

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГАЗОНОСНОСТИ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

А.К. Окулов¹, А.И. Обжиров¹, В.А. Щербаков², Г.И. Мишукова¹, Ал.К. Окулов¹

¹ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43,
г. Владивосток, 690041; e-mail: aokulov07@mail.ru

²ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана
им. акад. И.С. Грамберга», Английский пр-т 1 офис, г. Санкт-Петербург, 190121

Поступила в редакцию 14 января 2017 г.

В работе представлены результаты исследования природного газа в заливе Петра Великого в период с 2009 по 2014 гг. Получены данные о распределении природного газа в воде и донных осадках. Обнаружены высокие содержания газа в придонной воде и осадке в некоторых районах залива. Представлены возможные источники метана и других природных газов.

Ключевые слова: метан, тектоническое нарушение, аномалия газа, залив Петра Великого, Японское море, Приморский край, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Залив Петра Великого находится в южной части Приморского края (рис. 1). В работе представлены результаты исследований природных газов в воде и донных осадках залива Петра Великого. С 2012 по 2014 год исследования выполнялись совместно сотрудниками ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН и института ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга под руководством В.А. Щербакова по проекту «Обеспечение рационального и безопасного использования геологической среды прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого на основе ведения государственного мониторинга состояния недр с оценкой состояния и прогноза развития опасных геологических процессов, возникающих под действием природных и техногенных факторов».

Целью исследований является изучение состава газа, его распределение и образование в геологических структурах. К задачам исследований относится отбор проб воды и осадка, анализ газовых проб и интерпретация полученных результатов с использованием геологической, геофизической и гидрогеологической изученности района исследований.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследований проводился отбор, подготовка и анализ газовых проб. Отбор проб выполнялся

с судна, оснащенного лебедкой для спуска и подъема пробоотборников. Для забора проб воды использовались батометры объемом 5 и 10 л. Пробы воды забирались на двух горизонтах: поверхностный – в интервале от 1 до 1.5 м от поверхности, придонный – 1–1.5 м от дна. Из батометра отбиралась проба в стеклянную емкость объемом 275 мл, закрывалась резиновой пробкой и транспортировалась в лабораторию. В пробу добавлялся гелий по 12 мл, затем проба взбалтывалась и газ анализировался равновесным методом Head Space.

Пробы осадка забирались черпаком объемом 50 л и гидростатической трубкой длиной 2.5 м. Для анализа газа донные осадки отбиралась из трубки медицинскими шприцами объемом 12 мл. Далее проба перемещалась в стеклянную емкость объемом 68 мл, заполненную насыщенным соевым раствором, и закрывалась. В пробу добавлялся гелий по 12 мл. Преимущественно опробовались горизонты в интервале 0–5 и 10–20 см от поверхности. Анализ газа выполнялся на газовом хроматографе Кристалл люкс 4000М и Хроматэк-Газхром 2000.

В период с 2012 по 2014 год выполнены исследования на 422 станциях, отобрано 851 проба воды и 1091 проба осадка для изучения газового состава.

СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

В структурно-геологическом строении района принимают участие осадочные и вулканические по-

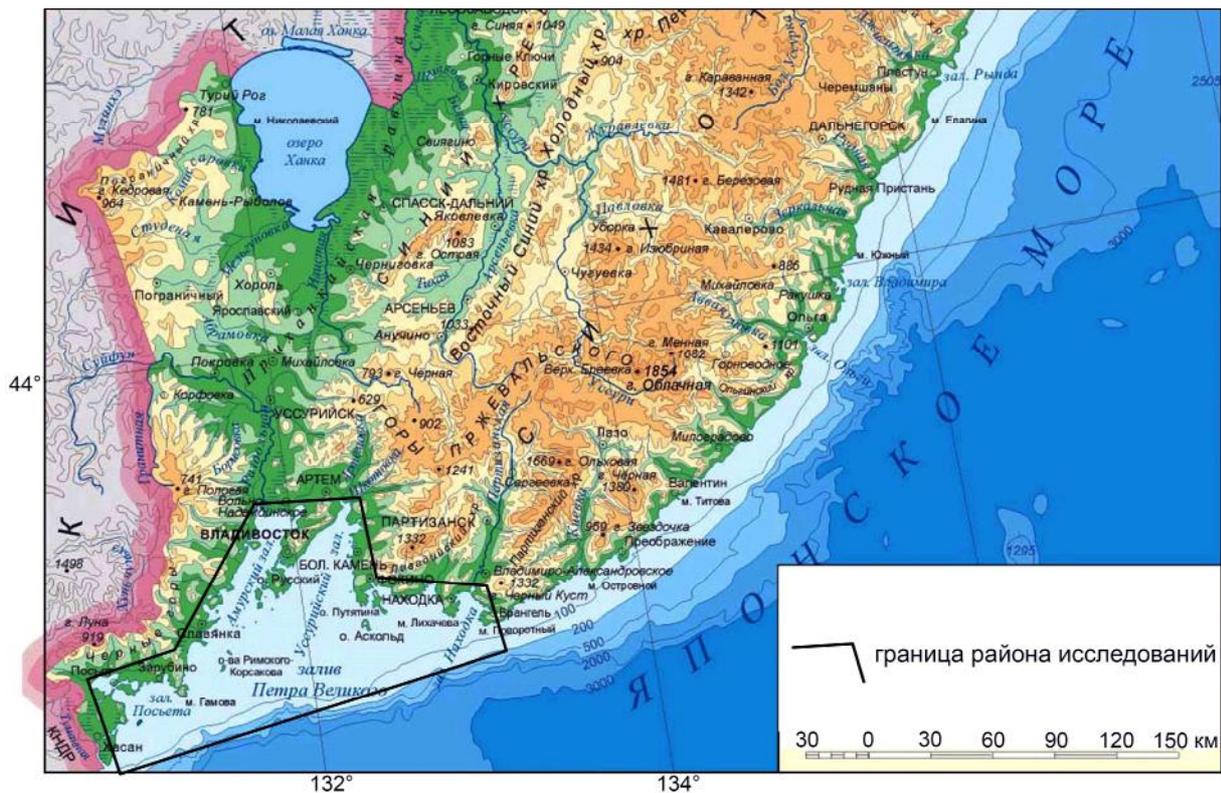


Рис. 1. Обзорная схема района исследований.

роды протерозойского, позднепалеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. По особенностям геологического строения выделяется несколько структурно-формационных зон (СФЗ) (рис. 2): Западно-Приморская, Муравьевско-Дунайская и Партизанско-Окраинская подзона Центральной зоны. Границами подзон служат Западно-Приморский, Уссурийский, Муравьевский и Западно-Партизанский глубинные разломы, ориентированные преимущественно в северо-восточном направлении. К разломам первого порядка отнесены Западно-Приморский, Уссурийский, Муравьевский, Дунайский, Аскольдовский и Прибрежный разломы, второго – Кубанский, Зарубинский, Надеждинский, Береговой разломы. Третий порядок составляют прочие более мелкие разрывные структуры.

Наложенные палеоген-неогеновые депрессионные структуры развиты в пределах всех СФЗ. Часть из них развивалась в пределах триасовых и меловых депрессий, другая – на пермском складчатом основании. В отличие от триасовых и меловых наложенных депрессий кайнозойские характеризуются проявлением вулканизма, в том числе и базальтоидного, с развитием структур растяжения (раздвигов), рассекающих земную кору и достигающих верхней мантии (Кутуб-

Заде Т.К., Олейников А.В., Сясько А.А. и др. Приморский ТГФ, 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что большая часть площади характеризуется фоновыми концентрациями метана (80–100 нл/л) в поверхностном слое воды. Высокие концентрации метана установлены (200–600 нл/л) в прибрежной части и закрытых бухтах залива. Наблюдается увеличение содержания метана с юга на север в сторону континентальной части (рис. 3).

Распределение метана в придонном слое воды более неравномерно, чем в поверхностном (рис. 4), на большей части площади не превышает 150 нл/л. Максимальные значения – 528 нл/л – установлены в северной части Амурского залива, где источником газа являются угольные пласты Тавричанского месторождения. Состав газа Тавричанского бурогоугольного месторождения преимущественно метановый с содержанием метана до 80–90 %, дебитом 6.4 м³/мин, глубина метанопроявлений от 240 до 620 м. На Артемовском, Подгороденском и месторождениях Партизанский угольный бассейн также характеризуется высоким содержанием метана, его гомологов, водоро-

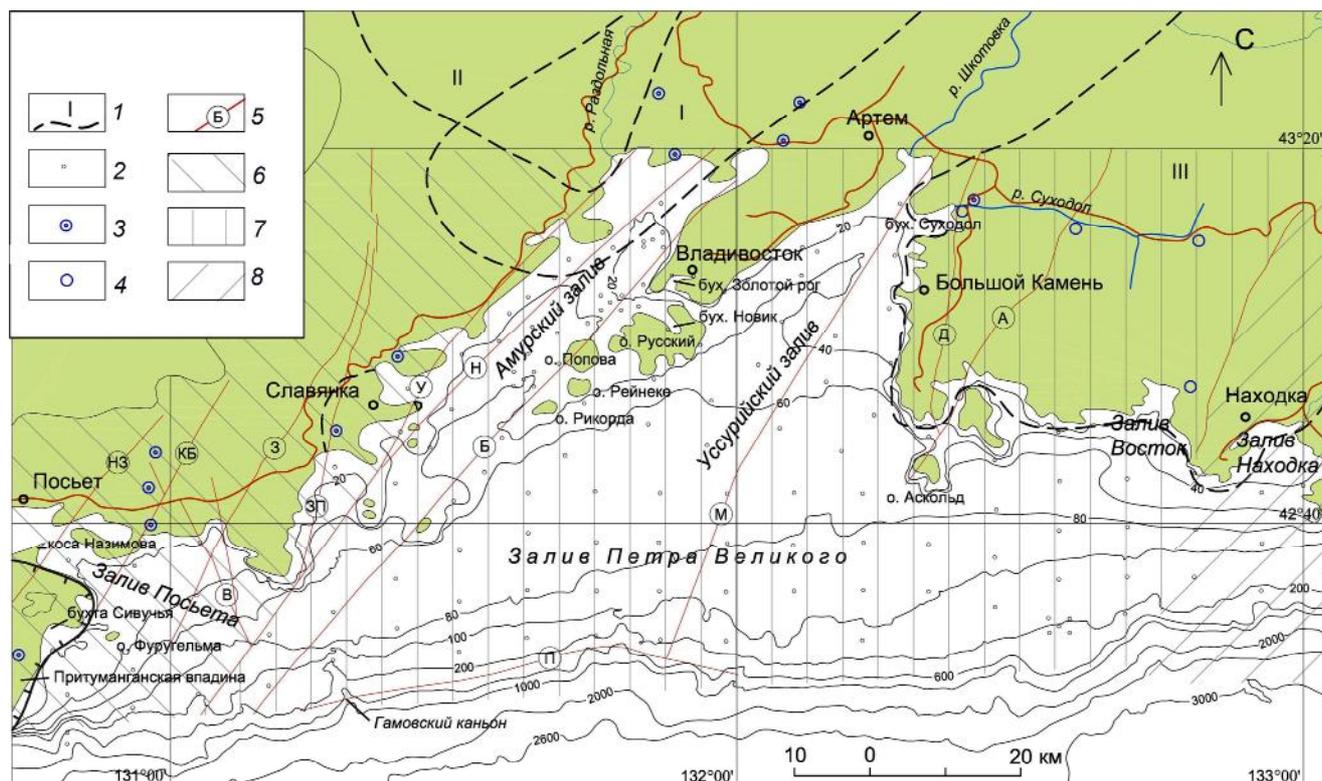


Рис. 2. Схема структурно-формационных зон района исследований (Кутуб-Заде Т.К., Олейников А.В., Сясько А.А. и др. Приморский ТГФ, 2002).

1 – граница распространения угленосных площадей: I – Угловский буроугольный бассейн, II – Раздольненский каменноугольный бассейн, III – Партизанский каменноугольный бассейн, Пойменная угленосная площадь; 2 – станции отбора проб; 3 – гидрогеологическая наблюдательная скважина; 4 – гидрогеологическая разведочная скважина; 5 – разломы: ЗП – Западно-Приморский, У – Уссурийский, Б – Береговой, М – Муравьевский, П – Прибрежный, Нз – Назимовский, КБ – Кубанский, З – Зарубинский, В – Виноградовский, Н – Надеждинский, Д – Дунайский, А – Аскольдовский; 6 – Западно-Приморская структурно-формационная зона; 7 – Муравьевско-Дунайская структурно-формационная зона; 8 – Партизанско-Окраинская подзона Центральной зоны.

да и углекислого газа [5]. Предварительными расчетами [3] установлено, что среднее выделение метана из угленосных отложений залива в водную среду составляет 7–10 тыс. т/год.

Происхождение метана возможно и в результате поступления с р. Раздольной биогенного вещества, приводящего к «цветению» воды. Такое цветение опасно для экосистемы залива, поскольку приводит к гипоксии придонных вод [2]. В поступлении биогенного вещества в Амурский залив участвуют и бытовые стоки г. Владивосток.

Юго-западная часть Амурского залива характеризуется повышенным содержанием метана в поверхностном и придонном слое воды. Высокое содержание метана наблюдается и в осадке на всех исследуемых горизонтах (рис. 5). В ряде наблюдательных гидрогеологических скважин, находящихся в прибрежной части, также наблюдается высокое и аномальное содержание метана, этана, пропана и гелия, часть скважин характеризуется низкими и фоновыми концентраци-

ями, что говорит о неоднородности структурно-геологического строения. Источником газа в акваторию залива является Пойменная кайнозойская впадина, имеющая в своем составе торфяные и углистые породы. Проводником для выхода на поверхность служит зона Уссурийского глубинного разлома. По происхождению газа его можно отнести к углеметаморфическому типу.

Район о. Рикорда характеризуется стабильно высоким содержанием метана в осадке на всем периоде наблюдений. Газовая аномалия, по-видимому, имеет глубинное магматическое происхождение, находится в зоне Берегового разлома, восточной части Амурской локальной котловины. Данный участок характеризуется повышенным содержанием метана в поверхностном и придонном слое воды, в осадке содержание метана увеличивается с глубиной опробования. Наблюдается превышение фона по гелию и водороду. Содержание углекислого газа превышает фон в 1.5–2 раза. Содержание этана на уровне предела об-

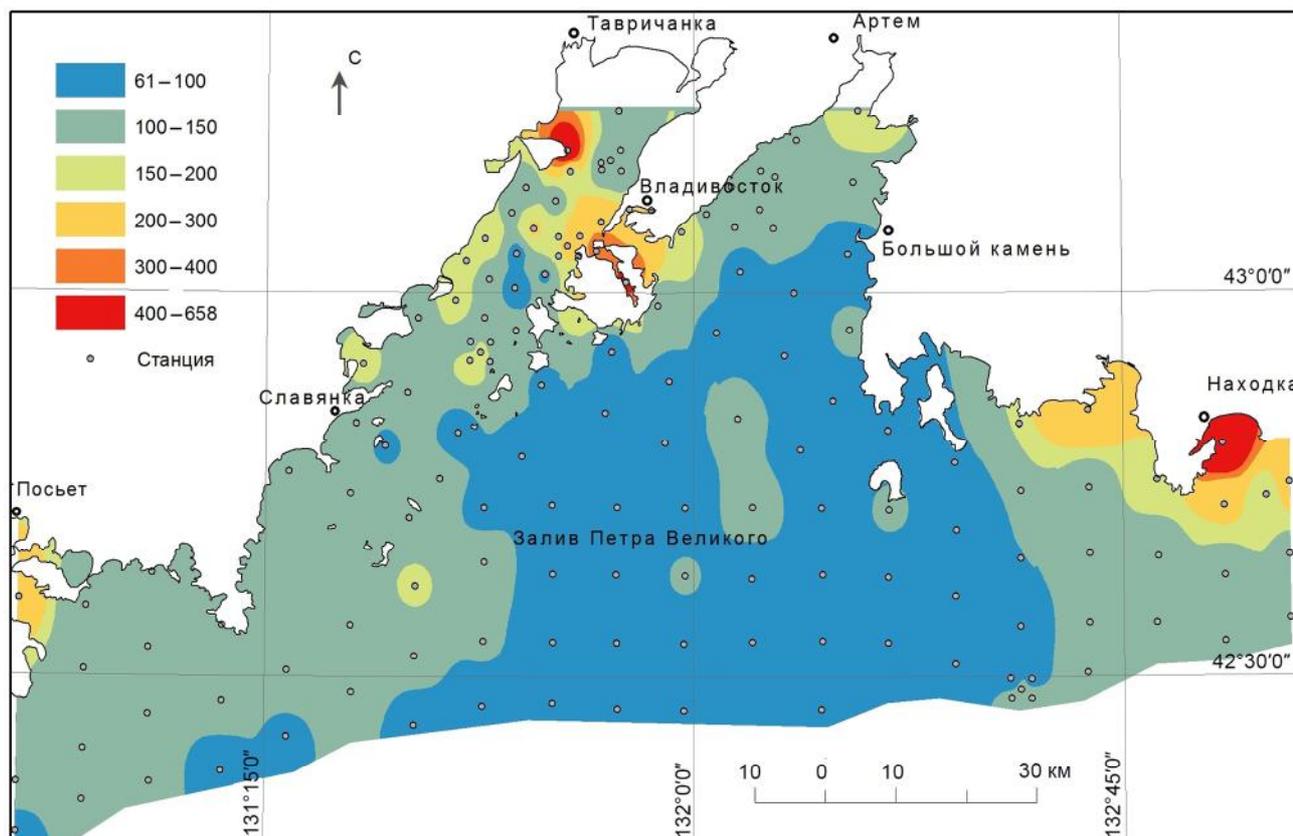


Рис. 3. Схема распределения метана в поверхностном слое воды в июле 2014 г., нл/л.

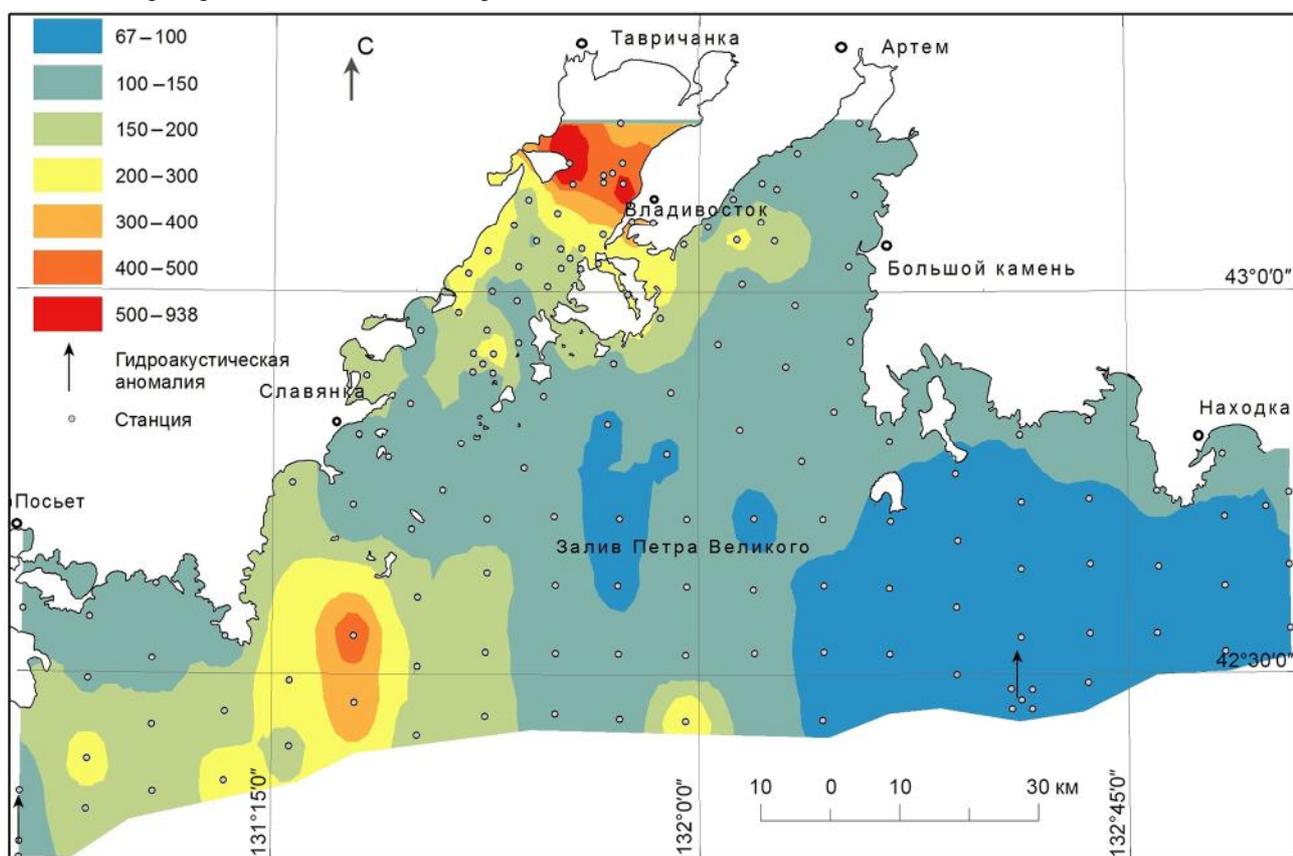


Рис. 4. Схема распределения метана в придонном слое воды в июле 2014 г., нл/л.

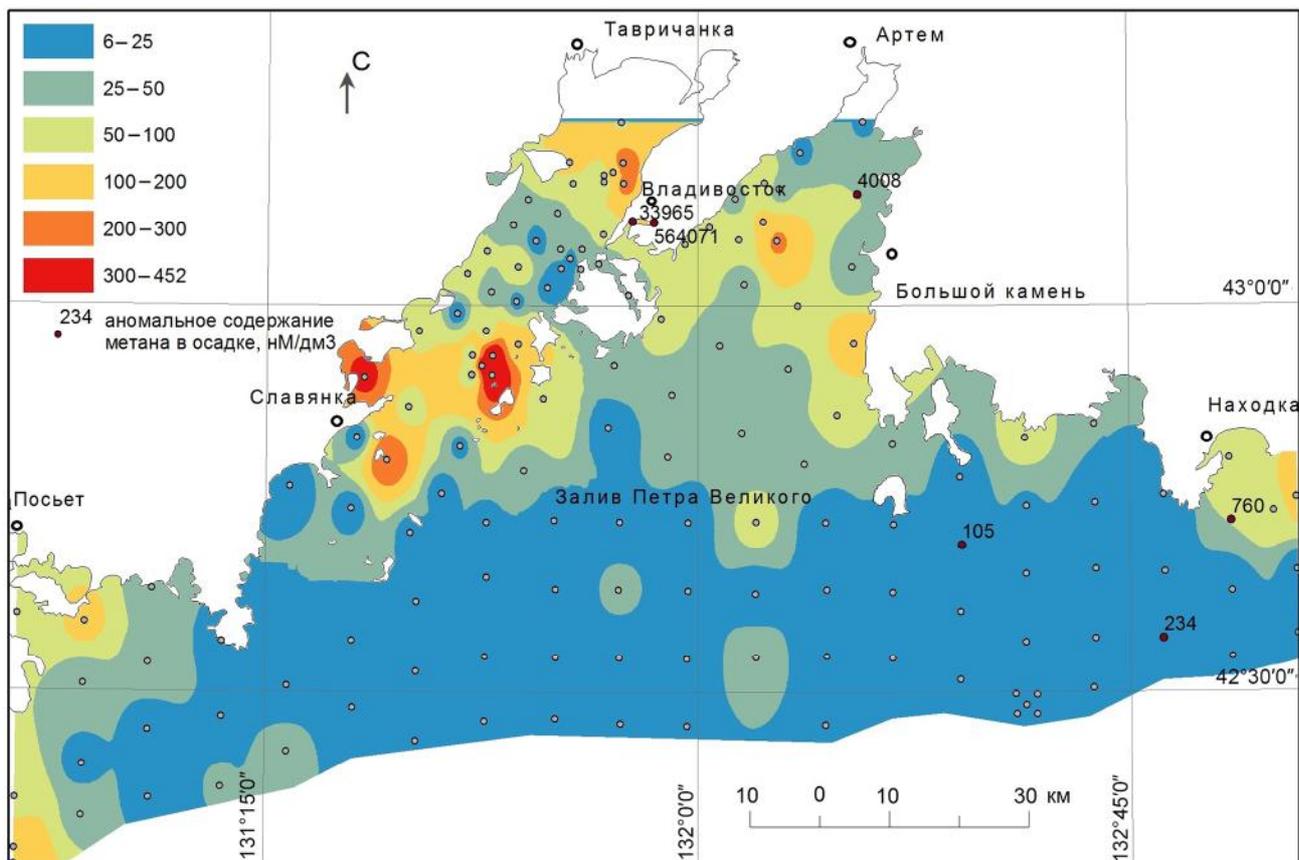


Рис. 5. Распределение метана в верхнем слое осадка в июле 2014 г., нМ/дм³.

наружения – 0.5 ppm. Вероятно, источник газа на данном участке имеет глубинное происхождение и стабильный подток. Зона Берегового разлома на данном участке является проницаемой и служит проводником для вертикальной миграции газа в акваторию залива. По данным плотностного моделирования [1, 4], на о-вах Рикорда, Русский и п-ове Муравьева-Амурского на глубинах 1–2 км размещены интрузивные массивы основного состава, которые могут являться областью подтока эндогенных флюидов, поставляющих тепловые потоки для генерации углеводородов из материнских пород.

В восточной части площади высокое содержание метана наблюдается в заливе Находка в поверхностном слое – 1171 нл/л. Это может быть связано с хозяйственной деятельностью. Об этом также говорит невысокое содержание метана в придонном слое – 144 нл/л.

В заливе Восток содержание метана в придонном слое составляет 376 нл/л, в поверхностном слое воды содержание метана 555 нл/л, что превышает фон более чем в 5 раз. Большая же часть юго-восточной площади характеризуется фоновым содержанием метана в воде (100 нл/л) и донных осадках. В 2014 г. на

данном участке на судовом эхолоте обнаружена гидроакустическая аномалия, интерпретируемая нами как выход газа (рис. 6).

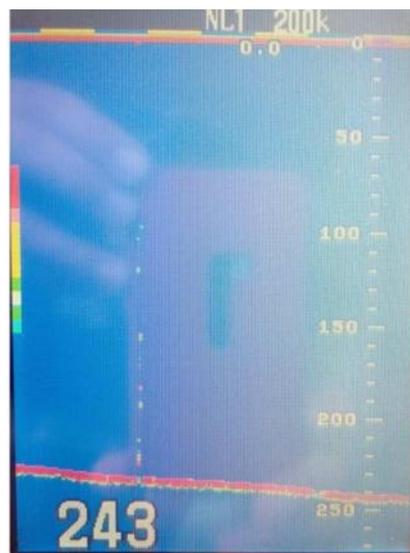


Рис. 6. Гидроакустическая аномалия в юго-восточной части исследуемой площади (рис. 4).

В 2012 г. здесь наблюдалось высокое содержание гелия в осадке – 154 ppm. Содержание углеводородных газов не превышало фоновых значений.

Западная часть площади характеризуется фоновыми значениями метана в поверхностном слое. Наблюдается небольшое превышение в поверхностном слое – 219 нл/л – в районе косы Назимова. В районе бухты Сивучья содержание метана 499 нл/л. Газовая аномалия находится в зоне Кубанского глубинного разлома, контролирующего с востока Притуманганскую впадину. На данной площади обнаружена вторая гидроакустическая аномалия, здесь наблюдались несколько выходов газа на глубинах 160, 200 и 250 м (рис. 7). Вероятно, что на донном участке происходит разгрузка подземных вод.

Участок характеризуется повышенным содержанием метана и двуокиси углерода в осадке на всем периоде наблюдений с 2012 по 2014 год. В 2012 г. здесь установлена аномалия водорода. Высокое содержание метана в придонном слое воды наблюдалось в 2012 г. севернее гидроакустической аномалии на бровке шельфа в зоне Прибрежного глубинного разлома. С

запада участок граничит с Притуманганской впадиной, где в гидрогеологической скважине установлено высокое содержание метана – до 50 %, двуокиси углерода – до 45 мл/л, этана, пропана и бутана (Дубинский А.П., 2014 г). Наличие стабильной газовой аномалии в континентальной и прибрежной частях говорит о едином глубинном источнике газа. По составу газа его можно отнести к нескольким генетическим типам: углеметаморфическому, газам изверженных пород и газам нефтяных месторождений.

Центральная часть Уссурийского залива характеризуется повышенным содержанием метана в осадке в период с 2012 по 2014 гг. Газовая аномалия приурочена к пониженной части рельефа дна, где создаются благоприятные условия для заиливания и накопления осадка. Восточная и северо-восточная часть Уссурийского залива также характеризуется повышенным содержанием метана в осадке. Газовая аномалия находится в 9 км от устья реки Суходол, где в марте 2014 г. при обследовании наблюдательной гидрогеологической скважины №10 в воде установлено высокое содержание метана 24536 нл/л, повышенная концентрация углекислого газа 7.9 мл/л, этана 17.2 ppm и фоновое содержание гелия и водорода (около 2.5 ppm). Геологически район представляет собой мезозойский осадочный бассейн, заполненный континентальными угленосными и туфогенными породами верхнего и нижнего мела, триаса. Бассейн расположен на границе грабена Уссурийского залива. Газовая аномалия находится в зоне Дунайского меридионального разлома, который пересекается широтным разломом реки Суходол. Этот разлом контролирует выходы диоритовых порфиритов и ограничивает с юга Шкотовскую палеоген-неогеновую угленосную впадину.

Высокие концентрации метана – 477 нл/л – в придонном слое установлены в Уссурийском заливе в районе полигона твердых бытовых отходов г. Владивосток. Связано это с разгрузкой грунтовых вод, обогащенных свалочным газом. Несмотря на поступление обогащенных газом вод в акваторию залива, наблюдается снижение содержания метана в поверхностном слое по сравнению с 2012 г.

На протяжении всего периода наблюдается высокое содержание метана в воде и осадке бухт Золотой Рог, бухты Новик, заливов Находка, Восток и Посыет и является результатом хозяйственной деятельности.

В бухте Новик наблюдается высокое содержание метана в воде – 489 и 934 нл/л в поверхностном слое, 286 и 1040 нл/л в придонном. Неблагоприятным

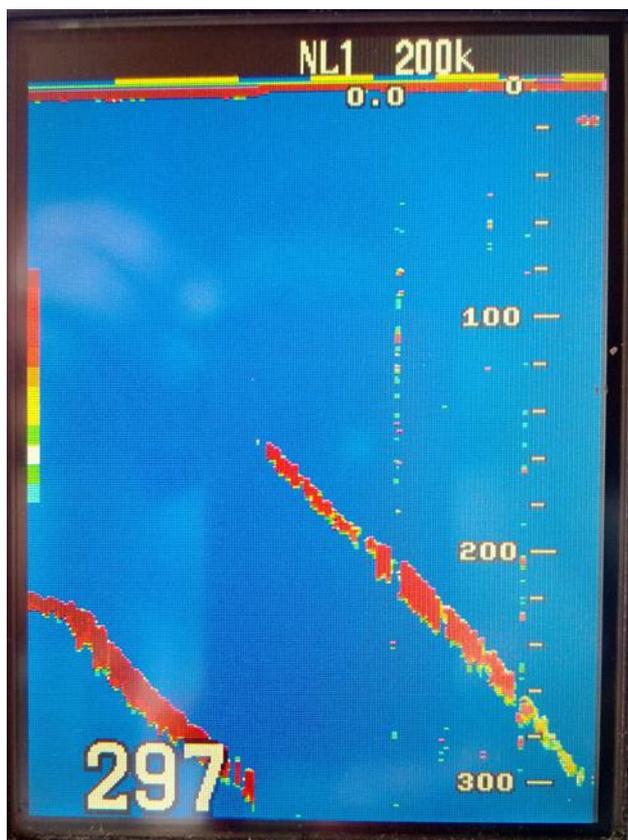


Рис. 7. Гидроакустическая аномалия в юго-западной части исследуемой площади рис. 4).

условием является слабая циркуляция и водообмен бухты. Бухта Золотой Рог является самой загрязненной с содержанием метана 5041 и 24284 нл/л – в поверхностном слое, 5111 и 3314 нл/л – в придонном. Высокие показатели говорят о крайне высоком загрязнении вод бухты нефтепродуктами, особенно восточной части.

Таким образом, на большей площади акватории залива Петра Великого содержание метана в поверхностном слое воды не превышает 150 нл/л и имеет равномерное распределение. Высокие концентрации метана установлены в Амурском заливе, бухте Новик, заливе Посыета, Восток и Находка, максимальные в бухте Золотой Рог. Все они имеют локальное распространение и приурочены к районам с интенсивным ведением хозяйственной деятельности, являются их результатом. Наблюдается снижение концентраций метана по сравнению с 2013 г., с сохранением схемы распределения в районе Вторая речка г. Владивостока (сброс сточных вод), вероятно, это связано с вводом в эксплуатацию очистных сооружений.

На исследуемой площади установлены участки с высоким содержанием метана в осадке, они приурочены к континентальной части, ослабленным зонам фундамента, зонам дробления и зонам интрузивных контактов. Выделяются несколько генетических типов природных газов: углеметаноморфогенный, метаморфический и магматический.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные газовые аномалии приурочены к кайнозойским впадинам и котловинам и контролирующим их зонам тектонических нарушений, ослабленным зонам фундамента.

В результате проведения мониторинговых работ была установлена положительная динамика изменения газового состава в районе сброса сточных вод (район Вторая речка), это говорит об улучшении экологической ситуации в акватории залива Петра Великого. Связано это вводом в эксплуатацию очистных

сооружений г. Владивостока. Улучшение экологического состояния акватории наблюдается и в районе рекультивированного полигона твердых бытовых отходов г. Владивостока.

По-прежнему высокое содержание метана в поверхностных водах бухты Золотой Рог, бухты Новик, залива Находка, Восток и Посыет является результатом хозяйственной деятельности.

В целом по Приморскому краю наблюдается сильное пересыщение метаном поверхностных вод относительно содержания метана в атмосфере, что свидетельствует об активном поступлении метана в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изосов Л.А., Съедин В.Т., Емельянова Т.А., Кононец С.Н., Валитов М.Г., Крамчанин К.Ю. Новые данные по магматическим комплексам острова Попова и некоторые проблемы геологии залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 355–378.
2. Михайлик Т.А., Тищенко П.Я., Колтунов А.М., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Влияние реки Раздольной на экологическое состояние вод Амурского залива (Японское море) // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 4. С. 474–484.
3. Мишукова Г.И., Гресов А.И., Мишуков В.Ф. Природные аномалии метана на акватории залива Петра Великого Японского моря: Материалы IV Международного Экологического форума. Владивосток: Изд. «РЕЯ», 2009. С. 211–213.
4. Никифоров В.М., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., Дмитриев И.В., Старжинский С.С., Шкабарня Г.Н. Особенности флюидного режима литосферы в зоне сочленения Южного Приморья и Японского моря по комплексу геофизических данных // Тихоокеан. геология. 2013, Т. 32, № 1. С. 54–64.
5. Обжиров А.И., Гресов А.И., Шакиров Р.Б., Агеев А.А., Верещагина О.Ф., Яновская О.С., Пестрикова Н.Л., Коровицкая Е.В., Дружинин В.В. Метанопроявления и перспективы нефтегазоносности Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2007. 167 с.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

После доработки 30.10.2018 г.
принята к публикации 24.11.2018 г.

A.K. Okulov, A.I. Obzhirov, V.A. Shcherbakov, G.I. Mishukova, A.I.K. Okulov

Geological conditions of gas content in the coastal-shelf zone of the Great Peter Bay, Japan Sea

The paper presents of the results of the study of natural gas in the Great Peter Bay in the period from 2009 to 2014. The data on the distribution of natural gas in the water and bottom sediments are obtained. High gas content was found in the near-bottom water and sediments in some areas of the bay. Possible sources of methane and other natural gases are suggested.

Key words: methane, tectonic disturbance, gas anomaly, залив Петра Великого, Японское море, Приморский Territory, Far East of Russia.