

УДК 550.4.02:550:424

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РИФТА КРАСНОЙ РЕКИ (ТОНКИНСКИЙ ЗАЛИВ, ЮЖНО-КИТАЙСКОЕ МОРЕ)

Р. Б. Шакиров<sup>1,\*</sup>, Зьонг Куок Хынг (Duong Quoc Hung)<sup>2</sup>, Н. С. Сырбу<sup>1</sup>,  
Ле Дык Ань (Le Duc Anh)<sup>2</sup>, А. И. Обжиров<sup>1</sup>, О. В. Борзова<sup>1</sup>, А. К. Окулов<sup>1</sup>,  
Буи Ван Нам (Bui Van Nam)<sup>2</sup>, Нгуен Ван Диеп (Nguyen Van Diep)<sup>2</sup>,  
Маи Дук Донг (Mai Due Dong)<sup>2</sup>, А. А. Легкодимов<sup>1</sup>, М. В. Шакирова<sup>1</sup>,  
А. В. Пономарева<sup>1</sup>, М. С. Бакунина<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН В.А. Акуличевым 19.09.2016 г.

Поступило 19.09.2016 г.

Представлены результаты третьей Российско-Вьетнамской (ТОИ ДВО РАН — ИМГГ ВАНТ) комплексной геолого-геофизической экспедиции в Тонкинском заливе Южно-Китайского моря (апрель 2016 г.) и полевых исследований на севере Вьетнама в 2016–2017 гг. В результате исследования выявлены новые особенности распределения и генезиса газогеохимических полей в осадочных отложениях в пределах рифтовой зоны Красной реки по профилю длиной 150 км. Выявлены четыре зоны с высокоамплитудными аномалиями углеводородных газов, гелия, водорода, двуокиси и окиси углерода, распределение которых отражает тектоническое строение района и характеризует наличие нескольких литосферных источников газов, в том числе глубинного происхождения.

*Ключевые слова:* разломы Красной реки, аномальные газогеохимические поля, углеводородные газы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524844487-490>

В настоящее время в свете развития общей теории нефтегазоносности и изучения фундаментальных аспектов генезиса и распространения природных газов высокой научной эффективностью отличается газогеохимический метод [1]. Цель третьей Российско-Вьетнамской комплексной геолого-геофизической экспедиции в Тонкинском заливе (залив Бакбо) Южно-Китайского моря (апрель 2016 г.) — изучение газогеохимических полей по морскому профилю (длина 150 км) вкост простирания системы разломов Красной реки (рис. 1). Район работ в настоящее время представляет нефтегазопроисследовательский интерес и характеризуется мощностью осадочного чехла до 12 км [2] (рис. 1).

Методика работ включала отбор донных отложений гравитационной трубкой (отобрано 90 проб из интервалов 0–10 и 20–30 см ниже поверхности дна) и морской воды на 45 станциях со средним

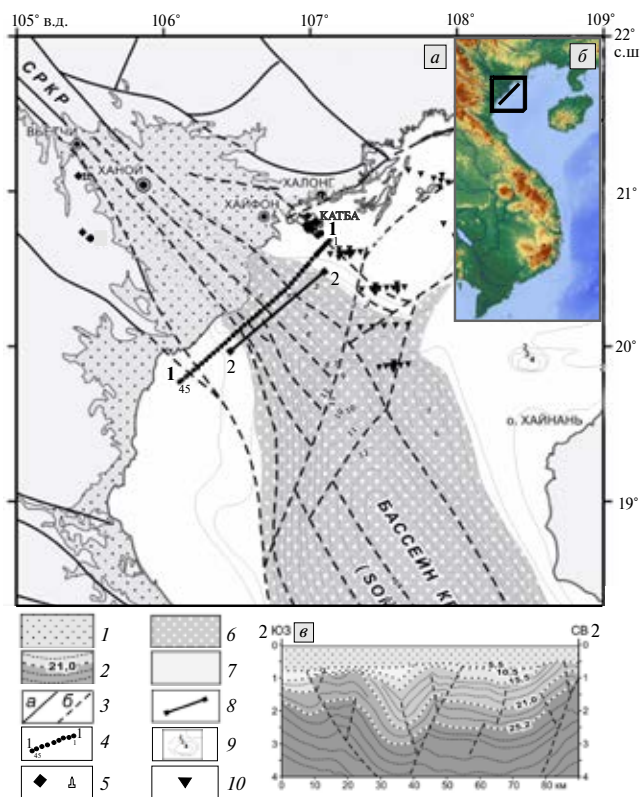
шагом 2,7 км. Газогеохимические данные вынесены на временные сейсмические разрезы (рис. 2). Пробы анализировали на содержание углеводородных газов (УВГ), N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, He, H<sub>2</sub>, CO (Паспорт Лаборатории газогеохимии ПС 1,021-1, Свидетельство Росстандарта № 49). При определении фоновых концентраций газов применяли апробированные методики [3]. Фоновые концентрации газов в осадке: CH<sub>4</sub> — 4 ppm (160 нМ/дм<sup>3</sup>; δ<sup>13</sup>C—CH<sub>4</sub> — 94‰), CO<sub>2</sub> — 0,12 об.%, УВГ (этан—бутан), в сумме, ppm — 0,8, CO — 59, He — 10,4, H<sub>2</sub> — 6,4 (в морской воде He — 8,55, H<sub>2</sub> — 4,5).

Наиболее важным результатом экспедиции стало обнаружение зон возмущения комплексного газогеохимического поля (ГП, зоны I–IV), включающих в том числе аномалии УВГ, не имеющие прямой связи с тектоническими нарушениями. Зоны состоят из совокупности локальных высокоамплитудных газогеохимических аномалий (рис. 2а). Аномальные газогеохимические поля, происхождение которых обязано тектоническим разломам, совпадают с приповерхностными сейсмоакустическими аномалиями в осадках (рис. 2б, в) и маркируют участки со сгущениями разломов глубиной заложения до 30–35 км

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Hanoi, Vietnam

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

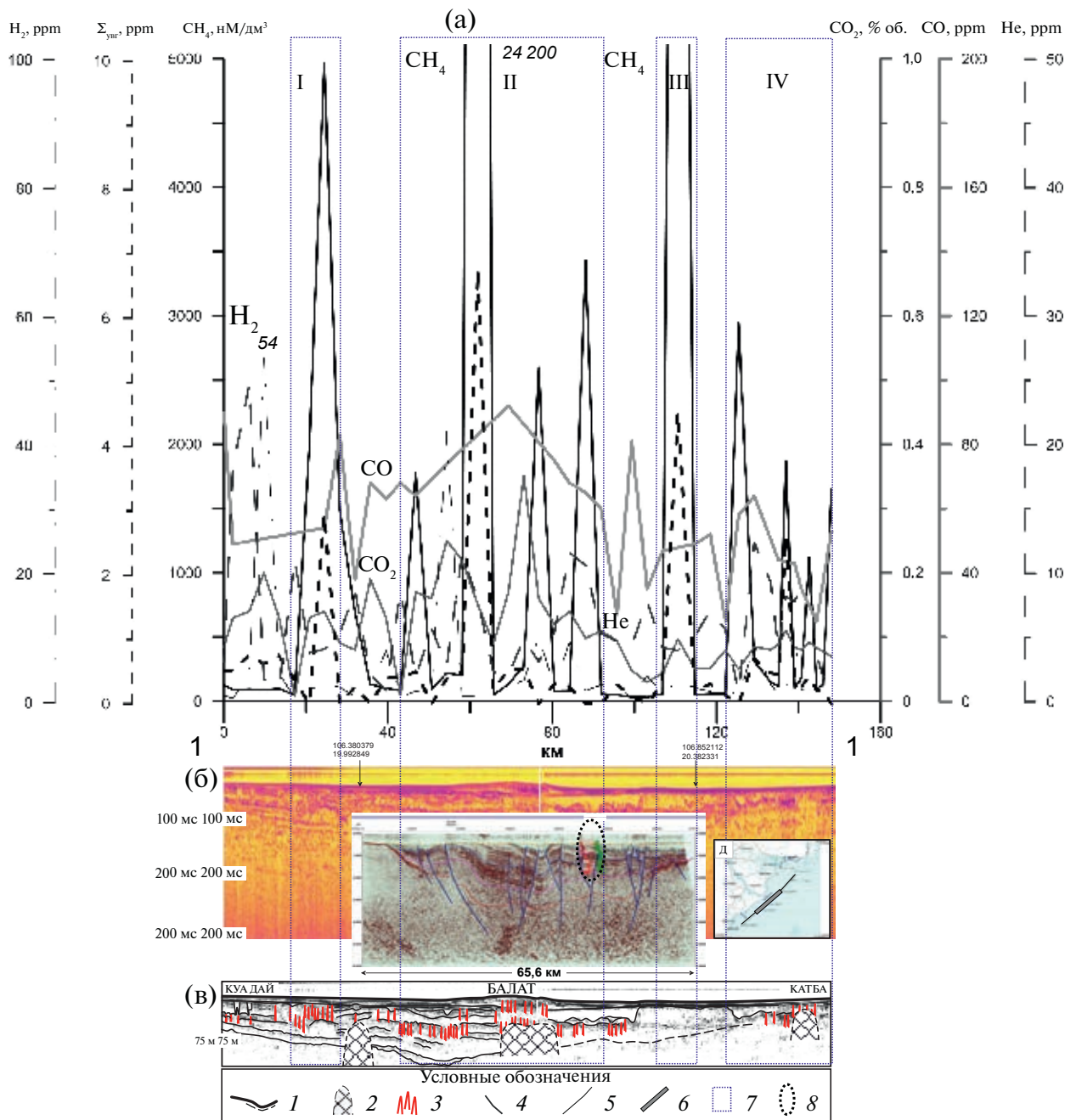


**Рис. 1.** Карта района работ и схема тектонического строения системы разломов Красной реки по [4] с дополнениями (а), положение района работ и профиля исследований 2016 г. (б) и сейсмический разрез вкрест простирания рифта Красной реки (в) по [2]. 1 — плиоцен-четвертичные породы; 2 — доплиоценовые осадочные породы, поверхности угловых несогласий (штриховые линии) и их возраст (млн лет); 3 — разломы установленные (а), предполагаемые (б); 4 — станции профиля исследований 1–1 2016 г.; 5 — пикеты газогеохимических исследований термальных источников к западу от г. Ханой и холодных источников на о-ве Катба; 6 — осадочный бассейн Красной реки; 7 — доплиоценовые терригенные формации; 8 — положение профиля МОВ ОГТ (2–2); 9 — мощность осадочного чехла (км); 10 — станции исследований 2013 г. СРКР — система разломов Красной реки.

(рис. 2г). Аномальные поля УВГ иногда не имеют прямой связи с разрывными нарушениями или сейсмоакустическими аномалиями, но выделяются максимумами суммарной концентрации газов ряда этан–бутан, что служит поисковым признаком перспективных локальных структур.

Отчётливо выделяется зона I, аномальные концентрации газов в которой маркируют, по всей видимости, приповерхностные разломы, а максимальный пик концентраций метана зафиксирован над местом наибольшего их сгущения. Между зонами I и II наблюдается участок снижения концентраций всех, особенно углеводородных газов (участок 29–40 км). Общее понижение концентраций

газов обусловлено отсутствием глубоких разломов (рис. 2г) и малочисленными каналами миграции газов (рис. 2в). Наиболее протяжённая зона активизированного газогеохимического поля находится на участке 42–92 км и выделяет осевую, вероятно, наиболее проницаемую зону рифта Красной реки. Она содержит самые высоко амплитудные аномалии всех газов ( $\text{CH}_4$  до 24 200 нМ/дм<sup>3</sup>) над “газовыми каналами” на разрезе НСП и выделяется куполообразным повышением содержания  $\text{CO}$  (до 92 ppm), образование которого возможно, например, в связи с подземным пиролизом углей при термальном метаморфизме. В пользу такого предположения говорит наличие интрузий изверженных пород в этом районе [4]. Слои осадочных пород в этой зоне наиболее дислоцированы (69–92 км), здесь больше всего разломов, миграция газов по которым отражается приповерхностными сейсмоакустическими аномалиями “слепая зона” и “газовый канал”. Обращает на себя внимание более изменчивый характер распределения всех газов в восточной части этой зоны (рис. 2в, участок “Балат”), чем в её западной части. Максимальные концентрации УВГ зафиксированы над участком, не нарушенным разрывными дислокациями (рис. 2б–г). Такое распределение УВГ указывает на перспективные участки для поисков нефти и газа, при этом газогеохимическая аномалия указывает на ловушку, не обязательно тектонической природы. Зона III, где выделяются вторые по величине аномалии  $\text{CH}_4$  (16 000 нМ/дм<sup>3</sup>), УВГ,  $\text{CO}_2$ , находится над одиночными разломами на разрезе МОВ ОГТ. Здесь не обнаружены газовые каналы, но аномальный пик суммы УВГ указывает на перспективный участок для поисков углеводородов. Зона IV маркирует участок о-ва Катба (рис. 2в) и характеризуется всплесками  $\text{CH}_4$ , УВГ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  над сейсмоакустическими аномалиями, вероятно, связанными с кайнозойскими сдвиговыми дислокациями [5], формирующими зоны газовой проницаемости. Эти данные хорошо согласуются с авторскими работами 2013–2015 гг. [3], согласно которым на этом участке распространены миграционные газы термогенного  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$  (от –40 до –58‰ PDB) и метаморфогенного генезиса ( $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$  от –25 до –40‰). Необходимо отметить участок 0–18 км (“Куа Дай”, рис. 2в), где зафиксированы максимальные концентрации  $\text{He}$  (25 ppm) и  $\text{H}_2$  (54 ppm), а также аномальные пики  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  (рис. 2а). Этот участок находится на западном борту рифта Красной реки, и аномалии газов в его пределах отражают общую тенденцию изменчивости газогеохимического поля при пересечении рифта. На сухопутном продолжении этого борта (рис. 1а) в термальных источниках (8 объектов) нами обнаружены аномалии  $\text{He}$  (до 36 нМ/л),  $\text{H}_2$  (до



**Рис. 2.** Профиль комплексного газогеохимического поля (а) на разрезе непрерывного сейсмического профилирования НСП (б) и его интерпретация (в); глубинный сейсмический разрез ОГТ (г), совмещенный в разрезе с профилем 1–1 (д). 1 – Сейсмические границы; 2 – сейсмоакустические аномалии типа “слепая зона”, вызванные высокой концентрацией газов; 3 – каналы газовой миграции; 4 – разломы; 5 – профиль 1–1; 6 – положение сейсмического профиля МОВ; 7 – зоны возмущения комплексного газогеохимического поля; 8 – участок нефтегазопроисхождения на разрезе МОВ ОГТ.

3 нМ/л), при аномалиях  $CH_4$  (до 54 нМ/л) и наличие  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$  в следовых количествах. Здесь важный фактор — совпадение аномалий разных газов, например,  $CO_2$  (580 мкМ/л),  $CH_4$  (50 нМ/л),  $He$  (18 нМ/л), что указывает на вклад нескольких литосферных источников газов, в том числе глубинных, вероятно, связанных с субвертикальными

зонами проницаемости и промежуточным переходным фундаментом [6]. По мнению авторов, распределение аномальных газогеохимических полей отражает ещё не обнаруженные ловушки углеводородов, возможно, литологического и стратиграфического типов и указывает на современные потоки глубинных газов и флюидов в районе исследования.

Наиболее активизированная в отношении комплексных газовых аномалий — осевая часть рифта Красной реки, при этом на его бортах проявляются локальные аномалии He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и отмечено “утяжеление” критерия δ<sup>13</sup>C—CH<sub>4</sub>.

Таким образом, обнаружение в низкосейсмичном районе зон возмущения комплексного газогеохимического поля, возможно, указывает на структурно-вещественный отклик литосферы Северного Вьетнама на изменение (усиление) сейсмоструктурной и вулканогенной активности многих районов северо-западной части Тихого океана в период 2006–2018 гг. Полученные данные диктуют необходимость проведения системных газогеохимических исследований на акваториях восточноазиатской трансформной окраины. При этом поисковые геолого-геофизические работы на углеводороды, включая газогидраты, должны предваряться и сопровождаться газогеохимической съёмкой.

**Источник финансирования.** Исследования выполнены при поддержке программы ФАНО “Дальний Восток” и Вьетнамской академии наук и технологий: проекты ВАНТ16-05 (VAST.NTQT.NGA.14/16-17) и ВАНТ18-1-008 (QTRU02.01/18-19). Работы проведены в рамках Совместной Российско-Вьетнамской лаборатории по морским наукам (ТОИ ДВО РАН — ИМГГ ВАНТ). Информационная поддержка обеспечена ТОИ ДВО РАН и Приморским отделением Российского географического общества (ОИАК РГО).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Обжиров А.И.* Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
2. *Phach P.V., Chinh V.V.* Cenozoic Tectonic Activities in Red River Basin and Adjacent Area // *J. Marine Sci. Technol.* 2007. V. 3. P. 18–30.
3. *Шакиров Р.Б.* Газогеохимические поля окраинных морей Дальневосточного региона: распределение, генезис, связь с геологическими структурами, газогидратами и сейсмоструктурной. Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. 49 с.
4. *Fyhn M.B. W., Phach P.V.* Late Neogene Structural Inversion Around the Northern Gulf of Tonkin, Vietnam: Effects from Right-Lateral Displacement Across the Red River Fault Zone // *Tectonics*. 2015. V. 34. № 2. P. 290–312.
5. *Касаткин С.А., Голозубов В.В., Фунг Ван Фат, Ле Дык Ань.* Проявление кайнозойских сдвиговых дислокаций системы разломов Красной реки в палеозойских карбонатных толщах острова Катба (Северный Вьетнам) // *Тихоокеан. геология*. 2014. Т. 33. № 3. С. 14–28.
6. *Никифоров В.М., Долгих Г.И., Кулинич Р.Г. и др.* Новые данные о глубинном строении северной части залива Бакбо Южно-Китайского моря (по результатам магнитотеллурических зондирований) // *ДАН*. 2014. Т. 458. № 6. С. 696–700.

## FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF ABNORMAL GAS GEOCHEMICAL FIELDS IN THE RED RIVER RIFT (GULF OF TONKIN, SOUTH CHINA SEA)

R. B. Shakirov, Duong Quoc Hung, N. S. Syrбу, Le Duc Anh, A. I. Obzhіrov, O. V. Borzova, A. K. Okulov, Bui Van Nam, Nguyen Van Diep, Mai Duc Dong, A. A. Legkodimov, M. V. Shakirova, A. L. Ponomareva, M. S. Bakunina

Presented by Academician of the RAS V.A. Akulichev August 19, 2016

Received August 19, 2016

This paper reports the results of the third Russian–Vietnamese expedition (POI FEB RAS and the Institute of Marine Geology and Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology) in the Gulf of Tonkin, South China Sea (April 2016) and field work outcomes from 2016–2017. The studies revealed new specific features of the distribution and origin of gas-geochemical fields in sediments within the rift zone of the Red River along a 150-km profile. Four zones with high amplitude anomalies of hydrocarbon gases, helium, hydrogen, carbon dioxide, and carbon monoxide were revealed. The distribution of the anomalies reflects the tectonic structure of the area and points to the presence of several lithospheric sources of gases including gases of deep origin. The studies were carried out within the scope of the Joint Vietnamese–Russian Laboratory for Marine Geosciences (POI FEB RAS and the Institute of Marine Geology and Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology). The article is dedicated to the year of friendship between Russia and Vietnam.

*Keywords:* faults of the Red River, abnormal gasgeochemical fields, hydrocarbon gases.