

УДК:550.4.550.84:551.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА НА АКВАТОРИИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

**А.К. Окулов, А.И. Обжиров,
Г.И. Мишукова, Ал.К. Окулов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН¹

В работе представлены результаты исследований природного газа прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого. Получены данные о составе и распределении газа в придонном и поверхностном слоях воды. Выделено несколько генетических типов газа на исследуемой площади, основные из них – микробный, угольный, нефтегазоносный, интрузивный. Пути миграции газа из глубоких горизонтов к поверхности являются зоны разломов. Обнаруженные аномальные поля метана и других природных газов в донных осадках и воде акватории залива Петра Великого требуют более детальных исследований с использованием подводной робототехники, так как эти районы являются опасными для инженерного строительства. В то же время они могут быть благоприятными для разведения аквакультуры и важно оценить их для выполнения других хозяйственных работ.

ВВЕДЕНИЕ

Залив Петра Великого находится в северо-западной части Японского моря (рис. 1), простирается от р. Туманной с запада до м. Поворотный с востока, общая площадь 9000 км². В его состав входят заливы – Амурский, Уссурийский, Посыета, Находка с множеством более мелких заливов и бухт.

В работе представлены результаты исследований распределения природного газа в воде и донных осадках за период с 2009 по 2015 г. Большой объем данных о газовом составе района залива Петра Великого получен в результате выполнения мониторинговых исследований совместно с институтом ВНИИ Океангеология им. И.С. Грамберга под руководством В.А. Щербакова в период с 2012 по 2014 г. [2]. В результате исследований получены данные о гидрологических и сейсмоакустических характеристиках водной среды и верхней части осадочной толщи залива.

Комплекс газогеохимических и геофизических исследований позволил открыть районы в заливе с аномальным содержанием

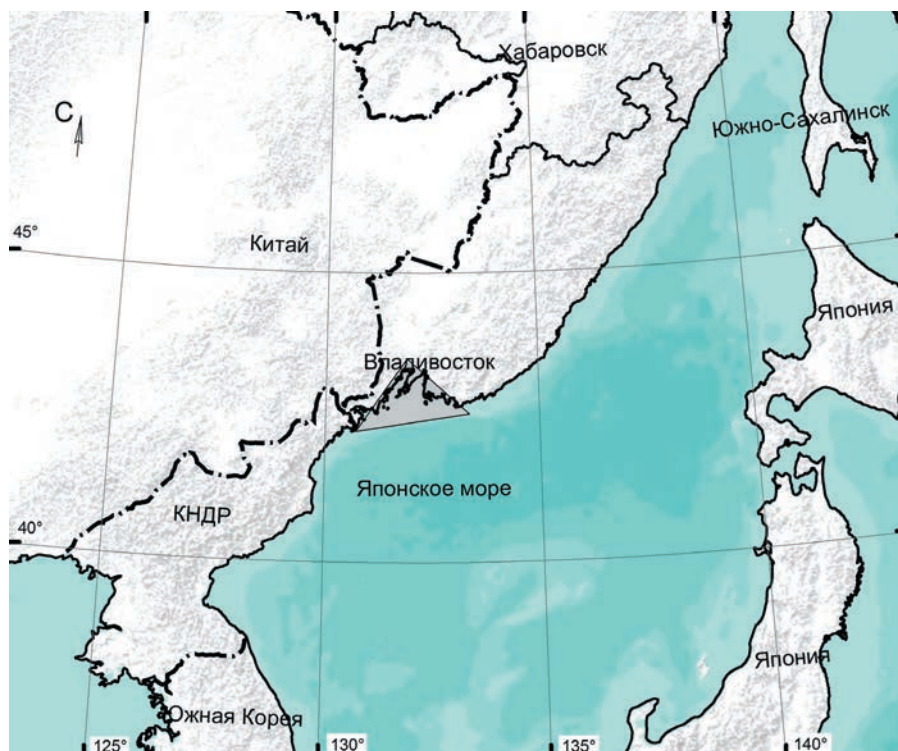


Рис. 1. Схема района исследований (ограниченная площадь в Японском море южнее г. Владивосток)

ем газа и объяснить возможные его источники. Эти данные представляют интерес при прогнозе залежей углеводородов, картировании зон разломов и оценке их сейсмостектонической активности, расчете поступления парниковых газов – метана и углекислого газа

из донных отложений в воду и из воды в атмосферу, инженерном проектировании строительства различных объектов на дне залива Петра Великого. В районах обнаруженных аномальных полей при-

¹ 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43. E-mail: aokulov07@mail.ru

родных газов требуются детальные исследования с помощью подводных робототехнических аппаратов как для инженерных изысканий, так и планирования развития аквакультуры, так как аномальные поля метана и других газов оказывают влияние на развитие биоты – на некоторые виды положительно, на другие отрицательно.

■ Методика исследований

Экспедиционные исследования проводились с исследовательского судна, оборудованного лебедкой, гидростатической геологической трубкой для отбора проб донных осадков длиной 2,5 м, батометрами для отбора проб воды, эхолотом и зондом по определению температуры и солености воды.

Для изучения газового состава воды использовались два метода: HeadSpace и дегазации. Метод HeadSpace заключается в отборе пробы воды из батометра в стеклянную емкость объемом 268 мл. Далее данная емкость закрывалась резиновой пробкой с использованием иглы. Затем в пробу добавлялся гелий – 12 мл. Проба взбалтывалась на перемешивающем устройстве, из воды в гелий переходил газ до равновесного состояния, который отбирался и анализировался на хроматографе. Метод дегазации заключался в отборе пробы воды в стеклянную емкость объемом 500 мл, которая закрывалась резиновой пробкой. Далее газ из пробы воды извлекался на дегазационной установке в лаборатории и анализировался на газовых хроматографах – Кристалл-5000, Кристаллюкс-4000М, Хроматэк-Газхром 2000.

Пробы донных отложений отбирались гидростатической трубкой длиной 2,5 м. Определение метана и других газов в донных осадках выполняется методом равновесных концентраций (HeadSpace). Осадок отбирается шприцами 12 мл с по-

следующим перемещением его в стеклянные ёмкости 68 мл, заполненные насыщенным солевым раствором. Слянка закрывается резиновой пробкой с использованием иглы для удаления оставшегося воздуха и избыточной воды. После этого из закрытой слянки шприцем отбирается 12 мл солевого раствора, при этом через вторую иглу напускается гелий из мешка TedlarBagDualvalves. Затем, после двух часов взбалтывания пробы, для того чтобы наступило равновесие выделившегося газа из пробы в среде чистого гелия, образованная смесь отбиралась и анализировалась на хроматографе.

■ Структурно-геологическое строение района

В структурно-геологическом строении района принимают участие осадочные и вулканические породы протерозойского, позднепалеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. По особенностям геологического строения выделяется несколько структурно-формационных зон (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, Западно-Партизанский, 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), пересекающих зем-

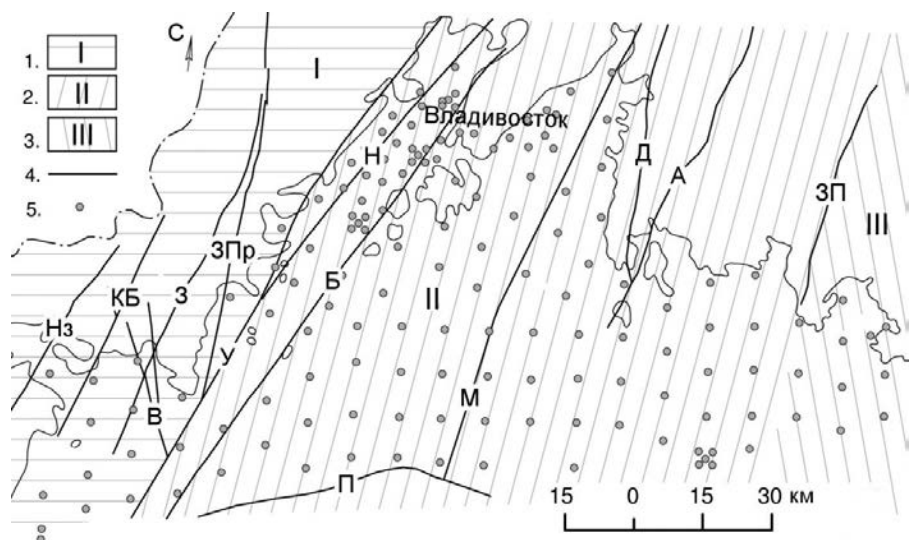


Рис. 2. Схема структурно-формационных зон (СФЗ) района исследований: 1 – Западно-Приморская; 2 – Муравьевско-Дунайская; 3 – Партизанско-Окраинская подзона Центральной зоны; 4 – разломы: ЗПр – Западно-Приморский, Б – Береговой, М – Муравьевский, ЗП – Западно-Партизанский, П – Прибрежный, Нз – Назимовский, КБ – Кубанский, З – Зарубинский, В – Виноградовский, Н – Надеждинский, Д – Дунайский, А – Аскольдовский; 5 – станция отбора проб. I, II, III – структурно-формационные зоны

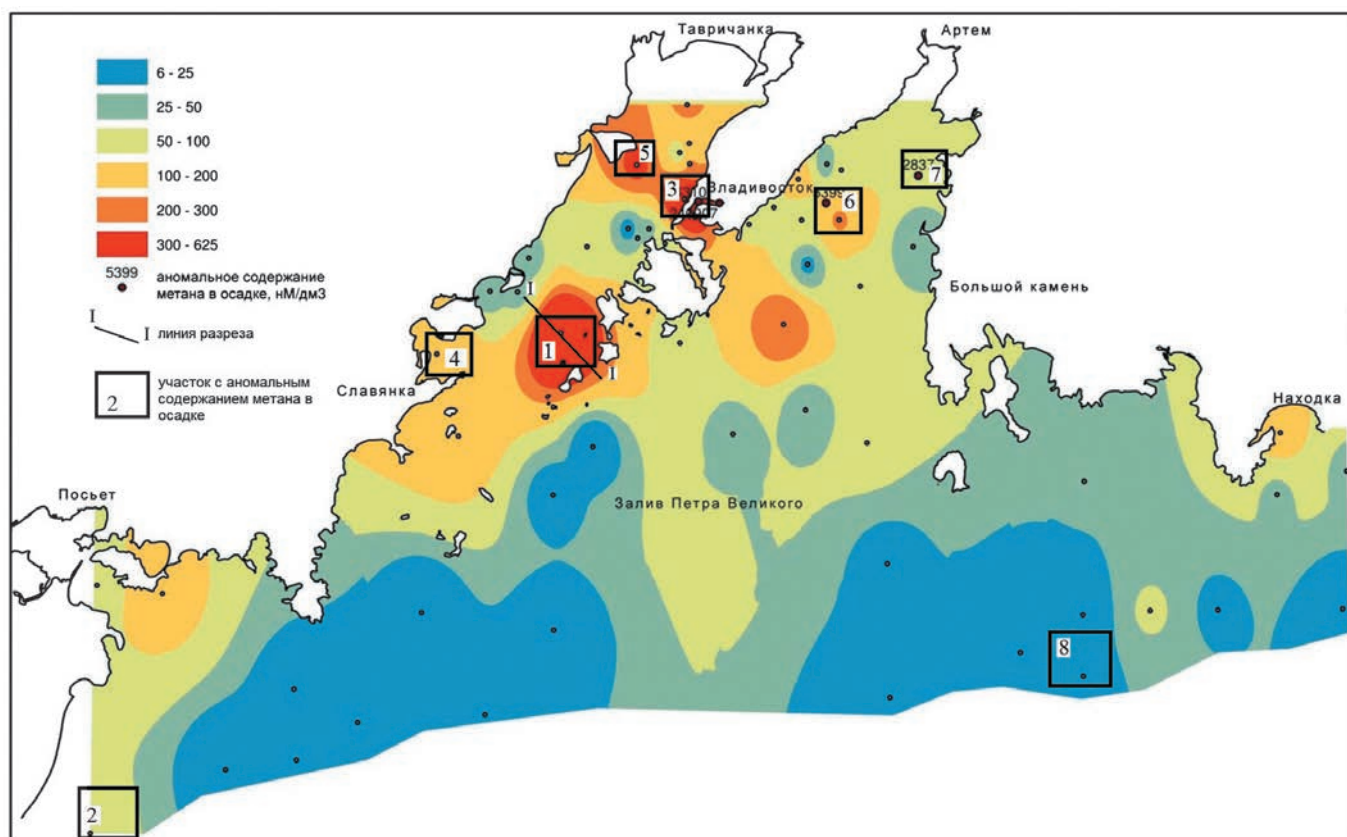


Рис. 3. Схема распределения метана в верхнем слое осадка, нМ/дм³

ную кору и достигающих верхней мантии.

Кайнозойские депрессии приурочены к зонам динамического влияния крупных разломов (сдвигов). Пойминская, Проваловская, Раздольненская и Угловская депрессии вместе с цепью просадок вдоль Амурского залива образуют единую депрессионную зону (Амурскую), которая контролируется системой северо-восточных сдвигов (Уссурийским, Надеждинским, Береговым и более мелкими этого же направления). Вторая депрессионная зона (Западно-Приморская) сформирована вдоль Западно-Приморского меридионального сдвига, в неё входят депрессии: Амбинская, Сине-Утесовская, Нарвская, а также Пойменная, образованная на сочленении Западно-Приморского и Уссурийского сдвигов. Максимальные глубины депрессий этой зоны достигают 500 м [1]. В Угловской депрессии расположен

Угловский буроугольный бассейн с Артемовским и Тавричанским угольными месторождениями с высокой метаносностью углей и угленосных отложений и пород фундамента. По зонам разломов из них к поверхности мигрируют метан, тяжелые углеводороды, углекислый газ. В зоне, где эти отложения подстилают воды Амурского залива – Угловский залив и Тавричанская бухта, эти газы проникают в воду залива и частично в атмосферу. Такие же проявления наблюдаются в районе угольных месторождений в Хасанском районе и Уссурийском заливе.

■ Результаты исследований

В результате исследований установлено, что наблюдается неравномерное распределение концентраций метана в придонном слое воды, что является результатом как структурно-геологических особенностей в различных райо-

нах залива, так и хозяйственной деятельности в регионе. Высокие концентрации метана – до 680 нл/л выявлены в Амурском заливе, западной, восточной части Уссурийского залива и районе о-ва Рикорда. Повышенные концентрации до 200 нл/л наблюдаются в юго-западной части залива Петра Великого вдоль бровки шельфа. На большей части исследуемой площади залива Петра Великого более равномерное распределение метана в осадке с содержанием до 150 нМ/дм³ (рис. 3).

По результатам исследований придонного слоя воды и осадка выделяются 8 участков со стабильно высоким содержанием метана: 1 – район о-ва Рикорда; 2 – юго-западная часть залива Посыет (бровка шельфа); 3 – восточная часть Амурского залива от Спортивной гавани до м. Токаревского; 4 – район бух. Славянка; 5 – район м. Песчаный; 6 – центральная часть Уссурийского залива; 7 – северо-восточная

часть Уссурийского залива, район бух. Суходол; 8 – юго-восточная часть площади. По происхождению газовые аномалии разделяются на углеметаморфические сингенетические, магматические и биохимического типа, а также газы, образованные в результате хозяйственной деятельности.

Участок № 1 (район о-ва Рикорда). Характеризуется высоким содержанием метана в придонном слое воды и осадке, высоким содержанием двуокиси углерода. Этан, пропан, бутан не обнаружены. Газовая аномалия находится в зоне Берегового глубинного разлома и имеет глубинный термогенный источник – преобразования органического вещества осадочных отложений и, возможно, магматическое происхождение в связи с высокой концентрацией CO_2 . На разрезе I-I показано расположение участка выхода газа (рис. 4).

Участок № 2 (юго-западная часть залива Посыет). На данном участке аномальное содержание газа (метана) в воде и осадке наблюдается на протяжении всего периода (с 2012 по 2015 г.) мониторинговых работ. Газовая аномалия находится в зоне Кубанского глубинного разлома. В 2014 г. на судовом эхолоте наблюдались гидроакустические аномалии в виде вертикальных линий, более интенсивных в нижней части и более разряженных к по-

верхности. Фиксировались они на глубине от 140 до 260 м. Акустические аномалии интерпретируются нами как выход газа. В 2015 г. наблюдались аномалии на глубине от 300 до 450 м. При отборе пробы осадка трубкой мощность керна составила 0,63 м. Исследуемый осадок темного цвета, до черного, в интервале от 0,4 до 0,6 м менее обводненный и пластичный. Газовые пробы отбирались в нескольких интервалах – 10, 25, 40 и 60 см. Содержание метана в них составило 56, 297, 823 и 2900 нМ/дм³ соответственно. Увеличение содержания метана в осадке с глубиной (интервалом) опробования говорит о глубинном источнике.

С запада участок граничит с Притуманганской впадиной, где в гидрогеологической наблюдательной скважине установлено высокое содержание метана – до 50%, двуокиси углерода до 45 мл/л, аномалии этана, пропана и бутана. Разрез скважины представлен песками, гравийниками, галечниками, валунниками, супесями, суглинками с прослоями и линзами илов, глин. Изучался водоносный горизонт четвертичных морских, аллювиально-морских отложений (*m, amQ*) [3]. Водоносный горизонт газонасыщен в результате поступления газа из подстилающих водоносных горизонтов, возможно, палеоцен-эоценовых вулкано-

генных пород (P1-2), а также из протерозойско-мезозойских интрузивных пород (PR-MZ). Разгрузка (выход) газа из подземных вод происходит на бровке и склоне шельфа. На судовом эхолоте наблюдается как вертикальная линия (рис. 5).

Наличие стабильной газовой аномалии в континентальной и прибрежной частях говорит о едином глубинном источнике газа. По составу газ можно отнести к нескольким генетическим типам: углеметаморфический, изверженных пород и нефтяных месторождений.

Участок № 3 (восточная часть Амурского залива от Спортивной гавани до м. Токаревского). Участок характеризуется высоким содержанием метана в воде (до 950 нл/л) и осадке (до 625 нМ/дм³). Находится в пониженной части рельефа, что создает благоприятные условия для накопления осадка и органического материала, выносимого ручьями и реками. Участок находится в зоне влияния Тавричанского угольного месторождения. При изучении газового состава установлены высокие содержания метана в свободной и водорастворенной форме, его гомологов, водорода и углекислого газа. Проводником для миграции газа в водную толщу является зона Берегового глубинного разлома.

Продолжают оказывать влияние на загазованность придонного

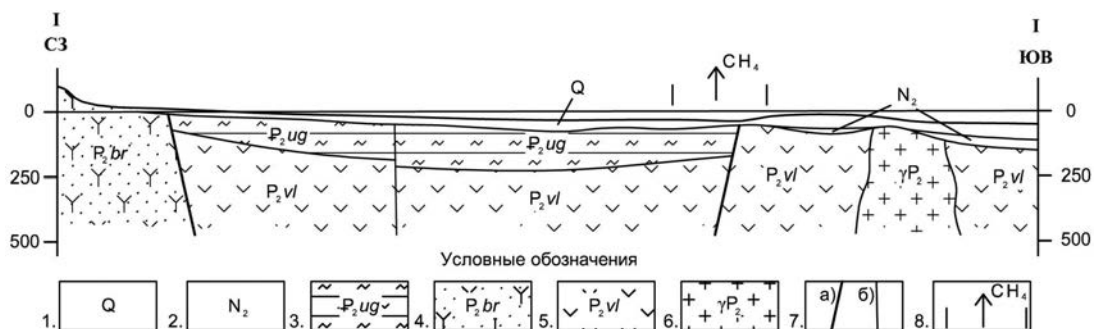


Рис. 4. Схематический разрез по линии I-I. Масштаб горизонтальный и вертикальный 1:250000.

1 – четвертичные отложения; 2 – Суйфунская свита: галечники, гравийники, пески, глины; 3 – Угловская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты, бурые угли; 4 – Барабашевская свита: лавы, туфы, песчаники, алевролиты, туффиты, углистые аргиллиты; 5 – Владивостокская свита: песчаники туфогенные, алевролиты туфогенные, базальты, туффиты, алевролиты, песчаники; 6 – позднепермские интрузии, граниты; 7 – тектонические нарушения: а – главные, б – прочие; 8 – участок с высоким содержанием метана в воде и осадке

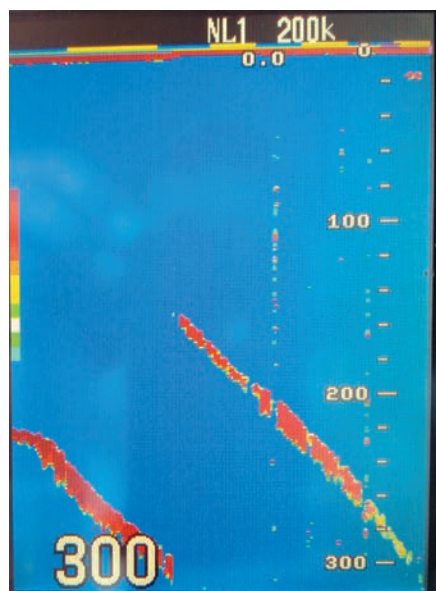


Рис. 5. Выход газа в юго-западной части исследуемой площади

слоя воды и верхнего слоя осадка бытовые стоки г. Владивостока. Несмотря на это наблюдается снижение содержания метана в районе сброса Второй речки, связано это, по-видимому, с вводом в эксплуатацию очистных сооружений.

Таким образом, по происхождению на данном участке выделяются газы угольных месторождений и газы биохимического происхождения.

Участок № 4 (Район бух. Славянка). На данном участке наблюдаются высокие содержания метана в придонном слое воды (до 400 нл/л) и осадке (до 200 нМ/дм³). Участок находится в районе развития Пойменной кайнозойской впадины. Состав газа в скважинах, расположенных в поймах рек Нарва и Пойма, характеризуется аномальным содержанием метана (до 3,0%), этана, пропана, бутана и гелия [1, 3]. Эти данные свидетельствуют о глубинном едином источнике происхождения газа. Проводником для миграции газа служит зона Уссурийского глубинного разлома. По генетическому типу газа его можно отнести к газам угольных месторождений.

Участок № 5 (район м. Песчаный). Участок имеет сходство с предыдущим. Обнаружены аномалии метана в воде (до 650 нл/л) и осадке (до 750 нМ/дм³). Он также находится в зоне Уссурийского глубинного разлома и зоне влияния угольной площади (Угловский бурогольный бассейн). По происхождению газа его можно отнести к газам угольных месторождений.

Участок № 6 (центральная часть Уссурийского залива). На данном участке газовая аномалия находится в пониженной части склона. Участок характеризуется повышенным содержанием метана в придонном слое воды (до 250 нл/л) и осадке (до 300 нМ/дм³). На станции для изучения газового состава пробы отбиралась в интервалах 10, 50, 100 и 200 см, на глубине моря 30 м. По результатам анализа концентрации метана составляют 205, 1142, 1548 и 344 нМ/дм³ соответственно. Наблюдается увеличение содержания метана в интервале до 100 см, в нижней части исследуемой колонки содержание снижается. Это может свидетельствовать о трех источниках метана – частичное количество поступает из более глубинного источника, часть имеет микробное происхождение и часть, возможно, связана с поступлением метана из района Горностаевской свалки с водными потоками. При изучении газового состава в интервалах 10, 70 и 140 см получено 270, 210 и 85 нМ/дм³. Наблюдается снижение содержания газа с глубиной (интервалом) опробования. Это говорит о возможном загрязнении верхних горизонтов газом свалки Горностаевской и активизацией микробного процесса образования метана в этом районе.

Участок № 7 (северо-восточная часть Уссурийского залива, район бух. Суходол). Участок находится на границе с Шкотовским бурогольным бассейном [4, 5]. С за-

пада он ограничен Муравьевским, с востока – Дунайским разломами. Участок характеризуется высоким содержанием метана в придонном слое воды (271 нл/л) и в верхнем слое осадка (до 2837 нМ/дм³) в интервале 10 см. С увеличением интервала опробования наблюдается снижение содержания метана, так, в интервале 50 см оно составляет 426 нМ/дм³, в интервале 110 см – 134 нМ/дм³. Это говорит о микробном происхождении газа в поверхностных горизонтах осадков. Возможно, осадки загрязнены органическим веществом, выносимым рекой Суходол.

По результатам изучения газового состава подземных вод по скважине № 10, расположенной в устье долины реки Суходол, установлено высокое содержание метана (24536 нл/л), повышенное содержание углекислого газа в нижнем горизонте, этана (17,2 ppm), фоновое содержание гелия и водорода (около 2,5 ppm) [3].

Исследование природных газов в прибрежном районе бух. Суходол выполнялось лабораторией газогеохимии в 2000–2003 гг. Изучалось распределение углеводородных и углекислого газов в подземных водах гидрогеологических скважин, пробуренных на берегу бух. Суходол Уссурийского залива. В результате исследований установлено высокое содержание углеводородных газов (метана – 0,3–3,0 мл/л, этана – 0,003 мл/л, пропана и бутана – около 0,0003 мл/л) в воде на всех горизонтах до глубины 300 м. Аномалии углекислого газа (30–50 мл/л) зафиксированы в воде на более глубоких гидрогеологических горизонтах. Сделан вывод о том, что источником углеводородных газов является мезозойский палеобассейн, заполненный континентальными угленосными, нефтегазоносными и туфогенными породами верхнего, нижнего мела и триаса. Источ-

ником углекислого газа, возможно, являются интрузивные образования верхнемелового возраста.

В результате исследования придонного слоя воды бухты установлено невысокое содержание метана. Максимальное количество метана в придонном слое не превысило 130 нл/л, в то время как в скважинах, расположенных на берегу бухты, содержание метана превышает фон в 100 000 раз. По результатам исследования подпочвенного газа в устьевой части р. Суходол установлено фоновое содержание метана 1,7 ppm и повышенное содержание углекислого газа 0,69 мл/л. Это еще раз подтверждает отмеченную закономерность о том, что в этом регионе существует палеобассейн с аномальными концентрациями углеводородных и углекислых газов, который перекрыт плохо проницаемой крышкой. Если нарушить эту крышку, то газы проникнут к поверхности, что может создать проблему хозяйственной деятельности в этом регионе. Объем этих газов может быть достаточно высоким, что дает возможность оценить его как перспективный для поиска углеводородных залежей и бальнеологически активных подземных вод.

Участок № 8 (юго-восточная часть района). Участок находится на бровке шельфа к востоку от центра залива (см. рис. 4). Характеризуется фоновым содержанием метана в осадке. По результатам исследований в 2015 г. наблюдается небольшое превышение фона в придонном слое воды на дан-

ном участке – 202, 150 и 198 нл/л. В этом регионе наблюдается сейсмотектонически относительно спокойное геоструктурное поле дна залива. Поэтому содержание природных газов в воде и донных осадках здесь близко к фону.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы. За период с 2012 по 2015 г. выявлены и ежегодно подтверждаются участки с высоким и фоновым содержанием газа в воде и донных осадках залива Петра Великого. По результатам работ за этот период увеличения фоновых значений не произошло. Более того, на двух участках – место сброса сточных вод в районе Второй Речки и Горностаевская свалка бытовых отходов – после рекультивации наблюдается положительная динамика по снижению газовых концентраций. По-прежнему крайне загрязненной и загазованной остается бухта Золотой рог. Причиной является сброс сточных вод, ведение ремонтных работ, разлив ГСМ, в результате чего в залив с дождевым стоком попадают различные загрязняющие вещества с производственных площадок.

Основные газовые аномалии приурочены к районам распространения угленосных площадей, зон тектонических нарушений и интрузивных контактов. Наблюдается взаимосвязь газовых аномалий, обнаруженных в заливе Петра Великого, и высоких концентраций углеводородных газов, углекислого

газа, водорода, гелия в подземных водах исследуемых гидрогеологических скважин, пробуренных в прибрежной зоне акватории залива. Это наблюдение очень важно, так как показывает наличие под поверхностными осадками прибрежных районов акватории залива Петра Великого газонасыщенных пород и водоносных горизонтов. Любые инженерные работы, связанные с вскрытием донных осадков (дноуглубительные работы и др.) вызывают подток газов из глубоких горизонтов пород в воду и из вод в атмосферу. По генетическому типу установлены газы биохимического, угольного, нефтегазового и магматического происхождения. Эти газы мигрируют по зонам разломов в подземные водоносные горизонты, в донные осадки, воду акватории залива и атмосферу.

Выполнение комплексных газогеохимических и геофизических работ в заливе Петра Великого позволило установить участки газоприятий, проследить динамику газовых изменений, разделить газовые аномалии по происхождению. Выявленные аномальные поля природных и антропогенных газов в дальнейшем требуют более детальных исследований, в том числе с применением подводной робототехники, и выявления опасных участков при проектировании инженерно-строительных работ на морском дне, поиска благоприятных районов для разведки аквакультуры и выполнения других хозяйственных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутуб-Заде Т.К., Олейников А.В., Сясько А.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек и акватории зал. Петра Великого: Отчет Славянской партии о результатах геологического доизучения масштаба 1:200 000, листы К-52-ХI, ХVII; К-52-ХII, ХVIII; К-53-ХII за 1994–2002 гг. / Приморский ТГФ. Владивосток, 2002.
2. Щербаков В.А., Иванова В.В., Мотычко В.В. и др. Государственный мониторинг состояния недр прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого в связи с интенсивным хозяйственным освоением территории: Отчет. Санкт-Петербург, 2014.
3. Дубинский А.П., Ребенок О.В., Белова А.С. и др. Гидрогеологическое доизучение масштаба 1:200 000, листы К-52-ХI; ХII; ХVII; ХVIII; К-53-ХII (Славянский): Отчет / Росгеолфонд; ТФГИ по Приморскому краю. Владивосток, 2014.
4. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов / отв. ред. М.Ф. Сташук. М., 1993. 139 с.
5. Обжиров А.И. Газогеохимические исследования в заливе Петра Великого и прибрежных территорий // Дальневосточные моря России. М., 2007. С. 131–136.