

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО СУББАСЕЙНА ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

Ле Дык Лонг<sup>1,3</sup>, А.И. Обжиров<sup>4</sup>, Нгуен Хоанг<sup>1,3</sup>, Р.Б. Шакиров<sup>4</sup>, Ле Дык Ань<sup>2,3</sup>, Н.С. Сырбу<sup>4</sup>,  
Данг Мин Туан<sup>1,3</sup>, Нгуен Ван Тао<sup>1</sup>, Тран Тхи Хуонг<sup>1</sup>, До Хуи Куонг<sup>2</sup>, А.О. Холмогоров<sup>4</sup>,  
Пхан Ван Бинх<sup>5</sup>, О.В. Мишукова<sup>4</sup>, А.И. Еськова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт геологических наук, Вьетнамская Академия наук и технологий, 84 Чуа Ланг, Ханой, Вьетнам;

e-mail: [leducluong@igs.vn.vast.vn](mailto:leducluong@igs.vn.vast.vn)

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики, Вьетнамская Академия наук и технологий, 18, Хоанг Куок Вьет, Ханой, Вьетнам

<sup>3</sup>Институт наук и технологий, Вьетнамская Академия наук и технологий, 18 Хоанг Куок Вьет, Ханой, Вьетнам

<sup>4</sup>ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041; e-mail: [syrbu@poi.dvo.ru](mailto:syrbu@poi.dvo.ru)

<sup>5</sup>Ханойский горно-геологический университет, 18 Фо Вьен, Дук Транг, северный Ту Лиен, Ханой, Вьетнам

Поступила в редакцию 25 марта 2020 г.

В статье впервые представлено распределение газов (CO<sub>2</sub>, углеводороды C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, He) в 39 пробах газа в донных отложениях из 19 осадочных кернов юго-западного суббасейна Южно-Китайского моря. Поверхностные отложения в исследуемом районе в основном представлены глинами и илистыми глинами. Концентрация метана колеблется в широком диапазоне от 0.5 до 440 ppm. Аномальные значения метана были обнаружены во многих местах вдоль склона юго-западного суббасейна Южно-Китайского моря. Значение 40 ppm можно рассматривать как фоновую концентрацию метана в исследуемом регионе. Предполагается наличие крупномасштабной зоны дегазации метана в исследуемом районе. Тяжелые углеводородные газы (этилен, этан, пропан и бутан) также были зафиксированы с максимальными концентрациями до 70 ppm, 124 ppm и 50 ppm для этилена, этана и пропана, соответственно. Данные о двуокиси углерода, водороде и гелии указывают на аномальные содержания H<sub>2</sub> до 56.7 ppm.

**Ключевые слова:** углеводороды, метан, осадок, концентрация, Южно-Китайское море.

### ВВЕДЕНИЕ

Южно-Китайское море (ЮКМ) является крупнейшим окраинным морем в западной части Тихого океана и в настоящее время привлекает внимание многих ученых во всем мире из-за своего геополитического расположения и нефтегазового потенциала. В работе [12] указано, что ЮКМ относится к Восточноазиатскому газогидратному поясу, включающему, в том числе, Берингово море, Охотское море, Японское море, Восточно-Китайское море, Южно-Китайское море и южную часть Новой Зеландии. Данные о распределении метана в ЮКМ представлены в более ранних исследованиях [8, 13, 14, 17, 18]. Однако эти исследования были сосредоточены только на распределении метана в морской воде [8, 17], потоке метана на границе вода-атмосфера [12, 13] и распределении метана в донных отложениях в северной части ЮКМ

[18]. Кроме того, отсутствуют опубликованные данные о распределении метана в отложениях в локальном масштабе в южной части ЮКМ, например, юго-западном суббасейне ЮКМ.

В экспедиции исследовательского судна «Академик Борис Петров» в 2017 г. на основе результатов анализа потока метана в атмосферу в ЮКМ были выделены пять отдельных зон эмиссии метана вдоль маршрута от Тайваньского пролива до шельфа Малаккского полуострова [13, 14]. Среди этих зон четвертая зона, расположенная на востоке нефтегазового бассейна Нам Кон Сон (южная часть шельфа Вьетнама), имеет наиболее интенсивные значения потока метана, что указывает на высокие нефтегазовые перспективы региона. Кроме того, в работе [8] показано, что аномальные концентрации метана в придонных водах были обнаружены в южных

частях шельфа Вьетнама на глубинах 110–280 м, с максимальными значениями около 1540 нл/л. Это аномальное метановое поле, расположенное в нефтегазовом бассейне Нам Кон Сон, находится недалеко к востоку от изучаемых районов. Поэтому цель данного исследования состоит в том, чтобы впервые представить распределение газов в отложениях юго-западного суббассейна ЮКМ для обоснования крупномасштабной зоны эмиссии газов, главным образом углеводородов.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ЮКМ, расположенное на стыке Евразийской, Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит, является крупнейшим окраинным морем в западной части Тихого океана. Согласно [7], раскрытие ЮКМ выявляет сложные закономерности субдукции и спрединга морского дна. Тэйлор и Хэйс [15, 16], Бриас и др. [1], Ли и др. [7] предполагают, что процесс раскрытия ЮКМ происходил в кайнозое, расширение океанического дна началось около 32 млн лет назад и закончилось около 15.5 или 16 млн лет назад (олигоцен-миоцен). Базальтовый вулканизм был проявлен с перерывами в течение океанического спрединга и в дальнейшем после раскрытия моря вплоть до настоящего времени. Большинство извержений зафиксировано на полигоне U1433 (экспедиция 349 IODP), расположенном в юго-западном бассейне ЮКМ [6, 7].

В течение нескольких десятилетий в юго-западной части востока Южно-Китайского моря интенсивно проводились геологические и геофизические исследования для разведки нефти и газа [4]. Кроме того, многие исследования [2, 6, 11] были посвящены осадочным, тектоническим, магматическим, эволюционным процессам юго-западного бассейна ЮКМ. Изучаемая область (рис. 1) включает в себя юго-западный суббассейн Южно-Китайского моря и восточную часть бассейна Нам Кон Сон.

Юго-западный суббассейн имеет раскидистый хребет, распространившийся на 400 км к юго-западу между 23.6 млн лет и 16 млн лет назад [2, 6, 7]. Авторы работы [11] показали, что эта область развивалась с северо-запада на юго-восток, создав несколько независимых секторов океанической коры, разделенных тектоническими разломами. Кроме того, согласно [4], в бассейне Нам Кон Сон четко видны две системы разломов, а именно: система разломов север–юг в западной части бассейна и система разломов северо-восток–юго-запад в восточной части бассейна. Эти разломы контролируют уклон континентального склона в районе реликтового спредингового центра в южном конце проградационного клина океанической коры (рис. 2). Системы разломов являются важными

условиями для формирования и миграции газов в осадочных породах, образуют зоны дегазации различного масштаба.

#### МЕТОДОЛОГИЯ

Образцы газа, представленные в данном исследовании, отобраны из 19 осадочных кернов во время экспедиций ДК 105 в ЮКМ в августе–сентябре 2019 года и НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в ноябре 2019. Эти рейсы выполнены в рамках вьетнамского национального проекта КС09/16-20 и совместного проекта «Первая совместная геофизическая, геологическая и океанографическая экспедиция ВАНТ и ДВО РАН на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в Южно-Китайское море» QTRU.02.05/19-20, соответственно. Места взятия кернов показаны на рис. 1 и в таблице.

22 пробы газа из 11 кернов 88-го рейса исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев» были проанализированы в лаборатории на борту методом вакуумной дегазации. Образцы осадка были взяты с помощью пластиковых шприцев объемом 60 мл сразу после поднятия осадочного керна. После этого осадок был введен в систему вакуумной дегазации для получения газов в насыщенном солевом растворе. Точность анализа и представительность полученных результатов во многом определяется полнотой выделения из пробы содержащихся в ней углеводородных газов. Затем образцы газа были переданы в лабораторию для определения концентрации.

Также 17 проб газа из 8 кернов рейса ДК-105 были получены с помощью метода равновесных концентраций в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН. Образец осадочных пород был взят с помощью пластиковых шприцев объемом 20 мл сразу после поднятия керна. Образцы содержались в стеклянных флаконах 20 мл, которые заполнялись насыщенным соевым раствором и хранились в холодильнике до определения концентрации в лаборатории на суше. Метан и углеводородные газы определялись при помощи газового хроматографа Кристалл Люкс-4000М. Для анализа гелия и водорода был использован портативный газовый хроматограф Газохром-2000 с детектором высокой чувствительности по теплопроводности ( $2 \times 10^{-4}$  %). Лаборатория газогеохимии Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН имеет Свидетельство Росстандарта № 41 к паспорту лаборатории ПС 1.047–18.

Гранулометрический анализ в 38 образцах донных отложений был проведен в Институте геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий с использованием лазерного анализатора размера частиц Horiba, который анализирует гранулы от 0.01 до 5000 мкм.

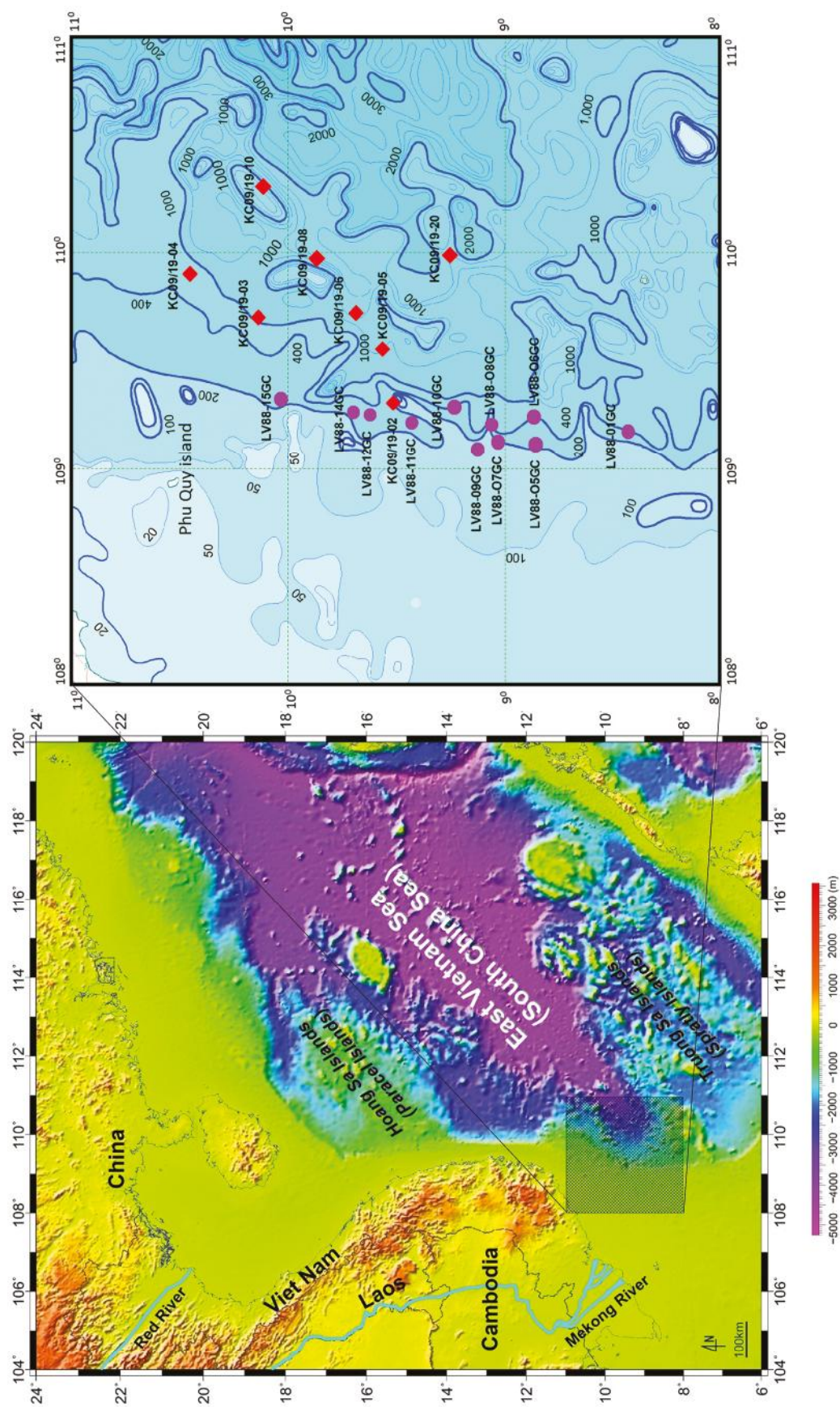


Рис. 1. Изучаемый район Южно-Китайского моря и места отбора проб: круги – рейс «Академик М.А. Лаврентьев» 88, ромбы – рейс DK 105.

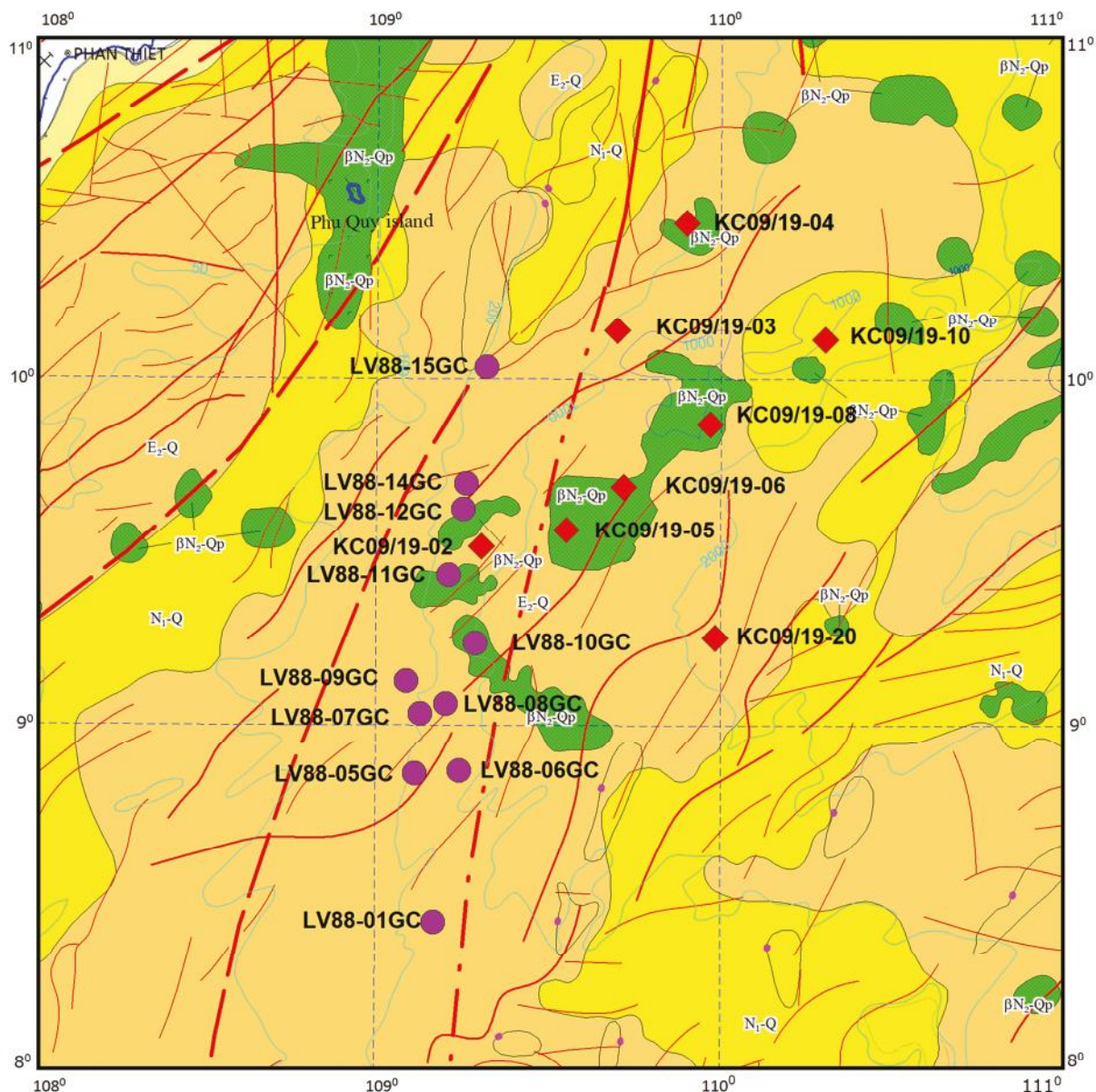


Рис. 2. Упрощенная геологическая карта из Геологической и георесурсной карты Вьетнама и прилегающих морей, места отбора проб [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

### Гранулометрический состав

На рисунке 3 показано изменение объемной доли литотипа осадков в зависимости от размера гранул в 38 образцах донных отложений в исследуемом районе. Образцы были взяты в двух местах в каждом керне. Наиболее поразительной особенностью является доминирование глины и ила над песком в этих образцах, поэтому основным типом поверхностных отложений в исследуемой области являются в основном глины и илистые глины.

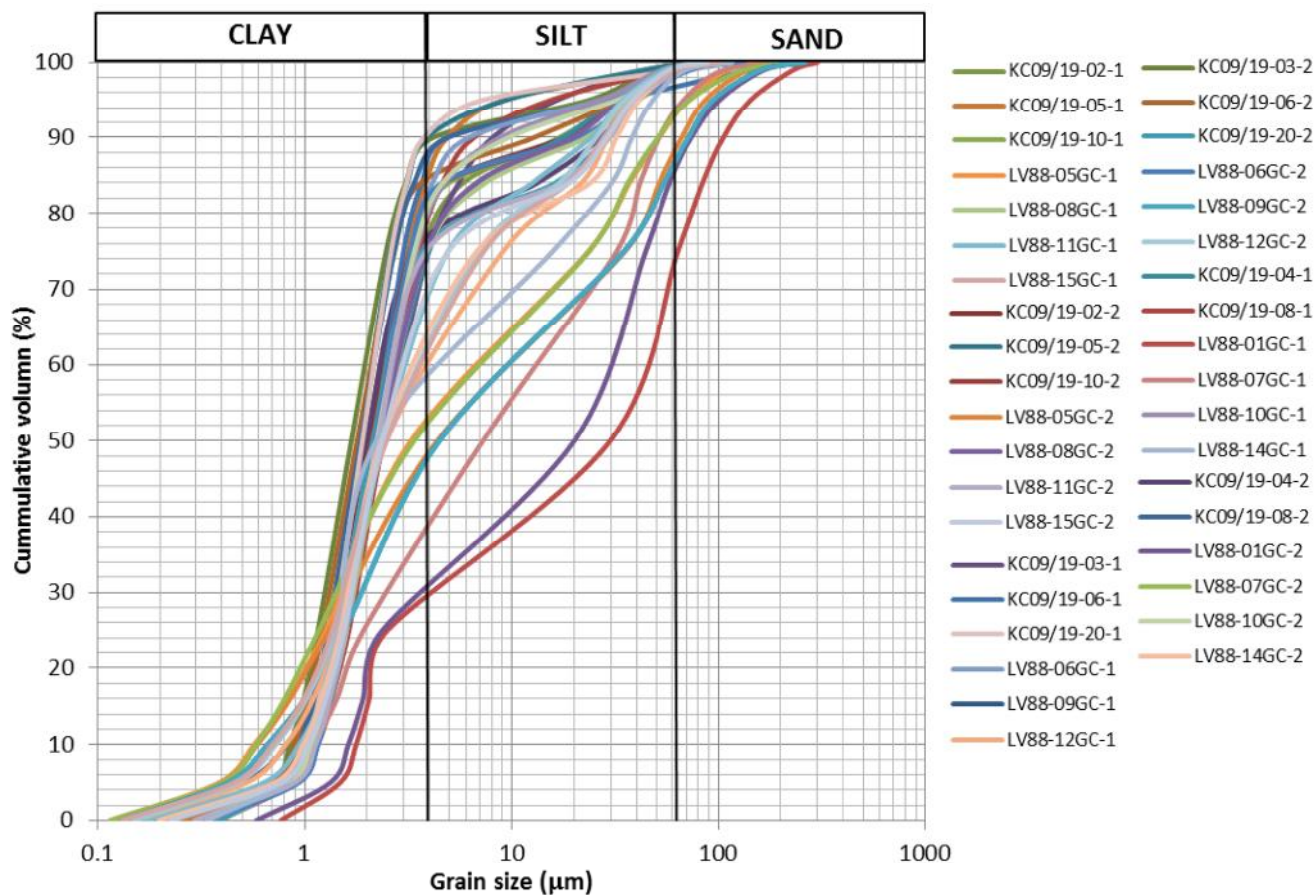
### Распределение углеводородных газов и нефтегазовый потенциал

Концентрации углеводородных газов в отложениях из 19 гравитационных кернов показаны в таблице. Похоже, что наиболее поразительной особенностью является доминирование компонентов метана над этаном, этиленом, пропаном и бутаном. Концентрации метана изменяются в широком диапазоне – от 0.5 ppm до 440 ppm (табл., рис. 4). Значение 40 ppm можно рассматривать как фоновую концентрацию метана в исследуемом регионе. Среди них аномально высокие значения были обнаружены в нескольких

Таблица. Содержание газов в осадках морского дна Юго-Западного суббассейна Южно-Китайского моря.

No	Станция	Глубина (m)	Интервал (cm)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (ppm)	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (ppm)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (ppm)	He (ppm)	H <sub>2</sub> (ppm)
1			20	0.11	1.4	0.08	0	0	0.04	0	0	1.8	1.3
2	КС09/19-02	754	100	0.10	4.2	0.17	0.09	0	0.09	0	0	2.9	11.8
3			200	0.13	3.2	0.13	0.02	0	0.04	0	0	2.1	4.6
4	КС09/19-03	1113	20	0.10	3.7	0.20	0.02	0	0.03	0	0.01	1.5	7.4
5			100	0.13	3.8	0.14	0.01	0	0.03	0	0	0.8	7.3
6	КС09/19-04	640	20	0.12	2.3	0.11	0	0	0.03	0	0	2.1	10.6
7			100	0.12	3.5	0.08	0	0	0.03	0.02	0	0.8	8.7
8	КС09/19-05	754	20	0.09	2.9	0.13	0	0	0.04	0	0	1.6	37
9			100	0.07	5.7	0.11	0	0	0.05	0	0	1.4	7.6
10	КС09/19-06	1677	50	0.10	1.1	0.09	0	0	0.05	0	0	1.4	11.8
11			100	0.14	1.1	0.09	0	0	0.03	0	0	1.2	20.5
12	КС09/19-08	1985	20	0.08	0.7	0.06	0	0	0	0	0	0	0.2
13			100	0.07	0.9	0.10	0	0	0	0	0	0.4	56.7
14	КС09/19-10	1373	20	0.08	0.7	0.16	0.02	0	0.04	0	0	1.1	26
15			100	0.14	1.3	0.13	0.01	0	0.03	0	0	0.9	7.4
16	КС09/19-20	2123	20	0.13	0.5	0.13	0.01	0	0.03	0	0	0.5	9.1
17			100	0.14	0.8	0.08	0	0	0	0	0	0.3	6.3
18	LV88-01GC	400.0	20	1.59	98.3	11.07	34.87	0	10.55	0	1.67	-	-
19			160	0.63	34.7	4.43	10.41	0	2.45	0	0.44	-	-
20	LV88-05GC	243	20	1.12	146.1	7.87	59.28	0	19.38	0.35	3.77	-	-
21			130	0.93	74.3	6.78	25.66	0	9.58	0.27	3.78	-	-
22	LV88-06GC	852.0	330	0.56	60	10	20	0	0	0	0	-	-
23	LV88-07GC	196.0	40	0.77	154	20	45	0	10	0	6	-	-
24			100	2.40	400	64	124	0	24	0	8	-	-
25	LV88-08GC	682.0	70	0.60	68	12	18	0	7	0	1	-	-
26			260	1.67	256	56	56	0	14	0	0	-	-
27	LV88-09GC	159.0	30	0.91	300	0	10	0	0	0	0	-	-
28			70	0.70	57	6	20	0	50	0	1	-	-
29	LV88-10GC	1011.0	40	1.95	79	11	18	0	4	0	1	-	-
30			180	0.61	220	30	25	0	5	0	0	-	-
31	LV88-11GC	267	310	1.57	440	70	65	0	24	0	0	-	-
32			60	2.54	75.9	6.23	30.38	0	9.35	0	1.48	-	-
33	LV88-12GC	263.0	260	2.24	66.4	4.67	17.38	0	5.43	0	0.94	-	-
34			20	0.56	175.4	4.30	12.65	0	1.99	0	0	-	-
35	LV88-14GC	256.0	70	0.27	27.3	2.50	3.58	0	1.06	0	0	-	-
36			60	3.13	35.9	7.01	8.16	0	3.39	5.27	1.28	-	-
37	LV88-15GC	236.0	210	1.54	42.5	9.32	8.83	0	2.94	4.96	0.84	-	-
38			60	1.22	42.9	5.62	13.29	0	4.37	4.48	1.11	-	-
39			210	1.86	47.1	6.30	7.20	0	2.08	3.45	0.49	-	-

Примечание. Прочерк – не определялось.



**Рис. 3.** Изменение объемной доли литотипа осадков в зависимости от размера зерен в исследуемом районе, измеренное по обратному рассеиванию лазерного излучения на анализаторе частиц Horiba LA-960.

местах, например, на станциях LV88-10GC (440 ppm), LV88-07GC (400 ppm), LV88-09GC (300 ppm) и LV88-12GC (175 ppm).

Следует отметить, что аномальные концентрации метана простираются на большой территории, примерно с  $8^{\circ}25'$  с.ш. почти до  $9^{\circ}40'$  с.ш., вдоль склона юго-западного суббассейна ЮКМ (рис. 2). Этот район (а также система разломов северо-восток–юго-запад) расположен на востоке бассейна Нам Кон Сон и может рассматриваться как крупномасштабная зона дегазации метана. Согласно [5], системы разломов являются основными путями выхода газов, например, гелия, водорода и метана, из глубинных структур на морское дно. А.И. Обжиров и др. [10] предполагают, что основными путями эмиссии метана являются разломы в районе Охотского моря. Поэтому в этом исследовании мы предполагаем, что системы разломов играют важную роль в формировании и распределении метана в исследуемом регионе.

Предыдущие исследования авторского коллектива показали аналогичные наблюдения. В работах [13,

14] Р.Б. Шакиров и др. выделили четвертую зону, расположенную на восточной стороне нефтегазового бассейна Нам Кон Сон (южная часть шельфа Вьетнама), имеющую наиболее высокие значения потока метана, и отметили высокие нефтегазовые перспективы региона. В близлежащем районе бассейна Нам Кон Сон, авторы [8] сообщили об аномальных концентрациях метана около дна шельфа Вьетнама на глубинах 110–280 м, а наивысшее значение составило 1540 нл/л.

Нами представлено распределение аномалий метана в отложениях морского дна юго-западной части Южно-Китайского моря; однако необходимы дополнительные данные о метане в атмосфере и морской воде, сейсмические профили, акустические изображения для лучшей и более полной оценки потенциала метана и воздействия систем разломов в исследуемом районе.

Также были измерены содержания тяжелых углеводородных газов (этилен, этан, пропан и бутан) (табл.). Концентрации этилена были обнаружены в 97.4 % выборки в диапазоне 0.06–70 ppm. Концентрации этана были также определены в 74.4 % вы-

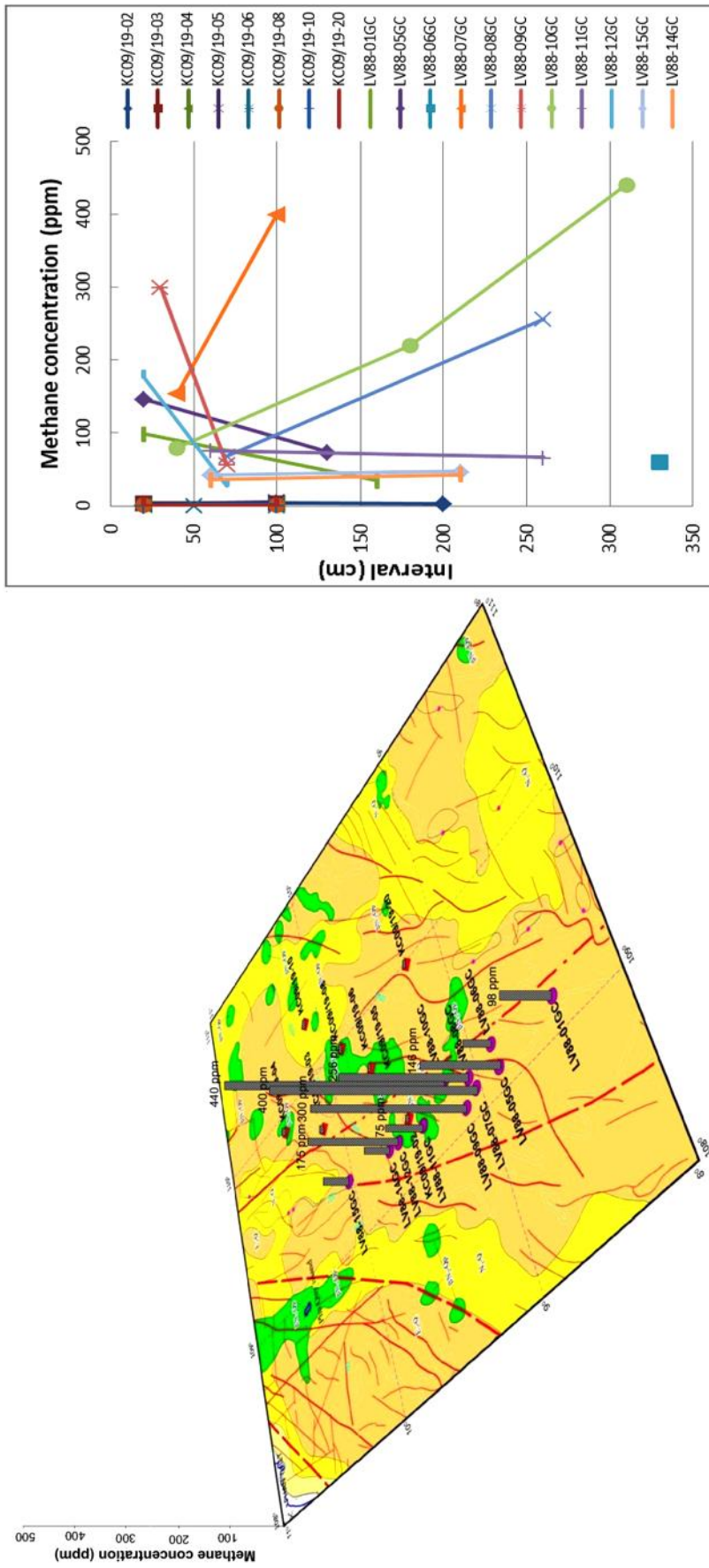


Рис. 4. Распределение высоких концентраций метана в осадочных кернах в исследуемом районе (слева) и вертикальные профили концентрации метана (справа).

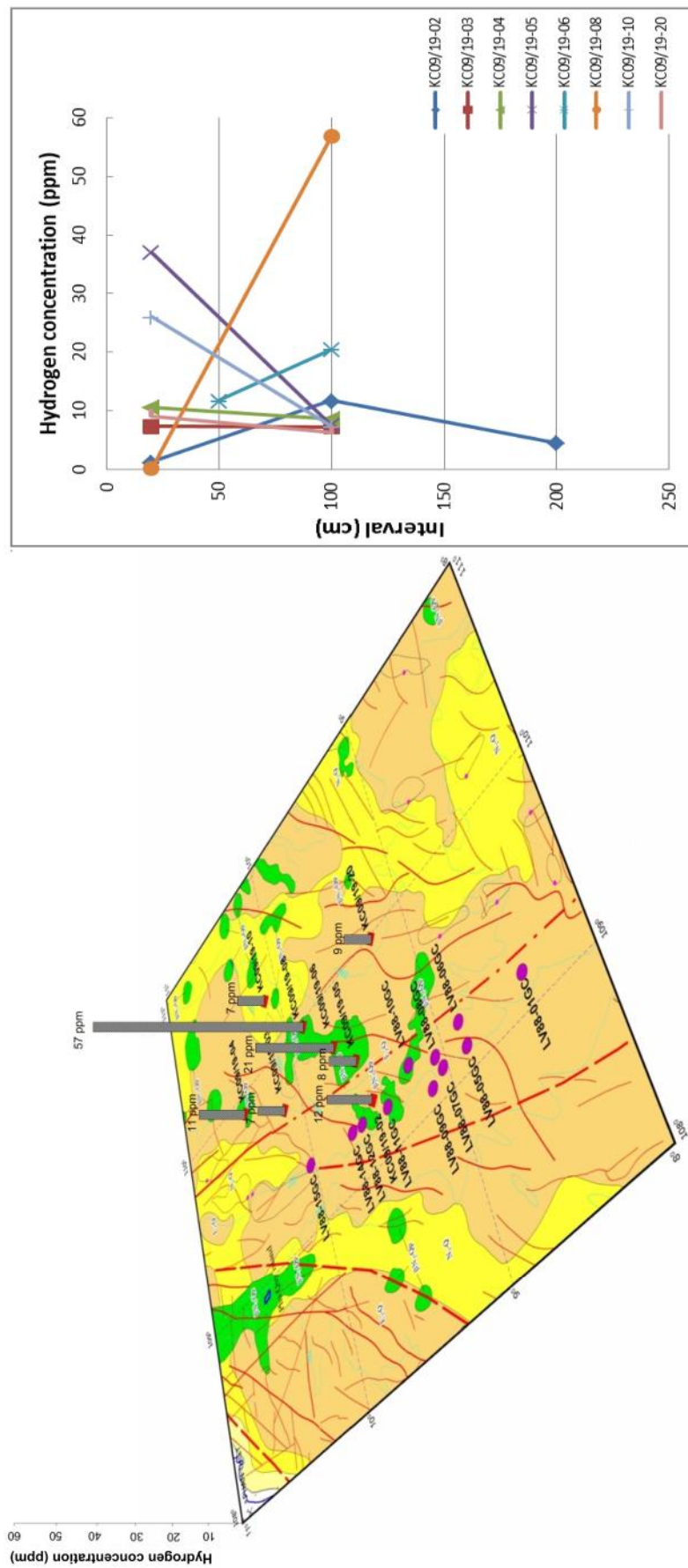


Рис. 5. Распределение высоких концентраций водорода в осадочных ядрах в исследуемой области (слева) и вертикальные профили концентрации водорода (справа).



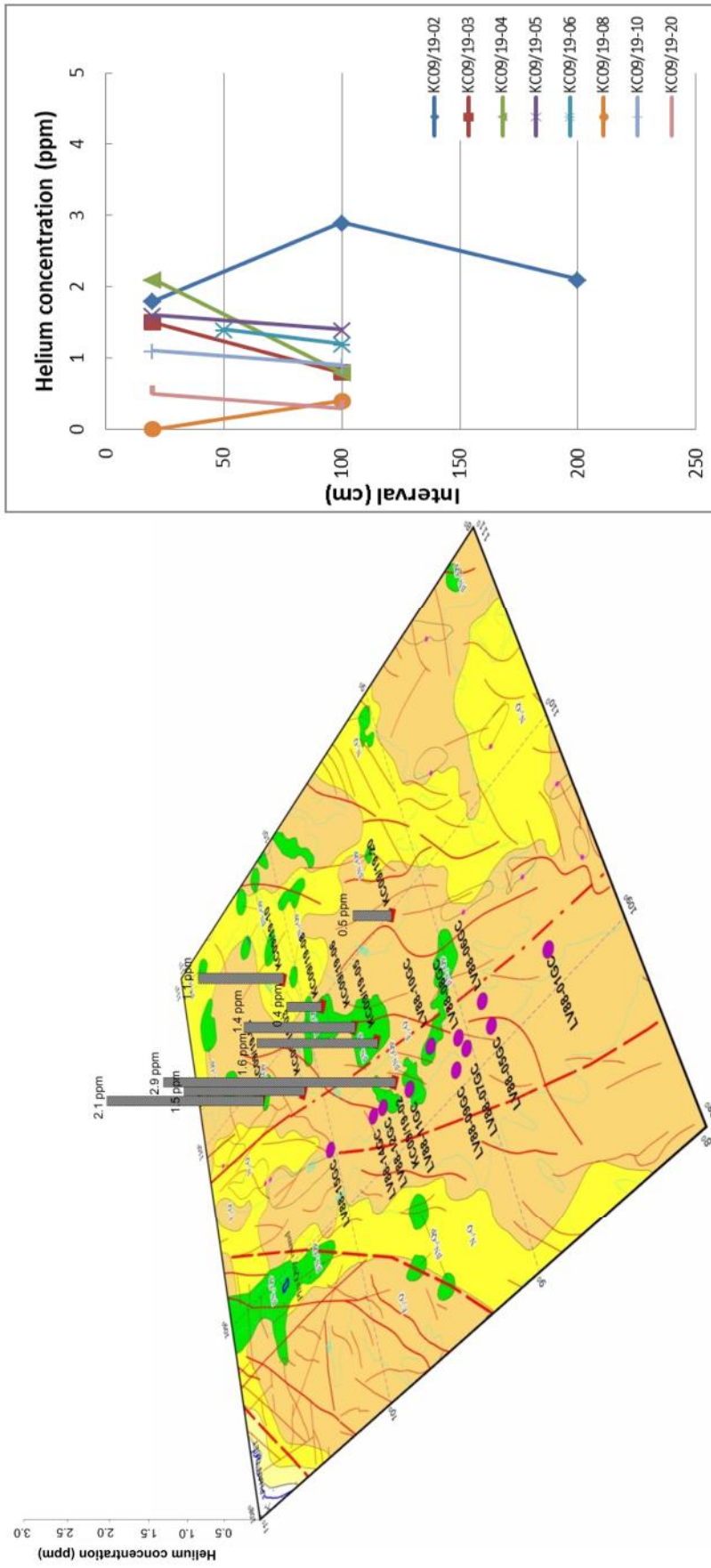


Рис. 6. Распределение высоких концентраций гелия в кернах в исследуемом районе (слева) и вертикальные профили концентрации гелия (справа).

борки и колебались в пределах 0.01–124 ppm. Аномальные концентрации этилена и этана наблюдались на станциях с аномальными содержаниями метана. Г.И. Мишукова и Р.Б. Шакиров [9] сообщили о таком же наличии этилена в поверхностных образцах осадочных пород в Охотском море, что свидетельствует о возможной интенсивной бактериальной активности в поверхностных донных отложениях исследуемого района.

87.2 % анализируемых образцов содержали пропановые газы, при этом концентрация колебалась от 0.03 ppm до 50 ppm. Концентрации бутана наблюдались в двух изоформах, изобутан и бутан, 17.9 % и 38.5 % от выборки, с диапазоном 0.02–5.27 ppm и 0.01–8.0 ppm, соответственно. В целом, за исключением группы бутана, в исследуемом районе были обнаружены относительно высокие концентрации тяжелых углеводородных газов.

#### Содержание двуокиси углерода, водорода и гелия

Концентрации двуокиси углерода, водорода и гелия представлены в таблице. Однако, хотя наличие углекислого газа было зафиксировано для обоих рейсов («Академик М.А. Лаврентьев» и ДК 105), концентрации водорода и гелия были определены только в рейсе ДК 105 (рис. 5, 6). Содержания углекислого газа и гелия имеют относительно узкие диапазоны от 0.09 до 3.13 % и от 0.3 до 2.9 ppm, соответственно. В отличие от этого, концентрация водорода изменяется в широком диапазоне от 0.2 до 56.7 ppm. Значения 1.1 ppm и 7.2 ppm можно рассматривать как фоновые концентрации гелия и водорода в регионе.

На некоторых станциях были обнаружены аномальные содержания водорода (рис. 6), например, КС09/19-08 (56.7 ppm), КС09/19-10 (26 ppm), КС09/19-06 (20.5 ppm). Однако аномальные концентрации водорода не могут указывать на наличие тектонического разлома в изучаемом районе без рассмотрения аномалий гелия и метана.

#### ВЫВОДЫ

Основываясь на распределении газов ( $\text{CO}_2$ , углеводородная группа, He,  $\text{H}_2$ ) в осадочных ядрах, о которых сообщается в данном исследовании, мы предполагаем наличие крупномасштабной зоны дегазации углеводородов, главным образом метана, вдоль склона юго-западного суббассейна ЮКМ. Зафиксировано самое высокое аномальное значение метана до 440 ppm, рассчитана фоновая концентрация метана 40 ppm.

Хотя метан является доминирующим среди углеводородных газов, было обнаружено также аномальное количество этилена, этана и пропана. Кроме того,

были зафиксированы аномальные содержания  $\text{H}_2$  до 56.7 ppm. Однако для более полной оценки потенциала метана и влияния систем разломов в исследуемом районе необходимы дополнительные данные о содержании метана в морской воде и атмосфере, сейсмические профили, акустические изображения.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке проекта Вьетнамской Академии наук и технологий VAST05.03/20-21, Вьетнамского Национального проекта КС09.31/16-20 и грантов ДВО РАН 21-VAST-014 (QTRU02.01/21-22) и 21-VAST-017. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-35-70014, проект «Исследование взаимосвязи геохимических полей, тектоники, геодинамической обстановки и нефтегазоносности, определяющих характер геологического развития и углеводородного потенциала региона Северного Вьетнама» и совместного проекта «Первая совместная геофизическая, геологическая и океанографическая экспедиция VAST и ДВО РАН на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в Южно-Китайское море» QTRU.02.05/19-20.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Briais A., Patriat P., Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia // *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 1993. V. 98, N B4. P. 6299–6328.
2. Ding W., Li J., Clift P.D. IODP Expedition 349 Scientists. Spreading dynamics and sedimentary process of the Southwest Subbasin, South China Sea: Constraints from multi-channel seismic data and IODP Expedition 349 // *J. Asian Earth Sci*. 2016. V. 115. P. 97–113.
3. Geological and georesource map of Vietnam and adjacent sea areas, scale 1:1.000.000 // Centre for information and archives of geology, General Department of geology and minerals of Vietnam, Ministry of natural resources and environment, 2010.
4. Geology and oil and gas resources of Vietnam. PetroVietnam, 2005. 526 p.
5. Le D.A., Trung N.N., Phach P.V., Hung D.Q., Diep N.V., Nam B.V., Shakirov R.B., Obzhairov A.I., Ugai I.G., Mal'tseva E.V., Telegin Yu.A., Syrбу N.S. Characteristics of helium, methane and hydrogen distribution and their relationship with fault systems in the North of the Gulf of Tonkin // *J. Marine Sci. Technol*. 2014. V. 14, N 4a. P. 78–89.
6. Li L., Clift P.D., Nguyen H.T. The sedimentary, magmatic and tectonic evolution of the southwestern South China Sea revealed by seismic stratigraphic analysis // *Marine Geophys. Res*. 2013. V. 34. P. 341–365.
7. Li C.-F., Lin J., Kulhanek D.K. The Expedition 349 Scientists // *Proc. International Ocean Discovery Program*. 2015. V. 349.
8. Luong L.D., Shakirov R.B., Hoang N., Shinjo R., Obzhairov A., Syrбу N., Shakirova M. Features in REE and methane anomalies distribution in the East China Sea water column:

- a comparison with the South China Sea // *Water Resources*. 2019. V. 46, N 5. P. 807–816.
9. Mishukova G.I., Shakirov R.B. Spatial variations of methane distribution in marine environment and its fluxes at the water-atmosphere interface in the western Sea of Okhotsk // *Water Resources*. 2017. V. 44, N 4. P. 662–672.
  10. Obzhirov A., Shakirov R., Salyuk A., Suess E., Biebow N., Salomatin A. Relations between methane venting, geological structure and seimo-tectonics in the Okhotsk Sea // *Geo-Marine Lett.* 2004. V. 24. P. 135–139.
  11. Phach P.V., Tri T.V., Trung N.N., Anh L.D. The geological structure of the southwestern en of the East Sea // *Proc. the 15th regional congress on geology, mineral and energy resources of Southeast Asia (GEOSEA XV)*. 2018. P. 238–241.
  12. Shakirov R. B., Obzhirov A., Shakirova M., Jin Y.K., Trung N.N. Concept of Eastern Asia gas hydrate belt // *Tottori International Forum on Methane Hydrate*. 2017. P. 94–95.
  13. Shakirov R. B., Lan N.H., Yatsuk A., Mishukova G., Shakirova M. Methane flux into the atmosphere in the Bien Dong (East Sea of Vietnam) // *J. Marine Sci. Technol.* 2018. V. 18, N 3. P. 250–255.
  14. Shakirov R.B., Yatsuk A.V., Mishukova G.I., Obzhirov A.I., Yugai I.G., Cuong D.H., Lan N.H., Legkodimov A.A., Shakirova M.V. Methane flux into the atmosphere in the South China Sea // *Dokl. Earth Sci.* 2019. P. 1. V. 486. P. 533–536.
  15. Taylor B., Hayes D.E. The tectonic evolution of the South China Basin. In Hayes, D.E. (Ed.). *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands // Geophys. Monograph*. 1980. V. 23. P. 89–104.
  16. Taylor B., Hayes D.E. Origin and history of the South China Sea basin. In Hayes, D.E. (Ed.). *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands (Pt. 2) // Geophys. Monograph*. 1983. V. 27. P. 23–56.
  17. Tseng H-C., Chen C-T.A., Borges A.V., Delvalls T.A., Chang T-C. Methane in the South China and the Western Phillipine Sea // *Continental Shelf Res.* 2017. V. 135. P. 23–34.
  18. Zhang M., Lu H., Guan H., Liu L., Wu D., Wu N. Methane seepage intensities traced by sulfur isotopes of pyrite and gypsum in sediment from the Shenhu area, South China Sea // *Acta Oceanol. Sin.* 2018. V. 37, N 7. P. 20–27.

*Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой*

после доработки 29.10.2020 г.

принята к печати 2.12.2020 г.

***Le Duc Luong, A.I. Obzhirov, Nguyen Hoang, R.B. Shakirov, Le Duc Anh, N.S. Syrбу, Dang Minh Tuan, Nguyen Van Tao, Tran Thi Huong, Do Huy Cuong, A.O. Kholmogorov, Phan Van Binh, O.V. Mishukova, A.I. Eskova***

### **Distribution of gases in bottom sediments of the southwestern sub-basin of the South China Sea (Bien Dong)**

For the first time, this paper presents the distribution of gases (CO<sub>2</sub>, hydrocarbon C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, He) in 39 gas samples in bottom sediments from 19 gravity cores located in the southwestern sub-basin of the South China Sea (known as Bien Dong). The surface sediments in the studied area are mostly silty clay. In general, the concentration of methane varies in a wide range of 0.5–440 ppm. Anomalous values of methane were detected at many locations along the slope area of the southwest sub-basin of the South China Sea. The value of 2.2 ppm could be considered as a background concentration of methane in the studied region. The presence of a large-scale degassing zone of methane in the studied area was proposed. Besides, heavy hydrocarbon gases (ethylene, ethane, propane, and butane) were also determined with the highest values up to 70 ppm, 124 ppm, and 50 ppm for ethylene, ethane and propane, respectively. In addition, data of carbon dioxide, hydro and helium suggest some anomalous values of H<sub>2</sub> up to 56.7 ppm.

***Key words:*** hydrocarbon, methane, sediment, concentration, South China Sea.