью от единиц–десятков сантиметров, реже немногими метрами, обеднены органическим веществом и практически не газоносны, т.е. в них нет в достаточном объеме главного составляющего газогидрата – метана.

Среднее содержание  $C_{орг}$  в глубинах Мирового океана (>3 км) составляет примерно 0,10%, в окраинных зонах – 0,41–0,50%, а на континентальных склонах и в зонах шельфа – 0,74%. Если принять во внимание, что с приближением к континентам нарастает мощность осадков, содержание  $C_{орг}$  в них и повышается температура, т.е. увеличивается общий объем органического вещества и ускоряется его деструкция и генерация  $CH_4$ , то очевидно, что в глубоководных частях Мирового океана сравнительно с континентальным шельфом не приходится рассчитывать на заметное образование и накопление газогидратов, хотя единичные находки газогидратов в Мировом океане есть и на больших глубинах [11].

Для определения вероятных мест залегания подводных газогидратов необходимо учитывать различные условия, при которых их образование и стабильное состояние возможны. К таким условиям относятся: тектонические, стратиграфические и литологические (возраст, состав, мощность осадочных пород, плотность), географические (районы, зоны), геоморфологические (рельеф дна), гидрографические (глубины), гидрологические (температура воды, соленость, плотность), геотермические (тепловой поток и геотермический градиент), вулканизм и сейсмоактивность.

Свойства донных осадков являются одним из основных факторов в процессе формирования и стабильности газогидратов. Такими свойствами являются: мощность осадочного чехла, его возраст, состав, гранулометрические характеристики, плотность, температура, проницаемость пластов. Как уже было отмечено ранее, наиболее благоприятные условия для образования и накопления газогидратов имеются в хорошо проницаемых чистых тонкозернистых песках.

В качестве гидрографических факторов, влияющих на процесс формирования подводных газогидратов, выступают глубина и давление. При этом давление в придонном слое осадков зависит от высоты столба воды (т.е. от глубины), а давление в осадочной толще начиная с первых сантиметров от ее поверхности увеличивается. При этом данная закономерность не является линейной. Помимо давления с увеличением глубины уменьшается количество кислорода в придонном слое воды и верхних слоях осадочного слоя, что является благоприятным фактором для газогидратообразования. Ввиду этого для определения акваторий с наиболее подходящими для газогидратообразования гидрографическими факторами рассматривается в основном глубина.

Гидрологические характеристики водных масс играют важную роль в процессе формирования и устойчивости газогидратов. Но влияние это не прямое, а косвенное. От этих характеристик зависят такие важные показатели осадочного чехла (прежде всего верхнего слоя), как температура и соленость, поэтому для данного исследования необходимо учитывать значения этих показателей только для придонного слоя водных масс. Как уже было сказано ранее, высокая минерализация пластовых вод не только затрудняет, но иногда и исключает возможность реализации процесса газогидратообразования.

В прогнозных газогидратных районах морей, исследованных различными методами, важным является способ наглядного изучения газогидратов в донных отложениях с использованием подводной робототехнической техники. Для использования

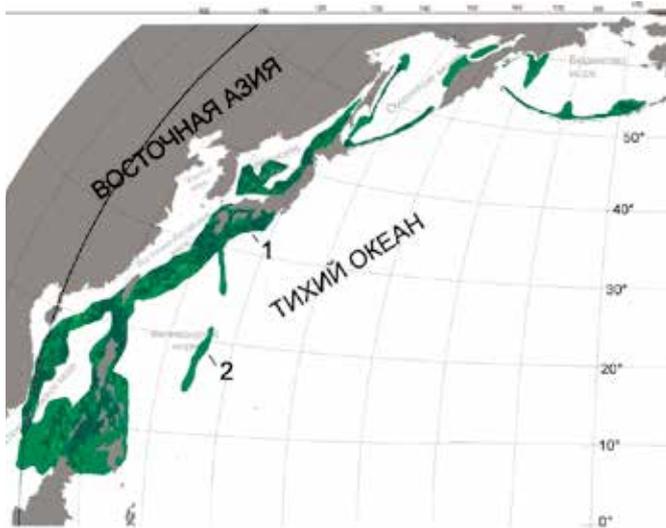


Рис. 5. Перспективные газогидратоносные акватории. 1 – перспективные газогидратоносные акватории 1-го порядка; 2 – перспективные газогидратоносные акватории 2-го порядка

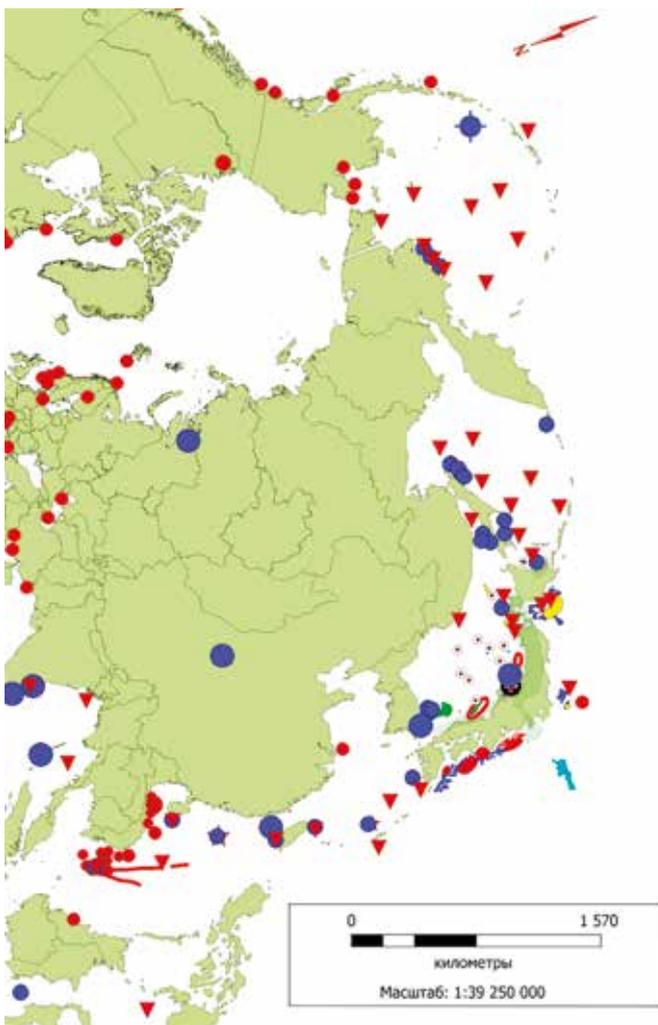


Рис. 6. Распространение скоплений подводных газогидратов и углеводородных проявлений в восточноазиатских морях [7, 9, 13] (круглые синие знаки – открытые газогидратные районы, красные треугольники – перспективные газогидратные районы)

газогидратов как альтернативного вида энергии необходимо подробное исследование поверхности дна при обустройстве добычи углеводородов из газогидратов с использованием постановки на морском дне коллектора [12], возможного бурения со дна для определения процентного количества газогидратов в газогидратной осадочной толще, установкой инженерных сооружений в районе наличия газогидратов, так как при изменении термодинамических параметров газогидраты могут разрушаться с выделением большого количества газа (метана) и с нарушением поверхности дна, образованием бугров, ям около 10–20 м глубины и возвышений.

Для сопоставления результатов подводных исследований и определения наиболее перспективных газогидратоносных территорий был применен картографический метод анализа комплекта материалов в геоинформационной системе, выявлены газогидрат-положительные факторы, способствующие образованию газогидратов. При наложении перспективных литологических, стратиграфических, батиметрических, сейсмо-тектонических, вулкано-магматических и геотермических карт выявлены и ранжированы наиболее перспективные акватории. Результатом работы стала карта (рис. 5, 6), на которой показаны наиболее перспективные газогидратоносные территории и территории, где газогидратообразование вероятно.

К таким районам можно отнести следующие территории:

- западную, центральную и южную (Алеутская гряда) части Берингова моря;
- акватории к западу от п-ова Камчатка и к востоку от о-ва Сахалин, Курильские острова;
- южная, центральная, восточная и северо-восточная части Японского моря;
- восточная окраина Восточно-Китайского моря; западная окраина и центральная менее глубоководная окраина Филиппинского моря;
- значительная часть Южно-Китайского моря (северо-восток).

Из всех морей, по которым проводилось исследование, в зону перспективного газогидратообразования не попало Желтое море. Во всех остальных морях есть перспективные участки большей или меньшей площади.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время опубликовано несколько карт прогнозного распределения газогидратов на основе термобарического моделирования. К сожалению, од-

ной информации по условиям температуры, давления и глубинам недостаточно для реалистичного представления о возможном фактическом распространении газогидратов. В то же время факты ежегодного обнаружения всех новых скоплений газогидратов в Мировом океане указывают, что это явление гораздо более распространено, нежели отражено на современных картах фактически найденных их скоплений [1–4]. Очевидно, что необходим системный анализ геологической и океанографической информации, чтобы выявить общие черты среди газогидратоносных кластеров и построить ряд наиболее реалистичных карт и схем, объясняющих их распределение как перспективных источников энергии будущего и аспектов инженерной и другой деятельности (например, оценка биоразнообразия) на морском дне.

Как пример закономерностей распределения подводных газогидратов в данной работе используются следующие: климатические зоны, в которых лежат исследуемые районы; особенности географического положения и общие морфометрические характеристики морей северо-западной части Тихого океана; природные незональные факторы, влияющие на процесс газогидратообразования. При этом сами по

себе географические особенности имеют не прямое, а опосредованное влияние на этот процесс. Практически каждый фактор, прямо или косвенно влияющий на процесс газогидратообразования, имеет широтную закономерность. К морфотектоническим условиям распределения подводных газогидратов относятся: приуроченность территории к зонам разломов, по которым из недр мигрирует газ, содержащий аномальное количество метана, типы коренных пород дна, их возраст, рельеф дна. Для разработки газогидратов как альтернативного источника энергии необходимо применение подводных робототехнических средств.

Исследования выполнены в рамках Гостем № FWM-2019-0006, регистрационный номер № АААА-А19-119122090009-2 и Газогеохимии, регистрационный номер: № АААА-А19-119122090009-4.

Фактический материал получен в международных проектах КОМЕХ (Россия–Германия, 1998–2004), СНАОС (Россия–Япония–Корея, 2003–2006), SSGH (Россия–Япония–Корея, 2007–2015). Исследование поддержано ФНИ РАН № 0271-2016-0008, грантами РФФИ: № 20-55-50005 ЯФ\_а, № 19-34-50075.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. Л.: ВНИИ «Океангеология», 1994. 86 с.
2. Глумов И.Ф., Глумов А.И., Казмин Ю.Б., Юбко В.М. Газовые гидраты мирового океана // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2005. № 2. С. 30–40.
3. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2. С. 5–21.
4. Обжиров А.И. История открытия газогидратов в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 2. С. 72–82.
5. Окулов А.К., Обжиров А.И., Щербаков В.А., Мишукова Г.И., Окулов Ал.К. Геологические условия газоносности прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого (Японское море) // Тихоок. геология. 2019. Т. 38, № 2. С. 56–62.
6. Обжиров А.И., Коровицкая Е.В., Пестрикова Н.Л., Телегин Ю.А. Нефтегазоносность и газогидраты в охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2012. № 2 (14). С. 55–62.
7. Обжиров А.И. О газогеохимических предвестниках сейсмических активизаций, землетрясений и вулканических проявлений на Камчатке и в Охотском море (с привлечением информации о Камчатских научных конференциях 2017 г.) // Геосистемы переходных зон. 2018. Т. 2, № 1. С. 57–68.
8. Пат. 2386015 РФ, МПК E21B 43/01. Технологический комплекс для разработки газогидратных залежей в открытом море / Обжиров А.И., Тагильцев А.А. – № 2008149316/03; заявл.: 15.12.2008, опубл.: 10.04.2010. Бюл. № 10.
9. Шакирова М.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. К дискуссии о закономерностях формирования скоплений газогидратов в морях Восточной Азии // Материалы региональной науч. конф. посвящ. столетию со дня рождения И.И. Берсенева. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. С. 84–88.
10. Якуцени В.П. Газогидраты – нетрадиционное газовое сырье, их образование, свойства, распространение и геологические ресурсы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8, № 4.
11. Kvenvolden K.A., Ann. N.Y. Methane and other hydrocarbon gases in marine sediments // *Fcfd. Sci.* 1994. Vol 715. P. 232–246.
12. Makogon Yu.F. Holditch S.A. Lab work clarifies gas hydrate // *Oil and Gas J.* 2001. Vol. 99, No. 6. P. 47–52.
13. Hachikubo A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Shoji H., Matveeva T., Jin Y.K., Obzhairov A.I. Isotopic composition and crystallographic properties of gas hydrate in the Sea of Okhotsk // *Journ. of Geography (Chigaku Zasshi)*. 2009. T. 118, No. 1. C. 207–221.
14. Obzhairov A., Shakirov R., Salyuk A., Salomatin A., Suess E., Biebow N. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea // *Geo-Marine Letters*. 2004. T. 24, № 3. C. 135–139.
15. Jin Y.K., Shoji H., Obzhairov A., Baranov B. Operation report of Sakhalin Slope gas hydrate project 2008 R/V Akademik M. A. Lavrentyev. Cruise 44. Songdo, 2008. 64 p.
16. Jin Y.K., Kim Y.G., Baranov B., Shoji H., Obzhairov A. Distribution and expression of gas seeps in a gas hydrate province of the Northeastern Sakhalin continental slope, Sea of Okhotsk // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. T. 28, No. 10. C. 1844–1855.
17. Yatsuk A., Shakirov R., Gresov A., Obzhairov A. Hydrocarbon gases in seafloor sediment of the Tatar strait, the Northern Sea of Japan // *Geo-Marine Letters*. 2019. P. 1–7.

## ОБ АВТОРАХ

**ШАКИРОВА Мария Витальевна** – младший научный сотрудник.

**Область научных интересов:** фундаментальные проблемы геоэкологии в геологии, газогидраты, рациональное природопользование

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,

**Адрес:** 690041, г. Владивосток, ул. Радио 7.

**Тел.:** +7 (423) 232-06-72.

**E-mail:** geogr@tigdvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-0862-2133

**ОБЖИРОВ Анатолий Иванович** – д.г.-м.н., профессор, главный научный сотрудник.

**Область научных интересов:** природные газы в геосферах Земли, геология нефти и газа, газогидраты.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

**Адрес:** 690041, г. Владивосток, ул. Радио 7.

**Тел.:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** obzhirov@poi.dvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-4031-6419

**ТЕЛЕГИН Юрий Александрович** – к.г.-м.н., научный сотрудник.

**Область научных интересов:** геохимия природных газов, геология нефти и газа, газогидраты.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

**Адрес:** 690041, г. Владивосток, ул. Радио 7.

**Тел.:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** telegin@poi.dvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0003-4513-7249

### Для цитирования:

Шакирова М.В., Обжиров А.И., Соколова Н.Л., Телегин Ю.А., Шакиров Р.Б. Особенности и методы исследований подводных газогидратов и их ресурсов в морях восточной Азии // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 63–71. DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.008.

**ШАКИРОВ Ренат Белалович** – д.г.-м.н., доцент, заместитель директора.

**Область научных интересов:** морская геология, литология и геохимия донных отложений, геология нефти и газа, геохимия углеводородов

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

690041, г. Владивосток, ул. Радио, д. 7.

**Тел.:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** ren@poi.dvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0003-1202-0351

**СОКОЛОВА Наталья Леонидовна** – к.г.-м.н., старший научный сотрудник.

**Область научных интересов:** распределение природных газов в воной толще, экология газогидратов, газовая хроматография.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

**Адрес:** 690041, г. Владивосток, ул. Радио 7.

**Тел.:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** natap81@mail.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-2248-6924

Статья поступила в редакцию: 28.06.2020

Опубликовано: 25.09.2020

# FEATURES AND METHODS OF INVESTIGATION OF UNDERWATER GASHYDRATES AND ITS RESOURCES IN THE SEAS OF EAST ASIA

**M.V. Shakirova, A.I. Obzhairov, N.L. Sokolova, Yu.A. Telegin, R.B. Shakirov**

The presented paper considers the distribution of the underwater gashydrates as a result of the interaction between different natural factors in the nearbottom sediment cover and water layers in the seas of East Asia. The article defines these factors, causeandeffect relationships between them, and presents the most valuable conditions causing underwater gashydrates formation. Based on the maps of natural factors distribution in the studied seas, the most promising and probable gashydrates aquatic areas were defined using geoinformation system modeling. Studying the gashydrates is crucial not only for its utilization as a hydrocarbons alternative but for engineering activity on the seafloor as well. In gashydrate areas, the seafloor surface suffers from disfigurements, as gashydrates are destroyed when the temperature rises and pressure falls. So, it is crucial to explore the capabilities of underwater robotic means for the investigation of gashydrates and the environment.

**Key words:** gashydrates, underwater gashydrates formation, natural factors, thermobaric conditions, thermobaric stability, occurrence regularities, seas of East Asia.

## Recommended citation:

Shakirova M.V., Obzhairov A.I., Sokolova N.L., Telegin Yu.A., Shakirov R.B. FEATURES AND METHODS OF INVESTIGATION OF UNDERWATER GAS-HYDRATES AND ITS RESOURCES IN THE SEAS OF EAST ASIA // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 63–71. DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.008.

## REFERENCES

- Ginsburg G.D., Solov'ev V.A. *Submarinnye gazovye gidraty*. L.: VNIIOkeangeologiya», 1994. 86 p.
- Glumov I.F., Glumov A.I., Kazmin Yu.B., Yubko V.M. *Gazovye gidraty mirovogo okeana* // Geology and Mineral Resources of World Ocean. 2005. No. 2. P. 30–40.
- Makogon Yu.F. *Gazogidraty. Istoriya izucheniya i perspektivy osvoeniya* // Geology and Mineral Resources of World Ocean. 2010. No. 2. P. 5–21.
- Obzhairov A.I. *Istoriya otkrytiya gazogidratov v Okhotskom more* // Underwater Investigations and Robotics. 2006. No. 2 (2). P. 72–82.
- Okulov A.K., Obzhairov A.I., Shcherbakov V.A., Mishukova G.I., Okulov A.I.K. Geological conditions of gas content in the coastal-shelf zone of the Great Peter Bay, Japan Sea // Russian Journal of Pacific Geology. 2019. Vol. 38, No. 2. P. 56–62.
- Obzhairov A.I., Korovitskaya E.V., Pestrikova N.L., Telegin Yu.A. Oil-gas deposit and gas hydrates in the Okhotsk Sea // Underwater Investigations and Robotics. 2012. No. 2 (14). P. 55–62.
- Obzhairov A.I. *O gazogeokhimicheskikh predvestnikakh seysmicheskikh aktivizatsiy, zemletryaseniy i vulkanicheskikh proyavleniy na Kamchatke i v Okhotskom more (s privlecheniem informatsii o Kamchatskikh nauchnykh konferentsiyakh 2017 g.)* // Geosystems of Transition Zones. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 57–68.
- Pat. 2386015 RF, MPK E21B 43/01. *Tekhnologicheskii kompleks dlya razrabotki gazogidratnykh zalezhey v otkrytom more* / Obzhairov A.I., Tagiltsev A.A. – No. 2008149316/03; *zayavl.*: 15.12.2008, *publ.*: 10.04.2010. *Byul.* No. 10.
- Shakirova M.V., Shakirov R.B., Obzhairov A.I. *K diskussii o zakonomernostyakh formirovaniya skopleniy gazogidratov v moryakh Vostochnoy Azii* // *Materialy regional'noy nauch. konf. posvyashch. stoletiyu so dnya rozhdeniya I.I. Berseneva*. Vladivostok: POI FEB RAS, 2016. P. 84–88.
- Yakutseni V.P. *Gazogidraty – netraditsionnoe gazovoe syr'e, ikh obrazovanie, svoystva, rasprostranenie i geologicheskie resursy* // Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies. 2013. Vol. 8, No. 4.
- Kvenvolden K.A., Ann. N.Y. Methane and other hydrocarbon gases in marine sediments // *Fcfd. Sci.* 1994. Vol 715. P. 232–246.
- Makogon Yu.F. Holditch S.A. Lab work clarifies gas hydrate // *Oil and Gas J.* 2001. Vol. 99, No. 6. P. 47–52.
- Hachikubo A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Shoji H., Matveeva T., Jin Y.K., Obzhairov A.I. Isotopic composition and crystallographic properties of gas hydrate in the Sea of Okhotsk // *Journ. of Geography (Chigaku Zasshi)*. 2009. Vol. 118, No. 1. P. 207–221.
- Obzhairov A., Shakirov R., Salyuk A., Salomatin A., Suess E., Biebow N. Relations between methane venting, geological structure and seismotectonics in the Okhotsk Sea // *Geo-Marine Letters*. 2004. Vol. 24. No. 3. P. 135–139.
- Jin Y.K., Shoji H., Obzhairov A., Baranov B. Operation report of Sakhalin Slope gas hydrate project 2008 R/V Akademik M. A. Lavrentyev. Cruise 44. Songdo, 2008. 64 p.
- Jin Y.K., Kim Y.G., Baranov B., Shoji H., Obzhairov A. Distribution

and expression of gas seeps in a gas hydrate province of the Northeastern Sakhalin continental slope, Sea of Okhotsk // Marine and Petroleum Geology. 2011. Vol. 28, No. 10. P. 1844–1855.

17. Yatsuk A., Shakirov R., Gresov A., Obzhairov A. Hydrocarbon gases in seafloor sediment of the Tatar strait, the Northern Sea of Japan // Geo-Marine Letters. 2019. P. 1–7.

## ABOUT THE AUTHORS

**SHAKIROVA M.V.** – junior scientific researcher.

**Research interests:** fundamental problems of geology in geology, gas hydrates, rational use of natural resources.

Pacific Geographical Institute FEB RAS

**Address:** 7, Radio str., Vladivostok, 690041.

**Phone:** +7 (423) 232-06-72.

**E-mail:** geogr@tigdvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-0862-2133

**OBZHIROV A.I.** – Doctor of geological and mineralogical, professor, chief researcher scientist.

**Research interests:** natural gases, oil and gas geology, gas hydrates.

Il'ichev's Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 7, Radio str., Vladivostok, 690041.

**Phone:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** obzhairov@poi.dvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-4031-6419

**SOKOLOVA N.L.** – Ph.D. of geology and mineralogy, senior research scientist.

**Research interests:** distribution of natural gases in water column, ecology of gas hydrates, gas chromatography.

Il'ichev's Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 7, Radio str., Vladivostok, 690041.

**Phone:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** natap81@mail.ru

**Orcid ID:** 0000-0002-2248-6924

**Yu.A. Telegin** – Ph.D. of geology and mineralogy, research scientist.

**Research interests:** geology of gas-hydrate deposits, geochemistry of natural gases.

Il'ichev's Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 7, Radio str., Vladivostok, 690041.

**Phone:** +7 (423) 231-14-00.

**E-mail:** telegin@poi.dvo.ru

**Orcid ID:** 0000-0003-4513-7249

**SHAKIROV R.B.** – Ph.D. of geology and mineralogy, deputy director.

**Research interests:** marine geology, lithology and geochemistry marine sediments; oil and gas geology; hydrocarbon geochemistry.

Il'ichev's Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 7, Radio str., Vladivostok, 690041.

**Phone:** +7 (423) 2311400.

**E-mail:** ren@poi.dvo.ru.

**Orcid ID:** 0000-0003-1202-0351

Manuscript received: 28.06.2020

Published: 25.09.2020